

окончании преобразования амплитуды в цифровой код) вырабатывает внутри модуля свой сигнал запроса. Сигналы запроса от отдельных устройств объединяются в модуле, и в контроллер крейта поступает единственный сигнал L-запроса от модуля.

Для обеспечения необходимой гибкости обслуживания со стороны ЭВМ запросов отдельных функциональных узлов модулей в системе КАМАК принята определенная структура организации LAM-информации внутри модулей.

В общем случае в модуле различают следующие сигналы и технические средства для работы с LAM-информацией.

LAM-источник. Источниками запросов в модуле являются те функциональные узлы, которые могут вырабатывать сигналы запроса обслуживания.

LAM-статус. Сигналы LAM-статусной информации содержат сведения о состоянии (наличии или отсутствии) запросов от конкретных источников. В качестве технических средств, запоминающих и хранящих LAM-статусную информацию, используются триггеры.

LAM-маска. Сигналы LAM-маски управляют пропуском отдельных запросов от LAM-статусных элементов для дальнейшей обработки. Маскирующее слово, отдельные разряды которого управляют конкретными запросами, заносится с шины данных магистрали крейта в специальный регистр маски модуля.

LAM-требование. Сигналами LAM-требований принято называть LAM-статусные сигналы, прошедшие через маскирующий элемент, т. е. через LAM-маску. Для хранения информации о наличии LAM-требований в модуле иногда используют специальный регистр.

L-запрос. Сигнал L-запрос является тем единственным сигналом, которым модуль сообщает контроллеру крейта о наличии в нем хотя бы одного запроса на обслуживание.

В схеме организации LAM-информации для нескольких источников запросов в модуле (рис. 2.14) все основные узлы, предназначенные для хранения, программного контроля и управления передачей сигнала от источника запроса F до выхода L-запроса на

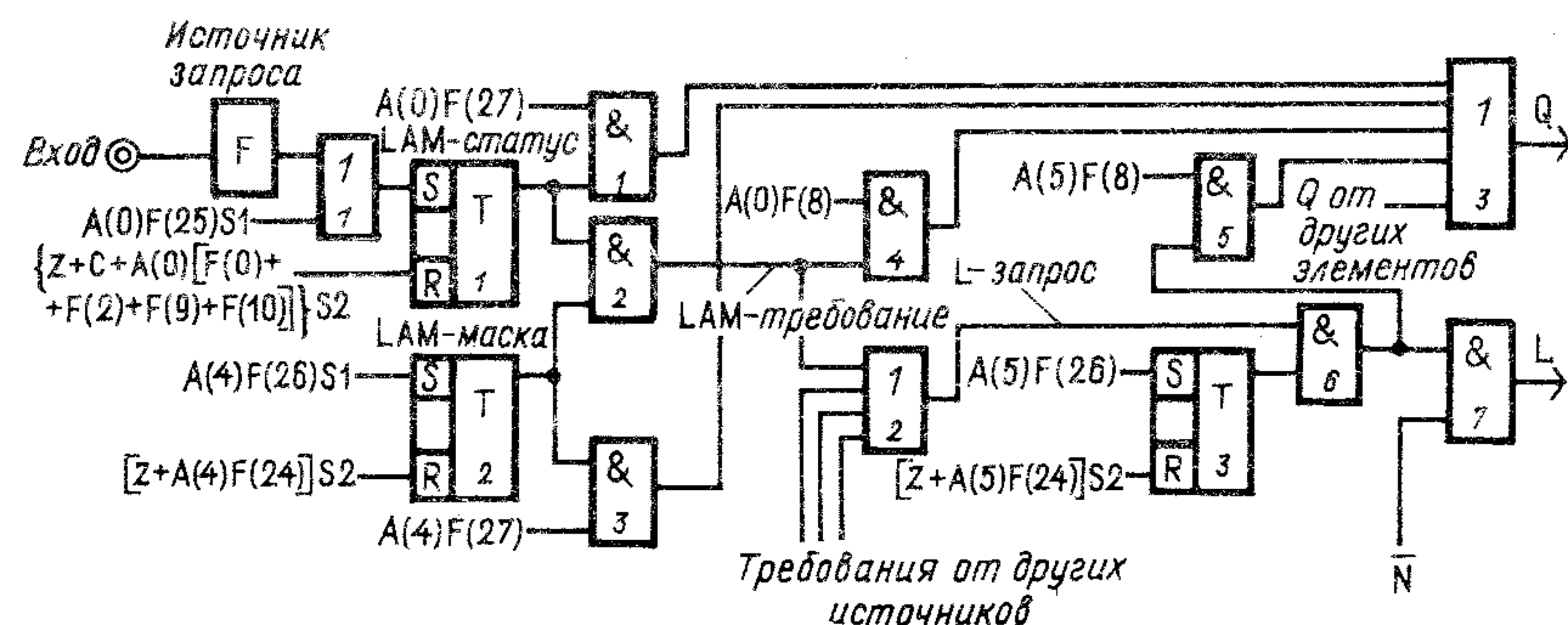


Рис. 2.14. Схема организации LAM-информации в модуле

магистраль крейта, показаны для одного источника запроса. Вся левая часть схемы от логического элемента ИЛИ 2 должна быть повторена для каждого источника запроса. Сигналы на уровне LAM-требований от всех источников объединяются в один сигнал L-запроса на логическом элементе ИЛИ 2.

По сигналу начальной установки Z триггеры LAM-статуса 1 и LAM-маски 2, а также триггер управления L-запросом модуля 3 устанавливаются в нулевое состояние. При этом триггер LAM-статуса сброшен, прохождение LAM-статусных сигналов запрещено LAM-маской, LAM-требование отсутствует и выход L-запроса на магистраль крейта запрещен. Такое исходное состояние элементов управления LAM-информацией соответствует требованиям логического стандарта КАМАК.

Перед использованием модуля в измерении необходимо командой NA(5)F(26) разрешить выход L-запроса через логический элемент И 6 на магистраль и размаскировать командой NA(4)F(26) сигнал LAM-статус. При появлении сигнала запроса обслуживания в источнике запроса F триггер LAM-статуса будет установлен в единичное состояние. Далее, пройдя через элемент И 2, LAM-статусный сигнал становится LAM-требованием. С выхода логического элемента ИЛИ 2 теперь уже сигнал L-запрос модуля поступает через логические элементы И 6 и И 7 на магистраль крейта. Логический вентиль И 7 запрещает выход L-запроса на магистраль на время действия любой команды, адресованной данному модулю.

В модулях, которые могут генерировать L-запрос, необходимо иметь технические средства, обеспечивающие программный контроль за состоянием LAM-информации на всех этапах ее прохождения в модуле. Проверка общего L-запроса на схеме рис. 2.14 выполняется командой NA(5)F(8) через логический элемент И 5, проверка состояния LAM-требования каждого источника запроса также осуществляется операцией F(8), но по субадресу конкретного источника запроса. Так, в данном случае используется команда NA(0)F(8), которая через логический элемент И 4 проверяет состояние LAM-требования от источника запроса с субадресом A(0). Состояние LAM-статусного сигнала и соответственно LAM-статусного триггера контролируется командой NA(0)F(27), а состояние маскирующего триггера 2 — командой NA(4)F(27). Ответом модуля контроллеру крейта на команды проверки состояния элементов LAM-логики с операциями F(8) и F(27) являются значения сигналов Q, которые через логический элемент ИЛИ 3 поступают на соответствующую линию связи магистрали крейта.

Необходимо иметь в виду, что операцией F(8) контролируется либо состояние LAM-требования, т. е., иначе, состояние LAM-статусного сигнала после соответствующего маскирующего элемента, либо L-запроса модуля после логического элемента, управляющего выходом запроса на магистраль. При проверке LAM-требования $Q=1$ говорит о том, что запрос от соответствующего источника есть и что он не замаскирован, т. е. разрешен. В случае ответа на операцию F(8) в составе команды проверки L-запроса

модуля $Q=1$ сообщает о наличии уже разрешенного L-запроса от данного модуля.

Значение сигнала ответа $Q=0$ при проверке LAM-требования можно трактовать либо как отсутствие сигнала запроса от данного функционального элемента, либо как то, что хотя запрос от источника и существует, но он запрещен маскирующим элементом. Аналогичная неопределенность возникает при $Q=0$ в ответ на команду проверки общего L-запроса модуля: либо запроса не существует, либо выход его на магистраль запрещен. В обоих приведенных случаях, если это требуется, нужна дополнительная программная проверка наличия или отсутствия соответствующих LAM-сигналов перед запрещающими элементами.

Изменение состояния триггера LAM-маски и триггера, управляющего L-запросом модуля, возможно с помощью операций F(26) и F(24) в составе соответствующих команд, подаваемых на установочные входы S или входы для сброса триггеров R. Сброс LAM-статусного триггера кроме сигнала Z производится специальной командой NA(0)F(10) или после считывания информации из функционального элемента теми же операциями считывания NA(0)F(0)S1 или NA(0)F(2)S1. Необходимо отметить, что сброс LAM-статусного триггера при выполнении в модуле команд чтения осуществляется по строб-сигналу S2.

Используя весь набор приведенных команд, можно программно проверять правильность функционирования всей LAM-логики от источника запроса до выхода L-запроса на магистраль. Сигнал запроса от источника F имитируется в этом случае командой с операцией *Исполнение* NA(0)F(25)S1, подаваемой на логический элемент ИЛИ 1.

В простых функциональных модулях разработчики часто упрощают LAM-логику, сводя ее к минимуму необходимых элементов.

В модулях с небольшим числом источников запроса применяют операции F(8), F(10), F(24), F(26), F(27) для работы с триггерами, которые относятся к конкретным элементам LAM-логики. При большом числе источников запросов в модуле в качестве

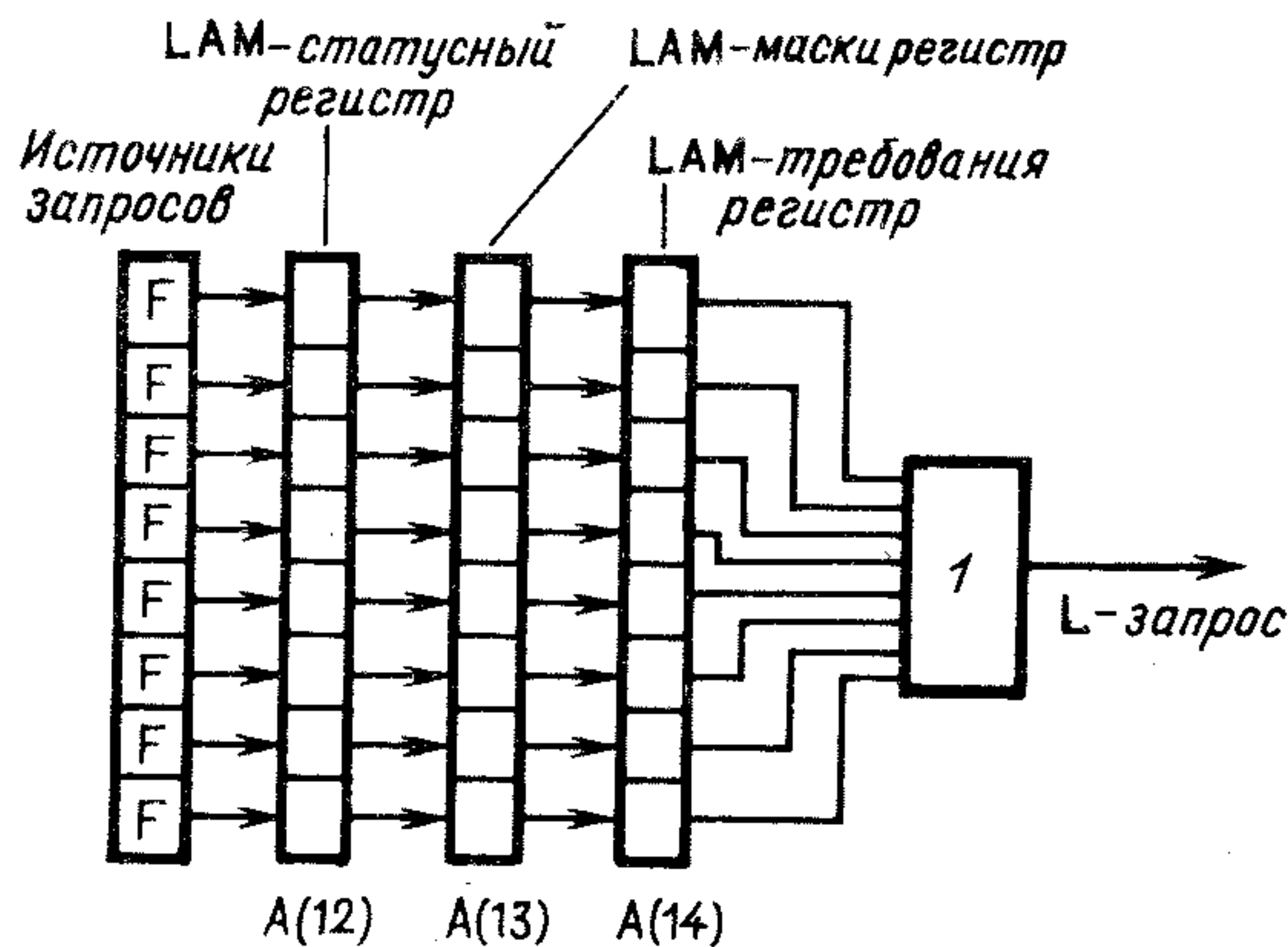


Рис. 2.15. Организация LAM-информации при большом числе запросов в модуле

элементов LAM-логики используются разряды соответствующих регистров (рис. 2.15).

К регистрам, обслуживающим LAM-информацию, рекомендуется обращаться как к регистрам второй группы по следующим субадресам: A(12) — регистр LAM-статуса; A(13) — регистр LAM-маскирования; A(14) — регистр LAM-требований. В этом случае используют операции КАМАК, предназначенные для работы с регистрами второй группы: F(1), F(11), F(17), F(19), F(23). Каждому источнику запросов соответствует определенный разряд в LAM-статусном регистре. Для разрешения соответствующих LAM-требований каждый разряд регистра LAM-маски следует устанавливать в состояние 1 и в состояние 0 — для маскирования LAM-требований.

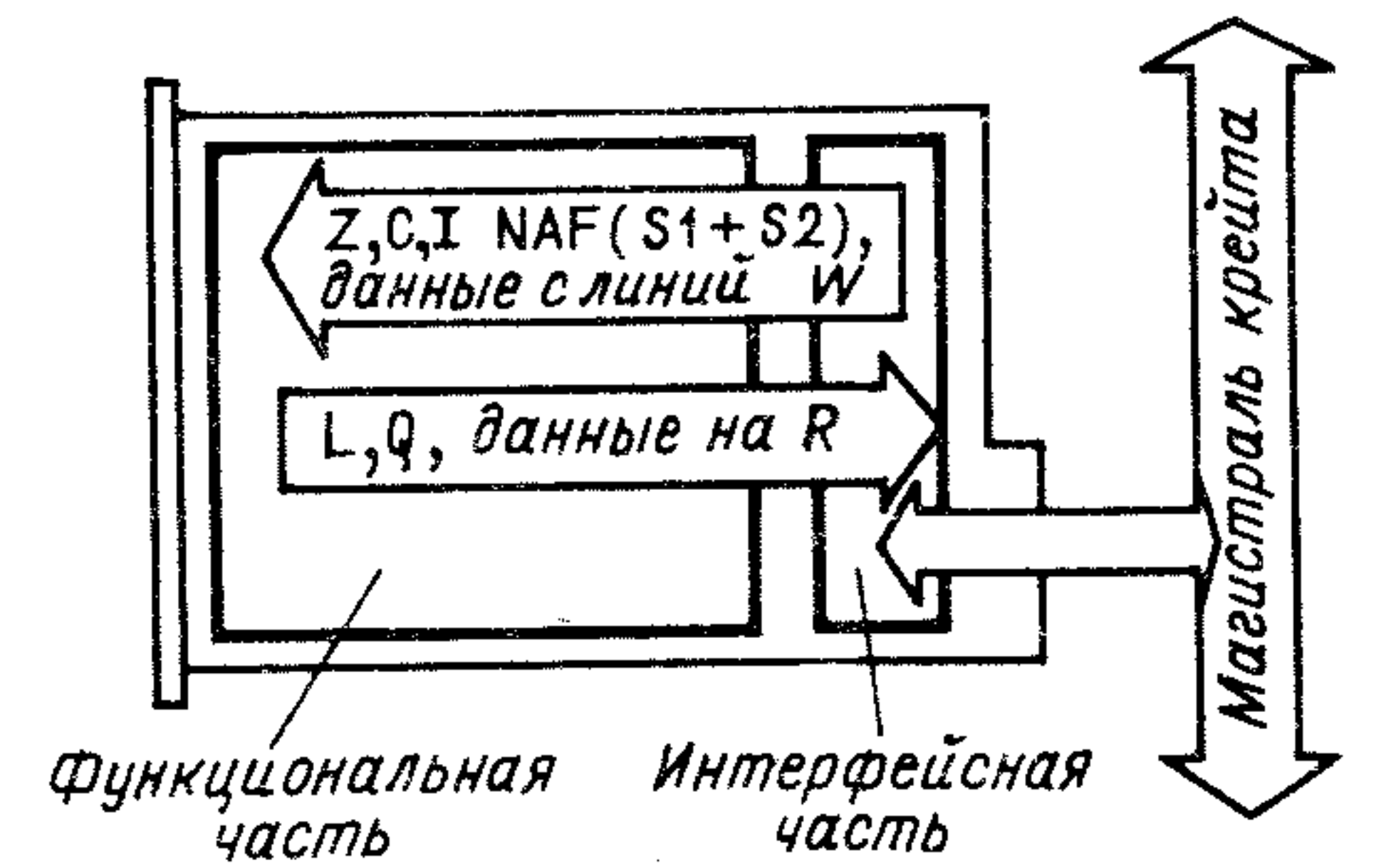


Рис. 2.16. Структура функционального модуля

§ 2.6. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДУЛИ КАМАК

Широкое применение аппаратуры КАМАК в научных исследованиях, промышленности, медицине и других сферах научной и производственной деятельности привело к необходимости разработки функциональных модулей как общего применения, так и специализированных, учитывающих специфику конкретной области их использования. В каждом модуле (рис. 2.16) можно выделить некоторые общие части, выполняющие определенные функции, независимо от его назначения. Состав функциональной части и ее схемотехническое решение определяются конкретным назначением модуля. В модулях счетчиков, например, функциональная часть имеет счетные элементы, в модуле амплитудно-цифровых преобразователей — преобразователи амплитуды в цифровой код, в модуле входных регистров — регистры, принимающие информацию от внешних устройств и передающие ее на магистраль крейта.

Все существующее разнообразие типов модулей целиком определяется различным назначением их функциональных частей.

Интерфейсная часть модуля

Интерфейсная часть модуля обеспечивает обмен информацией между функциональной частью и магистралью крейта. При всем разнообразии функциональных модулей их интерфейсная часть выполняет одни и те же функции. Вследствие этого структурная схема интерфейсной части практически неизменна для всех модулей, а ее техническая реализация зависит от количества команд, используемых в модуле, и элементной базы, применяемой при

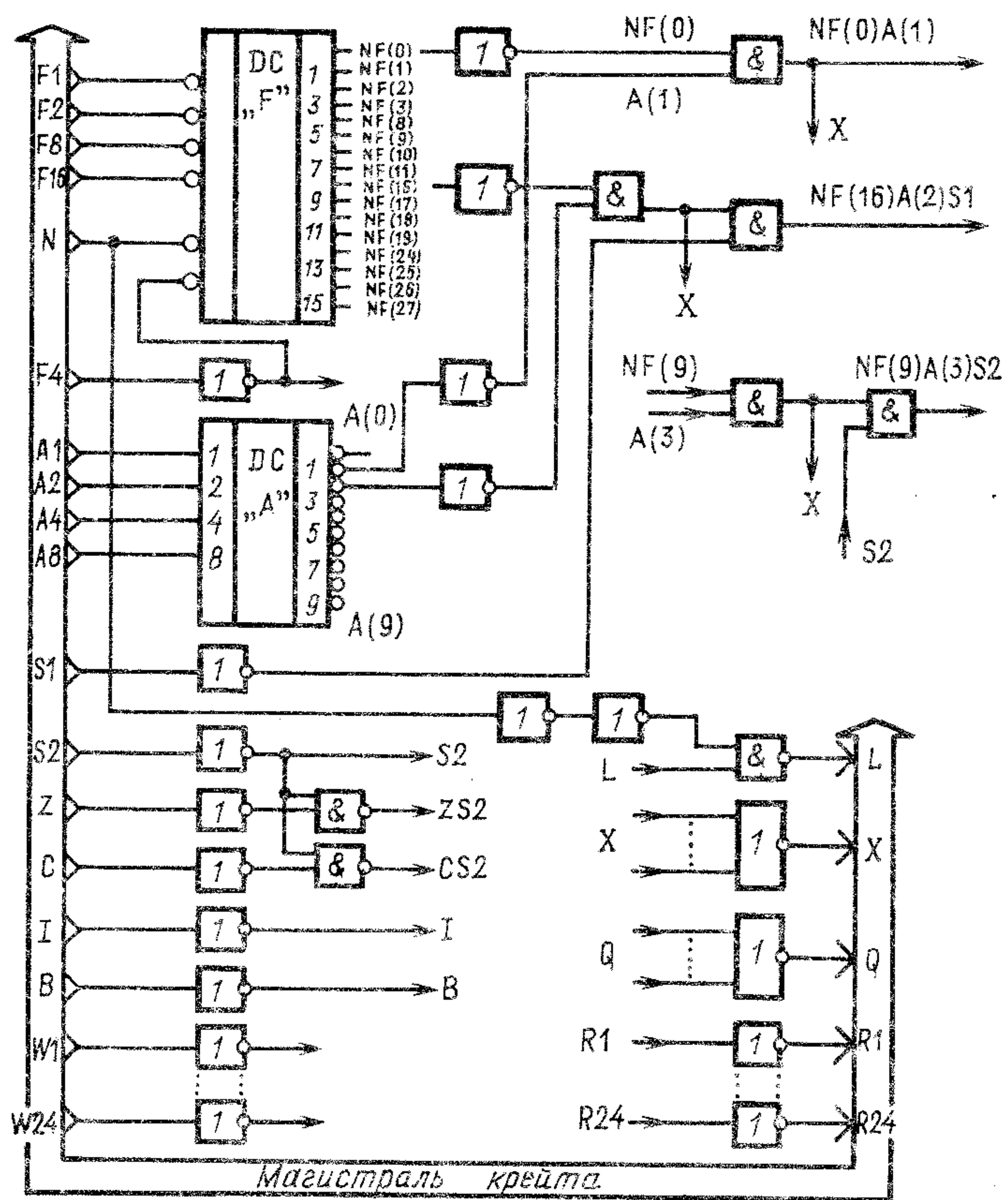


Рис. 2.17. Интерфейсная часть функционального модуля

построении интерфейсной части. На рис. 2.17 показан пример построения интерфейсной части функционального модуля. Коды операции F и сигнал адреса станции N поступают с магистрали крейта на дешифратор операций КАМАК DC«F». Дешифратор DC«F» представляет собой микросхему, которая преобразует 4-разрядный двоичный код в сигнал на одном из его 16 выходов. Дешифратор имеет 4 информационных входа и 2 входа управления. На один из входов управления по индивидуальной линии от контроллера крейта поступает сигнал адреса станции N , который позволяет воспринимать сигналы с шины операций F только данному дешифратору, т. е. дешифратору адресуемого модуля. Линии $F1, F2, F8, F16$ подключены непосредственно к информационным входам дешифратора, а линия $F4$ — через инвертор к управляющему входу. Такое подключение линий операций позволяет получать на последовательных выходах дешифратора сигналы, соответствующие сочетаниям адреса модуля и операции: $NF(0), NF(1), NF(2), NF(3), NF(8), NF(9), NF(10), NF(11), NF(16), NF(17), NF(18), NF(19), NF(24), NF(25), NF(26),$

$NF(27)$. При ином порядке подключения линий шины операций к дешифратору можно получить на его выходах сигналы с другими сочетаниями NF в соответствии с таблицей истинности данного дешифратора.

Дешифратор субадресов DC«A» имеет 4 информационных входа и 10 выходов. Этот дешифратор преобразует 4-разрядный двоичный код с линий субадресов в сигнал конкретного субадреса на одном из выходов дешифратора. При необходимости использования всех 16 субадресов в модуле дешифратор субадресов должен быть дополнен соответствующими схемными решениями.

Интерфейсная часть модуля через инверторы принимает с магистрали управляющие сигналы $S1, S2, Z, C, I$, сигнал состояния контроллера B и данные с линий $W1 — W24$.

В правой верхней части рисунка показаны примеры формирования сигналов некоторых команд КАМАК в интерфейсной части, которые затем поступают в функциональную часть модуля к местам исполнения команд.

Интерфейсная часть посылает на магистраль крейта в ответ на все адресуемые модулю команды сигнал *Команда принята* X . В ответ на определенные команды модуль выдает через интерфейсную часть сигнал ответа Q и выставляет на линии чтения $R1 — R24$ данные, поступившие из функциональной части модуля. Здесь же в соответствии с требованием логического стандарта организуется запрет выхода на магистраль сигнала запроса L при поступлении в модуль любой команды NAF.

Приведенный пример — лишь один из вариантов организации интерфейсной части модуля. В различных модулях интерфейсная часть может быть сложнее или проще — в зависимости от состава команд КАМАК, используемых для программного управления работой функциональной части модуля.

Функциональная часть модуля

Логическую организацию функциональной части модуля и использование сигналов и команд КАМАК для управления его работой рассмотрим на примере модуля, содержащего два независимых счетчика (рис. 2.18). Интерфейсная часть модуля на рисунке не показана.

Основное назначение данного модуля состоит в том, чтобы сосчитать сигналы, поступающие от детекторов излучений или других источников сигналов, хранить эту информацию и при необходимости пересылать содержимое каждого из счетчиков в ЭВМ. В модуле предусмотрено несколько режимов работы, каждый из которых задается программно. В одном из режимов счет входных сигналов возможен только при наличии на специальном входе управления внешнего управляющего сигнала. В этом случае сигналы сосчитываются каждым из счетчиков лишь в течение времени, задаваемого длительностью управляющего сигнала.

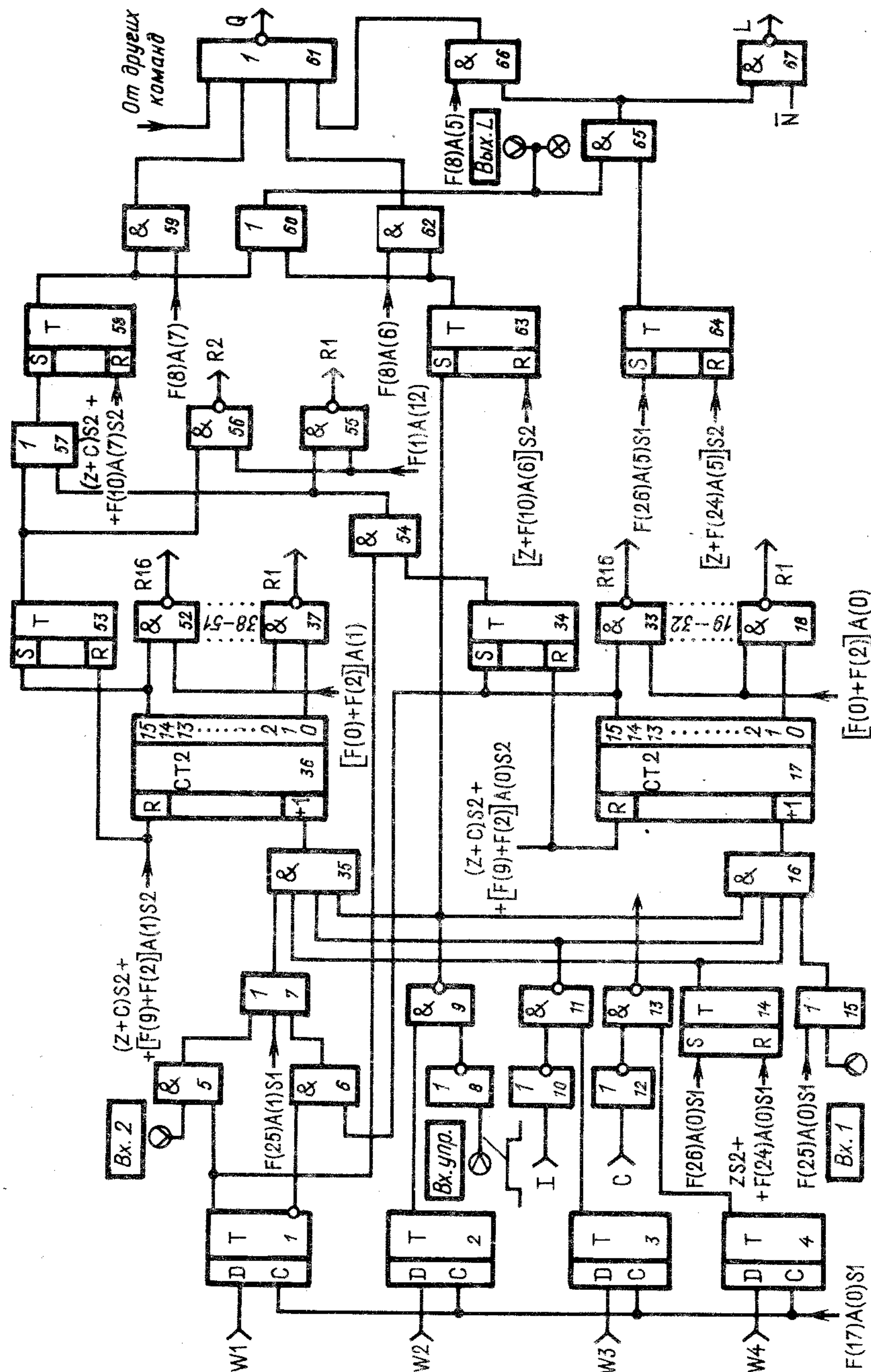


Рис. 2.18. Пример организации функционального модуля

В другом режиме входные сигналы сосчитываются непрерывно, по мере их поступления на входы счетчиков и независимо от наличия управляющего сигнала. Наконец, модуль может работать как два отдельных 16-разрядных счетчика или как один 32-разрядный.

Ниже приведен список и назначение команд и сигналов КАМАК модуля. В командах опущен адрес модуля N, так как он зависит от номера станции крейта, на который установлен модуль.

- | | | |
|-----------|---|-------|
| F(0)A(0) | Чтение содержимого 1-го счетчика | Q=1 |
| F(0)A(1) | Чтение содержимого 2-го счетчика | Q=1 |
| F(1)A(12) | Чтение LAM-статусного регистра | Q=1 |
| F(2)A(0) | Чтение содержимого и сброс 1-го счетчика | Q=1 |
| F(2)A(1) | Чтение содержимого и сброс 2-го счетчика | Q=1 |
| F(8)A(5) | Проверка состояния L-запроса модуля | Q=1 |
| F(8)A(6) | Проверка LAM-требования от сигнала управ- | Q=LAM |
| | ления | |
| F(8)A(7) | Проверка общего LAM-требования от счет- | Q=LAM |
| | чиков | |
| F(9)A(0) | Сброс 1-го счетчика и его триггера перепол- | Q=1 |
| | нения | |
| F(9)A(1) | Сброс 2-го счетчика и его триггера перепол- | Q=1 |
| | нения | |
| F(10)A(6) | Сброс LAM-требования от сигнала управления | |
| F(10)A(7) | Сброс LAM-требования от счетчиков | |
| F(17)A(0) | Запись информации в регистр управления | Q=1 |
| | с линий W1—W4 | |

Состояния модуля, устанавливаемые по F(17)A(0):

- | | |
|----|--|
| W1 | W1=0 — модуль работает как два 16-разрядных счетчика |
| | W1=1 — модуль работает как один 32-разрядный счетчик |
| W2 | W2=0 — режим работы с внешним управлением |
| | W2=1 — режим работы без внешнего управления |
| W3 | W3=0 — действие сигнала I в модуле разрешено |
| | W3=1 — действие сигналов I в модуле запрещено |
| W4 | W4=0 — действие сигнала С в модуле разрешено |
| | W4=1 — действие сигнала С в модуле запрещено |

Примечание: На магистрали крейта и, в частности, на линиях W используется отрицательная логика — логической 1 соответствует низкий потенциал, а логическому 0 — высокий.

- | | |
|-----------|--|
| F(24)A(0) | Запрет счета во всех счетчиках |
| F(24)A(5) | Запрет L-запроса модуля |
| F(25)A(0) | Добавление одного сигнала в 1-й счетчик |
| F(25)A(1) | Добавление одного сигнала во 2-й счетчик |
| F(26)A(0) | Разрешение счета во всех счетчиках |
| F(26)A(5) | Разрешение L-запроса от модуля |

- Z Сброс всех счетчиков, триггеров переполнения, сброс ЛАМ-требований, запрет L-запроса от модуля, запрет счета во всех счетчиках
- C Сброс всех счетчиков и триггеров переполнения
- I Запрет счета во всех счетчиках

Еще раз отметим, что команды КАМАК в местах их исполнения, т. е. на входах соответствующих логических элементов — триггеров, схем И, представляют собой определенные электрические сигналы. Эти сигналы образуются в интерфейсной части модуля после декодирования кодов операций F субадресов A и получения на схемах И сигналов, соответствующих определенным командам, используемым в функциональной части модуля (см. рис. 2.17).

Структурную схему модуля условно можно разделить на три части: непосредственно счетные элементы, логику управления работой модуля и логику обслуживания ЛАМ-информации.

Счетные элементы. Сигналы, подлежащие счету, поступают со входов модуля *Vx.1* и *Vx.2* через соответствующие логические элементы на счетные входы +1 первого 17 и второго 36 счетчиков. При переполнении какого-либо из счетчиков триггеры 34 или 53, называемые триггерами переполнения, устанавливаются в состояние 1. Эти триггеры представляют собой ЛАМ-статусные элементы модуля, хранящие информацию о состоянии источников запросов, которыми в данном случае являются счетные элементы.

Очистка счетчиков — сброс в состояние 0 счетных элементов и их триггеров переполнения — выполняется в ходе работы измерительной системы различными сигналами по входам R. В начале работы после включения крейта сброс счетчиков, так же как и всех триггеров модуля, производится сигналом начальной установки Z. В дальнейшем в тексте программы для сброса счетчиков и триггеров переполнения могут использоваться либо сигнал сброса C, либо специальная команда сброса регистра первой группы — F(9)A(0) для первого счетчика и F(9)A(1) — для второго. Если при считывании содержимого счетчиков используется команда с операцией F(2), то этой же командой F(2)A(0) по строб-сигналу S2 сбрасывается первый счетчик и его триггер переполнения, а командой F(2)A(1) — соответственно второй счетчик со своим триггером переполнения.

Считывание содержимого счетчиков происходит по команде F(0)A(0) или F(2)A(0) для первого и F(0)A(1) или F(2)A(1) для второго счетчиков. Сигналы этих команд подаются на обобщенные входы 16 двухвходовых схем И (18—33) для первого и (37—52) — для второго счетчиков. Индивидуальные входы этих схем соединены с соответствующими разрядами счетных элементов. Содержимое счетчиков из модуля по командам чтения поступает на линии R1 — R16.

Логика управления работой модуля. Логика управления позволяет управлять входами счетных элементов, изменять режим работы модуля, разрешать или запрещать действие

в модуле сигналов C, I. Эта часть схемы представляет собой регистр управления модуля, состоящий из триггеров 1—4, триггера управления входами счетчиков 14 и различных логических элементов, коммутирующих прохождение сигналов, поступающих с внешних входов и с магистрали крейта. В модуле предусмотрены три возможности управления входами счетных элементов. Программное управление осуществляется с помощью специального триггера 14 и сигналом *Запрет I*. Кроме того, управление входами возможно внешним сигналом, подаваемым на специальный вход управления *Vx.упр.* модуля. В последнем случае предварительно необходимо программно установить соответствующий режим работы модуля — режим с внешним управлением.

Потенциалом с прямого выхода T14 открываются или запираются по одному из входов логические элементы И 16, 35, через которые сигналы внешних входов счетчиков поступают на счетные элементы. В исходное состояние триггер 14 устанавливается сигналом Z по входу триггера R. При этом счет входных сигналов будет запрещен, поскольку на прямом выходе триггера установится сигнал логического нуля. В процессе работы программное изменение состояния триггера осуществляется командами запрещения F(24)A(0) и разрешения F(26)A(0), которые подаются на входы R и S триггера соответственно. По F(26)A(0) счет входных сигналов будет разрешен лишь в том случае, если на всех остальных входах логических элементов И 16, 35 присутствуют разрешающие (высокие) потенциалы.

Поступлением в модуль с магистрали крейта сигналов *Запрет I* и *Сброс C* управляют триггеры 3 и 4 регистра управления. Действие этих сигналов в модуле будет разрешено, если оба триггера установлены в единичное состояние. Если при этом на линиях I и C магистрали крейта появятся сигналы, они через логические элементы ИЛИ 10, ИЛИ 11 и ИЛИ 12, ИЛИ 13 поступят в модуль. Сигнал I запирает входные логические элементы И 16, 35 счетчиков, запрещая тем самым счет входных сигналов. Сигнал C через логический элемент И 13 поступает на входы R счетных элементов СТ2 17, 36 и триггеров переполнения 34, 53, устанавливая их в нулевое состояние.

Изменением состояния триггеров 1 и 2 устанавливается один из возможных режимов работы модуля.

При установке в состояние 1 триггера 1 (триггера разрядности счетчиков) потенциалами с его прямого и инверсного выходов логический элемент И 5 открывается, а И 6 — закрывается. При этом входные сигналы со входа второго счетчика проходят через элемент И 5 и далее через элементы ИЛИ 7, И 35 на вход счетного элемента второго счетчика. Поступление же сигналов с выхода первого счетчика СТ2 17 на вход второго СТ2 36 запрещен через элемент И 6. В таком режиме модуль функционирует как два отдельных 16-разрядных счетчика.

Если триггер разрядности сбросить, на его прямом выходе установится низкий, а на инверсном — высокий потенциал. При

этом счет сигналов со входа *Vx.2* запрещается логическим элементом *И 5* и разрешается поступление сигналов переполнения от счетного элемента *СТ2 17* через *И 6* на вход счетного элемента *СТ2 36*. Счетные элементы *СТ2 17* и *СТ2 36* по существу будут соединены последовательно и в этом режиме модуль работает как один 36-разрядный счетчик.

Состояние триггера *2* позволяет установить либо режим непрерывного счета входных сигналов модуля, либо режим счета входных сигналов лишь при наличии внешнего управляющего сигнала на входе управления. Если триггер *2* сброшен, на выходе логического элемента *И 9* всегда будет высокий потенциал, независимо от наличия или отсутствия специального сигнала на входе управления. Если при этом разрешен счет триггером управления *14* и сигнал *I* отсутствует, входные сигналы непрерывно сосчитываются обоими счетными элементами. В единичном состоянии триггера *2* высоким потенциалом с его прямого выхода логический элемент *И 9* открыт по верхнему входу. Потенциал на выходе этого элемента и на соответствующих входах логических элементов *И 16, 35* теперь будет зависеть от состояния сигнала на входе управления. При отсутствии управляющего сигнала (низкий потенциал на входе управления) на обоих входах логического элемента *И 9* будут высокие потенциалы. В этом случае логические элементы *И 16, 35* закрыты потенциалом логического *0* с выхода *И 9* и счет входных сигналов счетчиками запрещен. С поступлением на вход управления сигнала разрешения счета (высокий потенциал на входе управления) высоким потенциалом с выхода логического элемента *И 9* входы счетчиков будут открыты. Входные сигналы при этом могут сосчитываться обоими счетчиками в течение всего времени действия разрешающего сигнала на входе управления.

Триггеры регистра управления после включения питания крейта устанавливаются в произвольное состояние. Для того чтобы программно задать определенные режимы работы модуля, необходимо с помощью соответствующего информационного слова по линиям данных *W1 — W4* установить все триггеры в определенное состояние. Сигналы с линий *W1 — W4* поступают на входы управления триггеров регистра. Соответствие режимов работы модуля коду, передаваемому по линиям данных, приведено выше. Запись информации в регистр управления производится командой записи в регистр второй группы *F(17)A(0)* в момент поступления в модуль строб-сигнала *S1*. Сигнал команды *F(17)A(0)S1* воздействует на тактовые входы всех триггеров одновременно.

Логика обслуживания ЛАМ-информации. Источником запроса в функциональном модуле может быть любое устройство, которое завершило цикл обработки входных сигналов и готово передать информацию в ЭВМ. Если рассматриваемый модуль работает в режиме с внешним управлением и функционирует как два 16-разрядных счетчика, в нем имеются три источника Л-запроса, каждый из которых по завершении определенных дей-

ствий может инициировать запрос от модуля контроллеру в произвольный момент времени. Два источника запроса — это непосредственно счетные элементы, каждый из которых при переполнении может инициировать Л-запрос от модуля. Третьим источником запроса является управляющий сигнал. При работе с внешним управлением цикл измерений заканчивается с окончанием действия сигнала на входе управления. В этот момент времени модуль также может генерировать Л-запрос на магистраль крейта.

ЛАМ-логика модуля предназначена для того, чтобы хранить информацию о состоянии источников запросов. Она содержит электронные узлы, позволяющие программно идентифицировать общий Л-запрос модуля с конкретным источником запроса и, кроме того, позволяет управлять от ЭВМ выходом общего Л-запроса на магистраль крейта.

Триггеры переполнения *34* и *53*, как уже отмечалось, являются ЛАМ-статусными элементами первого и второго счетчиков. Сигналы с выходов этих триггеров могут объединяться схемой ИЛИ *57* и устанавливать триггер ЛАМ-требования счетчиков *58*. Следует заметить, однако, что при последовательном соединении счетных элементов в единый 32-разрядный счетчик счетный элемент *СТ2 17* выполняет вспомогательную роль, его триггеры в этом случае являются младшими разрядами общего счетчика. Сигнал переполнения счетчика *СТ2 17* служит лишь входным сигналом для счетчика *СТ2 36* и не должен инициировать запрос модуля. Прохождением сигнала с триггера переполнения *34* в качестве ЛАМ-требования управляет триггер разрядности *1* регистра управления модуля. При работе модуля в режиме отдельных 16-разрядных счетчиков положительным потенциалом с прямого выхода триггера *1* схема *И 54* открыта и сигнал с триггера *34* поступает в качестве ЛАМ-требования на триггер *58*. Программный контроль состояния ЛАМ-статусных элементов выполняется в модуле командой *F(1)A(12)*, которая через логические элементы *И 55, 56* считывает содержимое ЛАМ-статусного регистра *34, 53*. Содержимое регистра поступает через контроллер крейта в ЭВМ, где производится анализ состояния источников ЛАМ-запросов счетчиков.

Триггер ЛАМ-требования от сигнала управления *63* устанавливается в состояние *1* по окончании управляющего сигнала.

Проверка ЛАМ-требований отдельных функциональных элементов счетчика в данном модуле выполняется индивидуально через логические элементы *И 59, 62*. Командой *F(8)A(6)* проверяется состояние ЛАМ-требования от сигнала управления, а командой *F(8)A(7)* — от счетчиков. Ответ модуля на команды проверки состояния ЛАМ-требований передается по линии *Q* магистрали. Триггеры ЛАМ-требований в процессе работы модуля сбрасываются командами *F(10)A(6)* и *F(10)A(7)* по соответствующим входам *R*.

Все ЛАМ-требования, объединяясь на схеме ИЛИ *60*, образуют Л-запрос модуля. Сигнал запроса может поступить на магистраль крейта, если триггер управления Л-запросом модуля *64* установлен в состояние *1*. Программное изменение состояния этого

триггера выполняется командами F(24)A(5), F(26)A(5) по входам R и S соответственно.

Проверка состояния общего L-запроса модуля выполняется командой F(8)A(5) через логический элемент И 66. Ответом модуля в этом случае, как и на все команды проверки, является сигнал Q.

Факт наличия L-запроса от модуля в данном случае индицируется световым индикатором на передней панели.

Запрос от модуля всегда передается контроллеру крейта по индивидуальной линии магистрали. Кроме того, в некоторых случаях сигнал запроса выводят на разъем передней панели, откуда по кабельному соединению он может быть передан на специальные функциональные модуля (регистр прерываний, грейдер L-запросов), упрощающие обработку в ЭВМ запросов от модулей данного крейта.

В процессе работы модуля в измерительной системе может возникнуть необходимость в периодическом или эпизодическом контроле работы функциональной части модуля или отдельных его элементов. Такого рода проверка может быть выполнена программно с использованием всего набора сигналов и команд модуля. Имитация входных сигналов осуществляется в этом случае специальными командами. В данном модуле счетчиков для этой цели использованы команды F(25)A(0) для первого и F(25)A(1) для второго счетчиков. Сигналы команд стробируются сигналом S1 и подаются непосредственно на входные элементы счетчиков модуля через соответствующие элементы ИЛИ 15, 7.

После рассмотрения работы функционального модуля, использования его сигналов и команд КАМАК уместно сделать замечание об использовании субадресов в составе команд модуля. Как известно, субадрес определяется как адрес отдельной функциональной части модуля. Разработчики модулей обычно стараются применять одни и те же значения субадресов в командах, которые используются при обращении к функционально связанным логическим элементам модуля. Например, в рассмотренном модуле счетчиков субадрес A(0) используется при обращении непосредственно к счетному элементу первого счетчика СТ2 17, его триггеру переполнения 34, логическим элементам для считывания информации из первого счетчика И 18—33, а также в составе команды, программно имитирующей сигналы на его входе.

Иногда, однако, в целях упрощения схемотехники интерфейсной части модуля один и тот же субадрес применяют в составе команд, предназначенных для обращения к логическим узлам, не имеющим функциональной связи. Так, в модуле на рис. 2.18 субадрес A(0) используется также в командах, выполняющих определенные действия в регистре управления модуля и в триггере управления входами счетчиков.

Обширный набор сигналов и команд, которые используются в рассмотренном модуле, позволяет достаточно гибко и эффективно управлять его работой в составе электронного оборудования

экспериментального комплекса. В качестве примера использования команд и сигналов модуля рассмотрим реализацию простейшего алгоритма работы модуля, который включает подготовку его к работе, идентификацию источника запросов и их обслуживание (рис. 2.19).

На начальном этапе программирования в таком виде обычно представляют логику работы модуля в эксперименте. Следующим этапом программирования является перевод команд и сигналов КАМАК на соответствующий язык вычислительной машины с учетом особенностей организации контроллера крейта.

Подготовка модуля к работе выполняется следующими сигналами и командами:

Z — устанавливает в начальное состояние все триггеры и регистры модуля, за исключением регистра управления;

F(17)A(0) — задает режим работы модуля в соответствии с информацией, передаваемой по шине данных. При значениях разрядов информационного слова $W1=0, W2=0, W3=1, W4=0$ модуль будет работать как два 16-разрядных счетчика в режиме с внешним управлением. Использование в модуле сигнала I запрещено, а действие сигнала С разрешено;

F(26)A(5) — разрешает модулю выставлять L-запрос на магистраль крейта;

F(26)A(0) — открывает входы счетчиков, разрешая тем самым счет входных сигналов.

Предположим, что сигнал требования прерывания от данного контроллера крейта инициируется только модулем счетчиков.

Прежде всего необходимо убедиться в том, что запрос поступил от данного модуля, а не является сбоем (электрической наводкой и т. п.) в работе измерительной системы. Если запрос от

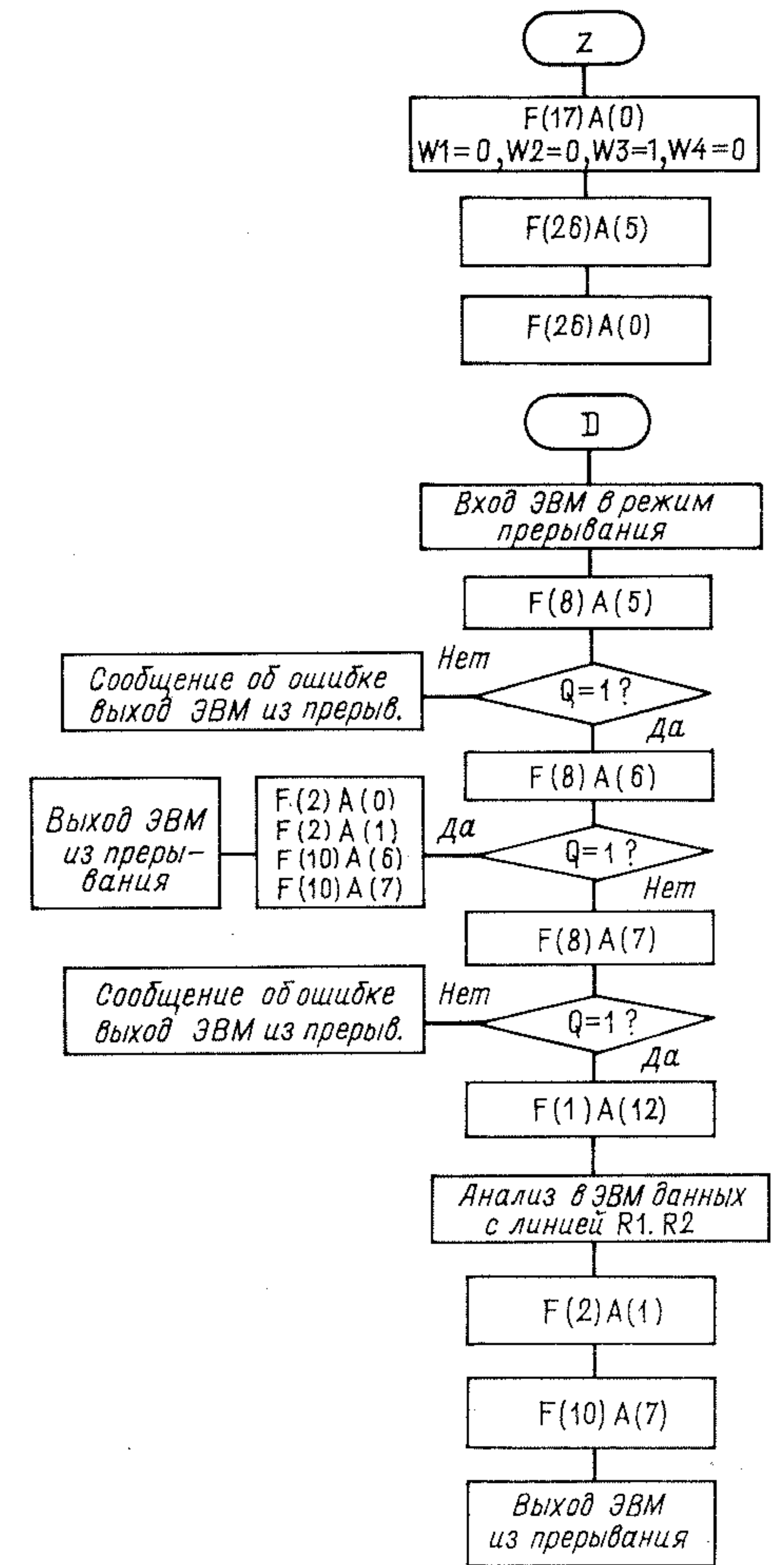


Рис. 2.19. Структурная схема программы работы счетчика

модуля существует, следует идентифицировать его с конкретным источником запросов в самом модуле;

F(8)A(5) — проверяет наличие L-запроса от модуля. Ответ $Q=0$ воспринимается как сбой в работе системы, так как других запросов в крейте, которые могли бы инициировать требование прерывания от контроллера, нет. В этом случае ЭВМ сообщает экспериментатору об ошибке в системе (например, распечаткой на дисплее, АЦПУ) и выходит из программы обработки прерывания.

При подтверждении L-запроса модуля счетчиков сигналом $Q=1$ далее необходимо уточнить источник запроса в модуле;

F(8)A(6) — проверяет наличие LAM-требования от сигнала управления. Ответ $Q=1$ означает, что цикл измерений, определяемый длительностью управляющего сигнала, закончен независимо от того, есть запросы от самих счетчиков или их нет. При этом из счетчиков необходимо переслать информацию в ЭВМ;

F(2)A(0) — считывает содержимое первого счетчика и сбрасывает счетчик и его триггер переполнения;

F(2)A(1) — осуществляет те же самые действия в отношении второго счетчика;

F(10)A(6) — сбрасывает LAM-требования сигнала управления;

F(10)A(7) — сбрасывает LAM-требования от счетчиков. Хотя наличие этого LAM-требования отдельно не проверялось, оно могло возникнуть в процессе работы; например при достаточно длительном времени измерения и большой частоте следования входных сигналов на входах счетчиков.

В том случае, если на F(8)A(6) получен ответ $Q=0$, следует уточнить источник запроса среди отдельных счетчиков;

F(8)A(7) — проверяет наличие LAM-требования от счетчиков. При ответе $Q=0$ следует выявить ошибку в работе измерительной системы, поскольку при наличии общего запроса от модуля источник запроса в модуле не обнаружен. При ответе $Q=1$ уточняется, который из счетчиков требует обслуживания;

F(1)A(12) — считывает в ЭВМ состояние LAM-статусного регистра, т. е. состояние триггеров 34 и 53. С получением информации по линиям данных R1, R2 ЭВМ анализирует состояние каждого разряда данных и устанавливает истинный источник запроса. Например, при значении сигналов по линиям $R1=0$, $R2=1$ в отношении первого счетчика со стороны ЭВМ никаких действий не предпринимается и он продолжает набор информации. Поскольку источником запроса модуля в данном случае является второй счетчик, для завершения цикла работы с модулем необходимо накопленные в нем данные переслать в ЭВМ, сбросить сам счетчик и его триггер переполнения, сбросить триггер LAM-требования счетчиков. Эти действия могут быть выполнены командами F(2)A(1) и F(10)A(7).

В рассмотренном модуле управление функциональной частью выполняется программно через логику управления и LAM-логику. В некоторых модулях для управления отдельными режимами

работы наряду с программными используют аппаратные средства, т. е. определенные схмотехнические решения или элементы внешнего управления, устанавливаемые на передней или задней панелях модулей. Так, изменение разрядности счетчиков часто выполняют установкой или снятием определенных перемычек на его монтажной плате или с помощью переключателей на передней или задней панели.

При разработке модулей в каждом конкретном случае стремятся оптимально совмещать программные и аппаратные возможности управления их работой для достижения необходимой гибкости в использовании модулей при проведении измерений. Следует иметь в виду, что среди разработанных функциональных модулей имеются и такие, в которых вообще не предусмотрено их взаимодействие с вычислительными средствами. Такие модули выполнены в конструктивах КАМАК лишь из соображения удобства их размещения в общем комплексе электронной аппаратуры эксперимента.

Классификация функциональных модулей

В научных лабораториях накоплено большое число самых разнообразных модулей КАМАК. Несмотря на это, процесс разработки новых модулей непрерывно продолжается. Это обусловлено несколькими причинами. Постоянное развитие элементной базы электронного приборостроения приводит к тому, что многие функциональные модули через несколько лет после их разработки морально устаревают. Появляются новые, более совершенные модули, обладающие лучшими измерительными характеристиками. В качестве примера в табл. 2.5 показано изменение характеристик модулей двоичных счетчиков в последовательно выполненных разработках. Видно, что при увеличении количества независимых счетчиков в модуле (с 2 до 12) возрастает их емкость (с 12 до 24 двоичных разрядов) и скорость счета (с 15 до 200 МГц).

Таблица 2.5. Изменение характеристик модулей двоичных счетчиков

Число счетчиков в модуле 1М	2	4	4	4	4	4	12
Число двоичных разрядов в одном счетчике	16	12	16	16	24	24	24
Максимальная частота входных сигналов, МГц	75	15	75	100	100	200	100

Другая причина необходимости разработки новых функциональных модулей заключается в том, что сложность современного физического и в особенности ядерно-физического эксперимента постоянно возрастает. Появляются новые, более совершенные детекторы излучений, предъявляются все более высокие требования к точности измерений, скорости накопления и обработки больших

массивов информации в ходе эксперимента. Все это приводит к необходимости разработки новых функциональных модулей, в полной мере удовлетворяющих потребностям конкретного эксперимента.

Ввиду большого разнообразия существующих модулей трудно провести их строгую и всеобъемлющую классификацию, которая полностью удовлетворяла бы запросам всех потребителей аппаратуры КАМАК. В каждой области применения классификация модулей может быть выполнена по-разному.

С точки зрения физика-экспериментатора, модули КАМАК целесообразно подразделить на три вида: модули для физических исследований; модули связи с ЭВМ; модули сервисного назначения.

Модули для физических исследований. Это самая многочисленная группа, в которой представлены все разновидности элементов электронной аппаратуры для преобразования, отбора и накопления сигналов от детекторов излучений.

В соответствии с функциональным назначением среди модулей данного вида различают аналоговые модули, модули аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, цифровые модули и модули вспомогательного назначения. Ниже приведены общие характеристики функциональных модулей, которые наиболее часто используют при проведении измерений в ядерной физике низких и средних энергий.

Аналоговые модули. Предназначены для обработки аналоговых (непрерывных) сигналов: амплитуд импульсов, временных интервалов, величин зарядов. К ним относятся модули, содержащие усилители сигналов, линейные ключи, линейные ворота, интегральные и дифференциальные дискриминаторы, модули для выделения временных интервалов по признаку совпадения или антисовпадения, модули временной задержки, формирователи аналоговых сигналов по различным параметрам и др.

В большей части аналоговых модулей не предусматривается их программное взаимодействие с ЭВМ. Управление работой таких модулей обычно осуществляется вручную с помощью органов управления на передней и задней панелях. Однако в некоторых случаях программное управление отдельными режимами работы аналоговых модулей позволяет более эффективно использовать их в измерениях. Отметим лишь некоторые из них.

Усилители. В соответствии с особенностями работы отдельных детекторов существуют усилители для полупроводниковой и сцинтилляционной спектроскопии. Модули быстрых усилителей используются для временной спектроскопии в наносекундном диапазоне.

Особенностью некоторых усилителей, выполненных в виде модулей КАМАК, является отсутствие ручного управления режимами их работы. Изменения коэффициента усиления, постоянной времени цепей формирования сигналов, состояния различных входов модуля, например открыто — закрыто, осуществляются программно через соответствующие разряды регистра управления модуля. Перечень команд таких модулей обычно сводится к двум командам: F(17)A(0) — занесение информационного слова в регистр управления, F(1)A(0) — чтение содержимого регистра управления для контроля режима работы модуля.

Схемы совпадений/антисовпадений. Модуль совпадений/антисовпадений имеет несколько входов на передней панели, через которые поступают логические сигналы для временного отбора по принципу совпадение/антисовпадение. Вид отбора по конкретному входу, кратность и разрешающее время схемы могут задаваться программно от ЭВМ. Для этой цели обычно используют две команды КАМАК:

F(1)A(0) — чтение регистра состояния модуля, т. е. режима, в котором находится модуль;

F(17)A(0) — запись информационного слова в регистр состояния, т. е. установка режима работы модуля.

Схемы временной задержки. Модули схем временной задержки перекрывают довольно широкий диапазон задержки логических сигналов — от десятых долей наносекунд до микросекундного диапазона. Существуют как пассивные модули, так и активные, допускающие возможность программного управления величиной задержки.

Модули преобразователей сигналов. Аналогово-цифровые преобразователи используются для преобразования измеряемой аналоговой величины в соответствующий ей цифровой код. В ядерно-физических измерениях применяют амплитудно-цифровые, время-цифровые и зарядо-цифровые преобразователи.

Амплитудно-цифровые преобразователи (АЦП). Модули АЦП в зависимости от области их применения имеют различные характеристики. Для получения высокого энергетического разрешения в прецизионной полупроводниковой спектроскопии важны такие показатели, как интегральная и дифференциальная нелинейность, число каналов или разрядность преобразователя, наибольшее время преобразования входной амплитуды в цифровой код. Такие преобразователи — довольно сложные электронные устройства, которые обычно выполняются в виде модулей шириной 1М или 2М. При прочих равных параметрах преобразователи для полупроводниковой спектроскопии часто различают по их максимальной разрядности, которая в различных модификациях преобразователей меняется от 10 до 14 разрядов.

Требования к АЦП для сцинтилляционной спектроскопии не столь жесткие, как к АЦП для полупроводниковых детекторов. Их разрядность колеблется обычно от 8 до 10. Схемотехническое решение таких преобразователей существенно проще, что позволяет иметь в модуле шириной 1М несколько, например 6—8, идентичных преобразователей.

Программное взаимодействие ЭВМ с модулями АЦП включает в себя задание режима работы модуля, считывание в ЭВМ двоичных кодов амплитуд входных сигналов, проверку состояния отдельных функциональных узлов и т. п.

Время-цифровые преобразователи (ВЦП). Модули ВЦП предназначены для преобразования временных интервалов, начиная с длительности от нескольких десятков наносекунд, в цифровой код. ВЦП выполняют обычно в виде модулей одиночной ширины, т. е. 1М. Существуют преобразователи, которые измеряют за один рабочий цикл, т. е. на один стартовый сигнал, один или несколько временных интервалов. Последние имеют один вход для стартового и несколько входов, обычно 5—8, для стоповых сигналов.

Зарядо-цифровые преобразователи (ЗЦП). Модули ЗЦП содержат обычно несколько отдельных преобразователей заряда в цифровой код. Иногда такие модули содержат по одному преобразователю, который с помощью быстрого коммутатора подключается к отдельным входам. Типовой набор команд таких модулей мало отличается от набора команд АЦП.

Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). Модули этих преобразователей преобразуют цифровые коды, поступающие от ЭВМ, в аналоговые сигналы. Обычно коды преобразуются в амплитуды сигналов, которые пропорциональны значению кодов. Такие модули используются для управления работой внешних устройств, в которых отклонение исполнительных элементов связано с величиной амплитуды входного сигнала. Модули ЦАП часто используют для отклонения луча осциллографа или перемещения пера графопроектировщика при графическом представлении информации, хранящейся в виде кодов в ОЗУ ЭВМ. Модули современных ЦАП выполняются шириной 1М и содержат несколько идентичных преобразователей.

Цифровые модули. Цифровые модули обрабатывают дискретные (цифровые) сигналы, поступающие от внешних источников через разъемы передней панели модуля или от ЭВМ с магистрали крейта. К цифровым модулям относятся, например, счетчики сигналов, регистры, мультиплексоры, таймеры, генераторы, интерфейсы приборов, а также ряд вспомогательных модулей, такие, как смесители и разветвители сигналов и прочие модули, облегчающие компоновку измерительных систем.

Счетчики импульсов. Среди модулей счетчиков наибольшее распространение получили двоичные и десятичные счетчики, а также счетчики с предварительной установкой. Чаще при организации измерительных систем применяют двоичные счетчики. В модуле одиночной ширины содержится от 4 до 12 отдельных счетчиков разрядностью от 12 до 24 двоичных разрядов. Для увеличения емкости счетчиков обычно предусматривают возможность программного или аппаратного каскадирования, т. е. последовательного соединения счетчиков. Быстродействие, или скорость счета входных сигналов в разных модулях счетчиков составляет от 10 до 300 МГц.

Модули десятичных счетчиков используют реже, чем двоичные. На передней панели таких модулей обычно имеется цифровая индикация содержимого отдельных счетчиков.

Оба вида счетчиков имеют один или несколько входов для внешних управляющих сигналов, позволяющих осуществлять счет входных импульсов лишь в заданные интервалы времени.

Уровни входных сигналов счетчиков, рассчитанных на частоту до 20 МГц, соответствуют уровням ТТЛ. При большей входной частоте уровни входных сигналов соответствуют уровням NIM.

Программное управление работой модулей сводится к установке режима работы модуля, считыванию содержимого отдельных счетчиков, сбросу счетчиков, проверке состояния L-запроса отдельных счетчиков в модуле в целом.

В некоторых случаях при создании измерительных систем используют модули счетчиков с предварительной установкой, или установочные счетчики, которые выполняют несколько различных функций. Их редко применяют для простого счета входных сигналов. Счетчики такого рода в основном используют для различных вспомогательных целей при организации измерительных систем. Например, с помощью счетчиков с предварительной установкой можно получать логические сигналы произвольной длительности для управления работой других модулей в ходе эксперимента. Установочные счетчики позволяют получать из непрерывной серии внешних сигналов пачку (цуг) импульсов; они могут быть использованы как делители частоты внешних сигналов, преобразователи входного импульсного потока во временной интервал и временного интервала в соответствующий цифровой код.

Следует отметить, что в таких случаях значения основных формируемых параметров — длительности управляющего сигнала, длительности пачки импульсов,

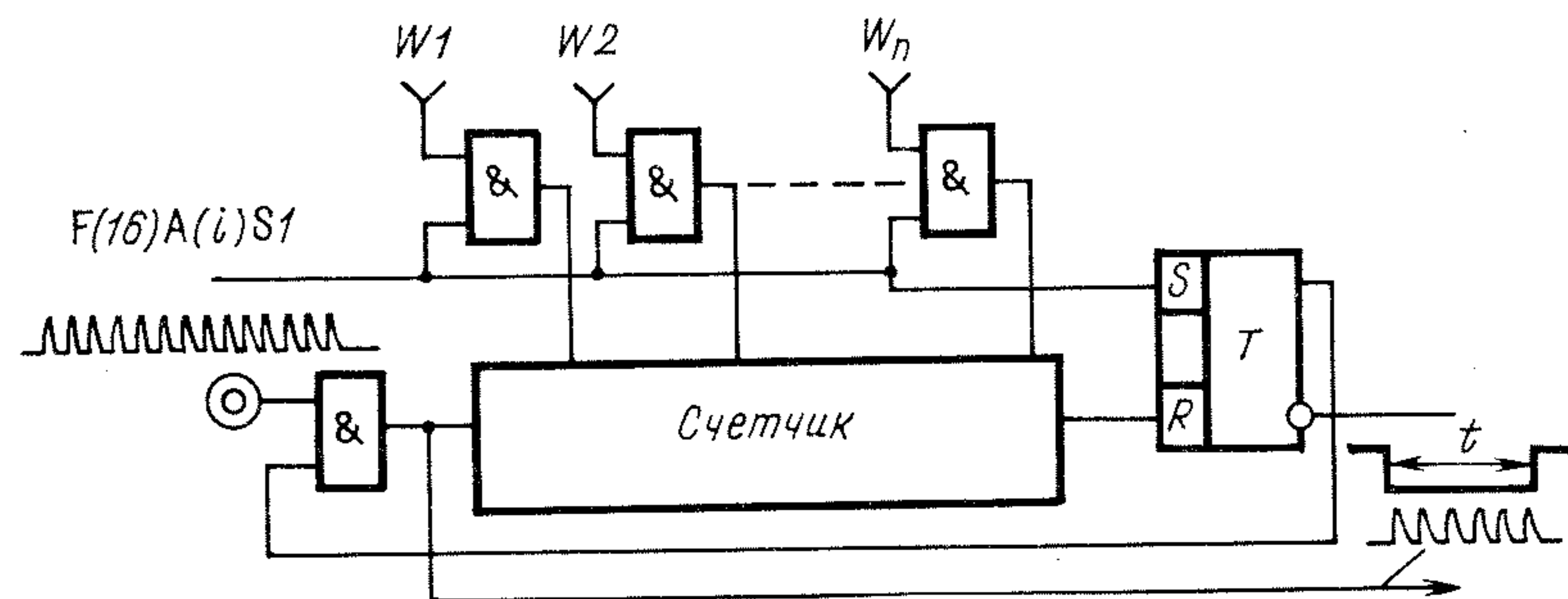


Рис. 2.20. Функциональная схема счетчика с предварительной установкой

коэффициента деления внешних сигналов — могут задаваться и изменяться в ходе эксперимента программно от ЭВМ.

На рис.2.20 показан вариант функциональной схемы, реализующей некоторые режимы работы предустановочного счетчика. В исходном состоянии счетчик сброшен, триггер Т находится в состоянии 0, сигналы с внешнего генератора на счетный элемент не поступают.

С линии данных W магистрали крейта по команде записи в счетчик заносится некоторое число, т. е. осуществляется предварительная установка счетчика. Одновременно триггер Т переводится в состояние 1, разрешая тем самым счет сигналов от внешнего генератора. После переполнения счетчика происходит сброс триггера Т. В результате на выходе модуля формируется логический сигнал длительностью t и цуг импульсов той же длительности. Интервал времени t определяется, очевидно, временем, необходимым для переполнения счетчика внешними сигналами. Это время, в свою очередь, зависит от трех величин: разрядности счетного элемента (K), числа импульсов, предварительно занесенного в счетчик (N) и частоты следования входных сигналов (F). Длительность интервала t связана с перечисленными величинами следующей зависимостью:

$$t = \frac{2^K - N}{F},$$

где 2^K — число импульсов, необходимое для переполнения счетчика разрядностью K.

Изменяя значения N и F, можно получить необходимую длительность выходного сигнала со счетчика и соответственно цуга импульсов.

Управление работой модуля счетчиков с предварительной установкой от ЭВМ заключается в установлении режима работы модуля, занесении определенного числа в счетчик, чтении содержимого счетчика, проверке состояния L-запроса модуля.

Входные регистры. Модули входных регистров предназначены для ввода в ЭВМ через магистраль крейта данных от различного внешнего оборудования. Часто такие модули содержат два 24-разрядных регистра, на которые через многоконтактные разъемы передней панели поступают данные от внешних устройств. Данные могут сопровождаться строб-сигналом, который инициирует L-запрос модуля на магистраль крейта. Возможен прием информации через входной регистр с использованием стандартных способов передачи массивов информации (см. § 2.4).

Выходные регистры. Модули выходных регистров используются для передачи данных с магистрали крейта к внешнему оборудованию. Модули обычно содержат два 24-разрядных регистра, в которые с магистрали крейта заносятся данные,

считываемые затем по строб-сигналу от внешнего оборудования. Для синхронизации передачи данных специальный сигнал от внешнего оборудования может инициировать L-запрос от модуля выходного регистра. Для ускорения процесса обмена можно использовать один из режимов групповой передачи данных.

Промышленностью выпускаются различные модули входных и выходных регистров. Существуют универсальные модули, выполняющие одновременно функции входных и выходных регистров. Большинство модулей предназначены для параллельного обмена данными, но существуют модули, позволяющие производить последовательную (бит за битом) передачу данных. Поскольку внешнее оборудование, подключаемое через модули регистров, может иметь различные уровни логических сигналов, модули входных и выходных регистров выпускаются с разными логическими уровнями на внешних разъемах — с уровнями ТТЛ в отрицательной и положительной логике, с уровнями 12В, 24В, 48В и др. Большинство модулей регистров содержат оптоэлектронные развязки для увеличения помехоустойчивости при передаче информации между магистралью крейта и внешним оборудованием.

Модули вспомогательного назначения. При организации измерительных систем на линии с ЭВМ часто применяют ряд модулей КАМАК, использование которых создает определенные удобства на этапе создания системы и непосредственно в ходе измерений.

Интерфейсы приборов. В практике физического эксперимента часто возникает необходимость использования в составе измерительных комплексов различного нестандартного по отношению к ЭВМ и системе КАМАК оборудования. Для некоторой части этого оборудования желательно обеспечить активное взаимодействие с ЭВМ. Так, для визуального представления экспериментальной информации в ходе измерений часто используют черно-белые или цветные телевизионные мониторы и промышленные телевизоры. Для перемещения мишеней относительно пучка частиц или исследуемых образцов относительно источника излучения применяют различного рода электродвигатели. Накопление и обработку информации, поступающей с некоторых приборов, например с цифровых вольтметров, удобнее осуществлять в ЭВМ.

В подобных случаях подключение оборудования к магистрали крейта осуществляется через специализированные функциональные модули — интерфейсы соответствующих приборов. Для каждого устройства разрабатывается свой, индивидуальный интерфейс с учетом особенностей работы прибора и возможности его взаимодействия с ЭВМ.

Запоминающие устройства. Модули оперативных запоминающих устройств (ОЗУ) (их иногда называют буферными запоминающими устройствами или буферными накопителями) получили широкое распространение в системах сбора и обработки экспериментальной информации. Их применение позволяет существенно разгрузить ЭВМ физической установки от рутинных операций, связанных с приемом и сортировкой кодов отдельных событий. Накопление информации в этом случае происходит в модулях ОЗУ, а затем в определенные моменты времени — при переполнении одной из ячеек памяти или по каким-либо другим признакам — в ЭВМ передается массив накопленной информации. Такой подход достаточно часто реализуется при амплитудном и временном анализе событий.

В практике эксперимента используются модули, которые содержат запоминающие устройства емкостью до 64К 16- или 24-разрядных слов. Среди существующих модулей запоминающих устройств различают ОЗУ статического и динамического типов. В статических ОЗУ информация сохраняется в течение всего времени, пока в модуль подается напряжение питания. В ОЗУ динамического типа занесенная инфор-

мация с течением времени разрушается и вследствие этого в модулях осуществляется ее принудительная регенерация с периодом около 1 мс.

Обычно в модулях ОЗУ предусматриваются инкрементный (анализаторный), декрементный режимы работы и режим запоминания кодов. В первых двух режимах по адресу ячейки ОЗУ, которым является цифровой код события, происходит добавление или вычитание единицы. В режиме запоминания кодов в последовательных ячейках ОЗУ запоминаются сами коды событий, причем наращивание последовательных адресов происходит автоматически.

При организации одномерных и многомерных спектрометров модули ОЗУ часто работают совместно с одним или несколькими модулями АЦП. Взаимосогласованная работа модулей обоих типов обеспечивается определенными схемными решениями в них, позволяющими реализовать заданный алгоритм обмена информацией между модулями.

Многими разработчиками модулей ОЗУ предусматривается возможность каскадирования, т.е. последовательного соединения однотипных модулей для увеличения общей емкости запоминающего устройства в крейте.

Генераторы тактовых импульсов, таймеры. Модули генераторов тактовых импульсов и таймеры являются вспомогательными модулями, которые широко применяются при организации измерительных систем. Генераторы тактовых импульсов позволяют получать сформированные по амплитуде и длительности логические сигналы, частота и соответственно период следования которых задаются внутренним кварцевым генератором модуля (внутренний запуск) или дополнительным внешним генератором (внешний запуск). Модули тактовых генераторов имеют несколько, обычно 7—9 выходов. Частота выходных сигналов понижается на каждом последовательном выходе в 10 раз, начиная от опорной частоты, которая в разных генераторах составляет 1 или 10 МГц. В модулях предусмотрена возможность разрешения или запрещения сигналов на выходах с помощью внешнего сигнала управления, подаваемого на специальный вход управления.

Таймерами обычно называют модули, в которых совмещены отдельные функции установочного счетчика и генератора тактовых импульсов.

Коммутаторы логических сигналов. Иногда в процессе подготовки экспериментальной установки к измерениям бывает необходимо разветвить сигнал, т.е. передать сигнал с выхода какого-либо модуля на несколько входов других модулей, или, наоборот, собрать сигналы с различных модулей на один вход определенного модуля. Такого рода функции выполняют модули разветвителей и смесители логических сигналов.

Модули разветвителей имеют один вход и несколько выходов, а модули смесителей, наоборот, несколько входов и один выход. Часто такие модули содержат по несколько групп соответствующих входов и выходов. Такого рода коммутаторы сигналов содержат электронные узлы, позволяющие согласовать линии передачи сигналов между модулями в крейте.

Преобразователи уровней сигналов. Модули преобразователей сигналов предназначены для преобразования сигналов из уровней ТТЛ в сигналы уровней NIM или наоборот. Они могут быть использованы при согласовании работы функциональных модулей с разными уровнями сигналов на входных (выходных) разъемах передней панели.

Преобразователи напряжения. При организации измерительных систем иногда возникает необходимость использовать в крейте функциональные модули, которые кроме стандартных для системы КАМАК номиналов питания используют номиналы

питания, допустимые для использования, но относящиеся к группе дополнительных, например ± 12 В. Поскольку стандартные источники питания крейта обычно не вырабатывают номинала ± 12 В, для его получения используют модуль преобразователя напряжения или, как его часто называют, конвертор $24 \text{ В} \rightarrow 12 \text{ В}$. Такой модуль, установленный на любой станции крейта, питается от шин магистрали ± 24 В и вырабатывает напряжение питания ± 12 В на соответствующие шины питания магистрали.

Специализированные комплекты модулей. Экспериментатор, имея в своем распоряжении разрозненный набор функциональных модулей КАМАК, соединяет их кабелями в соответствии с решаемой задачей. При построении измерительных систем в различных областях физики иногда используют специализированные измерительные или управляющие тракты, представляющие собой комплекты (линейки) функциональных модулей, ориентированных на решение определенного круга задач. Так, на практике получили распространение специализированные тракты для амплитудной спектрометрии, временных измерений, для точного углового перемещения объектов и др. Отдельные модули в таких комплектах часто взаимосвязаны по логике взаимодействия. Совместное использование модулей в специализированных комплектах дает возможность оптимально распределить между ними выполняемые функции, поэтому применению специализированных трактов надо отдавать предпочтение перед организацией аналогичных систем из разрозненных модулей.

Приведенный выше перечень функциональных модулей различного назначения далеко не исчерпывает всего многообразия модулей, используемых при организации измерительных систем. На практике при выборе модулей для конкретного использования необходимо руководствоваться соответствующими справочными материалами — каталогами, проспектами, в которых наиболее полно представлены существующие типы функциональных модулей, их технические и эксплуатационные характеристики, а также назначение команд и сигналов КАМАК для программного управления работой каждого из модулей.

Модули связи с ЭВМ. Для обеспечения эффективного взаимодействия между функциональными модулями, установленными в крейтах, и вычислительными средствами, входящими в состав экспериментальных установок, используют различные модули связи аппаратуры КАМАК с ЭВМ. К ним прежде всего следует отнести контроллеры ЭВМ, драйверы стандартных ветвей КАМАК, а также специальные модули, позволяющие сократить время обслуживания L-запросов функциональных модулей и автономных устройств, входящих в состав измерительного комплекса.

Контроллеры крейта. Контроллеры крейта предназначены для организации связи между функциональными модулями, с одной стороны, и вычислительным или управляющим средством — с другой. Контроллеры являются наиболее важными системными средствами, без которых невозможно функционирование системы КАМАК.

В зависимости от способа организации связи с ЭВМ все контроллеры можно разделить на три основные группы: контроллеры конкретных ЭВМ; автономные контроллеры; контроллеры крейта для ветвей КАМАК.

Контроллеры конкретных ЭВМ. Эти контроллеры иногда называют прямыми контроллерами ЭВМ. Они позволяют организовать непосредственную связь крейта КАМАК, имея в виду его магистраль, с автономной ЭВМ, входящей в состав измерительной системы. Подобные контроллеры разработаны практически для всех

ЭВМ, используемых для автоматизации научных исследований. Для некоторых типов ЭВМ существует несколько модификаций прямых контроллеров. Так, для ЭВМ с общей магистралью, кроме прямых контроллеров, позволяющих осуществлять обмен между функциональными модулями и ЭВМ по программному каналу, существуют контроллеры с одним или несколькими каналами прямого доступа в память ЭВМ. Другие контроллеры кроме выполнения ими основных функций предусматривают возможность управления работой дополнительных контроллеров в многоконтроллерном крейте (§ 4.2).

По способу передачи информации между контроллером крейта и ЭВМ различают контроллеры с параллельным и последовательным обменом. Хотя контроллеры с последовательной передачей допускают несколько меньшую (около 15%) скорость обмена, возможность работы крейта на большом (несколько сотен метров) расстоянии от ЭВМ при дешевой однопроводной линии связи делает использование таких контроллеров в некоторых случаях предпочтительным перед контроллерами с параллельным обменом.

Большинство типов прямых контроллеров путем их последовательного соединения позволяют подключать к ЭВМ несколько крейтов при использовании одного установочного места на магистрали ЭВМ.

Ввиду того что большинство современных микро- и мини-ЭВМ являются 16-разрядными, некоторые разработчики контроллеров предусматривают возможность обмена данными между функциональными модулями и ЭВМ лишь 16-разрядными словами, а не 24-разрядными, как это принято логическим стандартом КАМАК. Это обстоятельство следует учитывать при организации конкретной измерительной системы, все функциональные модули которой в этом случае не должны содержать регистров с разрядностью более 16.

Автономные контроллеры крейта (их иногда называют микропроцессорными контроллерами, или интеллигентными контроллерами) предназначены для управления работой функциональных модулей без использования внешних ЭВМ. Управляющие устройства или источники программ в этом случае содержатся в самом контроллере. В качестве такого устройства обычно служат специализированные микро-ЭВМ, выполненные на базе микропроцессорных комплектов различных серий.

Развитие элементной базы электронного приборостроения и совершенствование технологии изготовления многослойных печатных плат позволили разработать автономные контроллеры, в состав которых входят ЭВМ, которые ранее выпускались лишь в виде автономных устройств. Использование таких автономных контроллеров представляет определенные удобства, поскольку программное обеспечение измерительной системы может разрабатываться и отлаживаться в этом случае на аналогичных промышленных ЭВМ с необходимым набором внешних устройств и широко развитым программным обеспечением.

Контроллеры крейтов для ветвей КАМАК. Контроллеры ветвей КАМАК предназначены для использования в крейтах, работающих в составе параллельной или последовательной ветви КАМАК. При организации стандартных ветвей контроллеры крейта непосредственно взаимодействуют не с ЭВМ, а с драйвером (приводом) ветви.

Контроллеры крейта, используемые при организации параллельной ветви КАМАК, называют контроллерами типа А.

При организации последовательной ветви КАМАК в крейтах используются контроллеры типа L. Разработаны и применяются две модификации этого типа контроллеров — тип L1 и L2.

Вспомогательные модули. Модули данного типа не используются для непосредственной связи с ЭВМ. Их применение в измерительных системах позволяет упростить процесс взаимодействия с ЭВМ на отдельных этапах работы, например при обработке сигналов запросов функциональных модулей.

ЛАМ-грейдеры. Модуль, содержащий ЛАМ-грейдер, или, как его иногда называют, сортировщик запросов, предназначен для упорядочения, т. е. предварительной сортировки L-запросов функциональных модулей в крейте. ЛАМ-грейдер принимает от контроллера крейта по специальной кабельной связи все L-запросы функциональных модулей, а также несколько (обычно 2—4) запросов от автономных внешних устройств, которые поступают через разъемы передней панели модуля. Все L-запросы в модуле сортируются в соответствии с их приоритетами на обслуживание или по какому-либо другому признаку. Группировка запросов может осуществляться программно или с помощью специальной контактной панели внутри модуля. После преобразования L-запросы возвращаются в контроллер крейта, откуда они могут быть считаны в ЭВМ. Грейдеры запросов в основном используются при большом числе запросов в измерительных системах, организованных по принципу параллельной ветви КАМАК (см. § 3.4).

Регистры прерываний. Модуль регистра прерываний используется для передачи на магистраль крейта требований на обслуживание от различных автономных устройств, работающих в составе измерительного комплекса. Модуль содержит регистр, отдельные разряды которого устанавливаются сигналами запросов обслуживания, поступающими через разъемы передней панели от соответствующих устройств. При поступлении в модуль хотя бы одного запроса обслуживания модуль генерирует на магистраль крейта сигнал L-запроса, обслуживание которого происходит по обычным правилам.

Через регистр прерывания может быть организовано обслуживание L-запросов функциональных модулей КАМАК, у которых сигнал L-запроса выведен на разъем передней панели. Такой способ обработки L-запросов упрощает их обслуживание со стороны ЭВМ, так как для конкретных разрядов регистра прерывания, принадлежащих тем или иным конкретным устройствам, заранее может быть установлен порядок обслуживания.

Модули сервисного назначения. Эти модули широко используются при проведении профилактических и наладочных работ с аппаратурой КАМАК, а также для контроля правильности передачи информации между функциональными модулями и ЭВМ непосредственно в процессе проведения измерений. Ниже описаны основные, наиболее часто используемые модули данного вида.

Ручные контроллеры крейта. Ручной контроллер, установленный на место контроллера крейта (24 и 25-й станции крейта), позволяет генерировать на магистраль крейта в однократном или циклическом режиме любые стандартные сигналы КАМАК. Выбор генерируемых сигналов осуществляется вручную с помощью соответствующих переключателей на передней панели контроллера. Этот модуль удобно использовать, когда применение ЭВМ для тестирования и наладки функциональных модулей не представляется возможным.

Индикаторы магистрали крейта. Модуль индикатора магистрали позволяет контролировать процесс обмена информацией между функциональными модулями и контроллером крейта по магистрали крейта. На передней панели модуля расположены световые индикаторы, которые дают возможность определить состояние (логический 0 или логическая 1) большинства линий магистрали во время последней

операции на магистрали. Многие индикаторы магистрали выполняют дополнительные функции, позволяющие контролировать работу измерительной системы. Так, некоторые из них содержат 24-разрядный регистр, в который из ЭВМ может быть записана, а затем считана обратно в ЭВМ контрольная информация. Использование таких индикаторов магистрали позволяет не только контролировать исправность технического тракта передачи информации от ЭВМ до станции в крейте, на которой установлен индикатор, но в некоторых случаях выявлять ошибки в программном обеспечении измерительной системы.

Генераторы слова. Модуль генератора слова, иногда называемый клавишным регистром, является вспомогательным тестовым модулем, предназначенным для выявления неисправностей в тракте передачи данных. Модуль содержит 16- или 24-разрядный регистр, состояние отдельных триггеров которого устанавливается вручную с помощью переключателей на передней панели. Содержимое регистра может быть считано в ЭВМ по соответствующей команде, адресованной модулю.

Удлинители магистрали крейта. Удлинитель магистрали используют при ремонте и наладке функциональных модулей. Обычно удлинитель представляет собой кабель ($l \approx 50 \div 60$ см), один конец которого заканчивается разъемом, аналогичным основному разъему функционального модуля, а на другом конце распаян стандартный магистральный разъем. Для проведения необходимых работ функциональный модуль можно подключить через удлинитель магистрали к любой станции крейта и территориально вынести из крейта.

Удлинители магистрали иногда выполняются в виде жесткой рамы с соответствующими разъемами. Функциональные модули устанавливаются на внешней части рамы, так что они оказываются вынесенными из крейта и доступными для наладочных работ.

Контрольные вопросы к гл. 2

1. Каково основное назначение крейта КАМАК:
 - а) механическая конструкция для размещения электронных модулей;
 - б) стандартное средство связи с ЭВМ;
 - в) предназначен для подвода питающих напряжений к функциональным модулям?
2. Какие станции в крейте называются нормальными:
 - а) на которых размещается контроллер крейта;
 - б) станции, имеющие идентичную разводку всех линий магистрали крейта;
 - в) станции, к которым подведены стандартные напряжения питания?
3. Каково основное назначение логического стандарта КАМАК:
 - а) стандартизация логики обмена информацией между отдельными функциональными модулями крейта и ЭВМ;
 - б) стандартизация логики обмена информацией по магистрали крейта между функциональным модулем и контроллером крейта;
 - в) стандартизация построения внутренних узлов функциональных модулей и контроллера крейта?
4. Определить назначение команды КАМАК:
 - а) генерируя сигналы команды КАМАК, контроллер устанавливает связь с ЭВМ;
 - б) команда служит для передачи информации между функциональными модулями, минуя контроллер крейта;