

3. Что представляет собой система КАМАК:
- набор конструктивных элементов;
 - электронную модульную систему, специально ориентированную на работу с ЭВМ;
 - набор электронных устройств, каждое из которых по индивидуальному каналу связано с ЭВМ?
4. Какие устройства относятся к основным компонентам системы КАМАК:
- любые устройства, выполненные на современной элементной базе;
 - только стандартные конструктивные элементы;
 - крейт с магистралью, функциональные модули, контроллер крейта?
5. Каково основное назначение контроллера крейта:
- сложный многофункциональный измерительный модуль;
 - электронный модуль, управляющий обменом информацией по магистрали крейта и осуществляющий связь с вычислительным устройством;
 - устройство, устанавливаемое на любом месте в крейте, управляющее работой функциональных модулей без использования магистрали крейта?
6. Назовите область применения системы КАМАК:
- используется только для автоматизации ядерно-физических исследований;
 - применяется везде, где существует необходимость оперативного взаимодействия между измерительной аппаратурой и ЭВМ;
 - используется только в научных лабораториях.
7. Какую внешнюю аналогию можно провести между организацией системы КАМАК и современных ЭВМ:
- наличие единой магистрали, одинакового протокола обмена по магистрали, схожесть построения контроллера крейта и процессора ЭВМ;
 - аналогичное конструктивное исполнение, использование единой элементной базы для построения электронных узлов, наличие единого электрического стандарта;
 - наличие единой магистрали, устройство управления (контроллер крейта, процессор ЭВМ), непосредственный выход на магистраль различных функциональных устройств (модулей КАМАК, интерфейсов внешних устройств ЭВМ)?

ГЛАВА 2

ОСНОВЫ СИСТЕМЫ КАМАК

§ 2.1. СТАНДАРТЫ СИСТЕМЫ КАМАК

Стандарты любой электронной модульной системы определяют основные положения, которыми следует руководствоваться при разработке, производстве и применении отдельных компонентов системы и всей системы в целом.

Основные принципы системы КАМАК изложены в трех стандартах — механическом, электрическом и логическом, которые впервые были представлены в соответствующих публикациях Комитета ESONE, а затем и в отечественной литературе. Некоторые положения стандартов уточнялись и дополнялись по мере накопления опыта эксплуатации системы КАМАК в научных лабораториях.

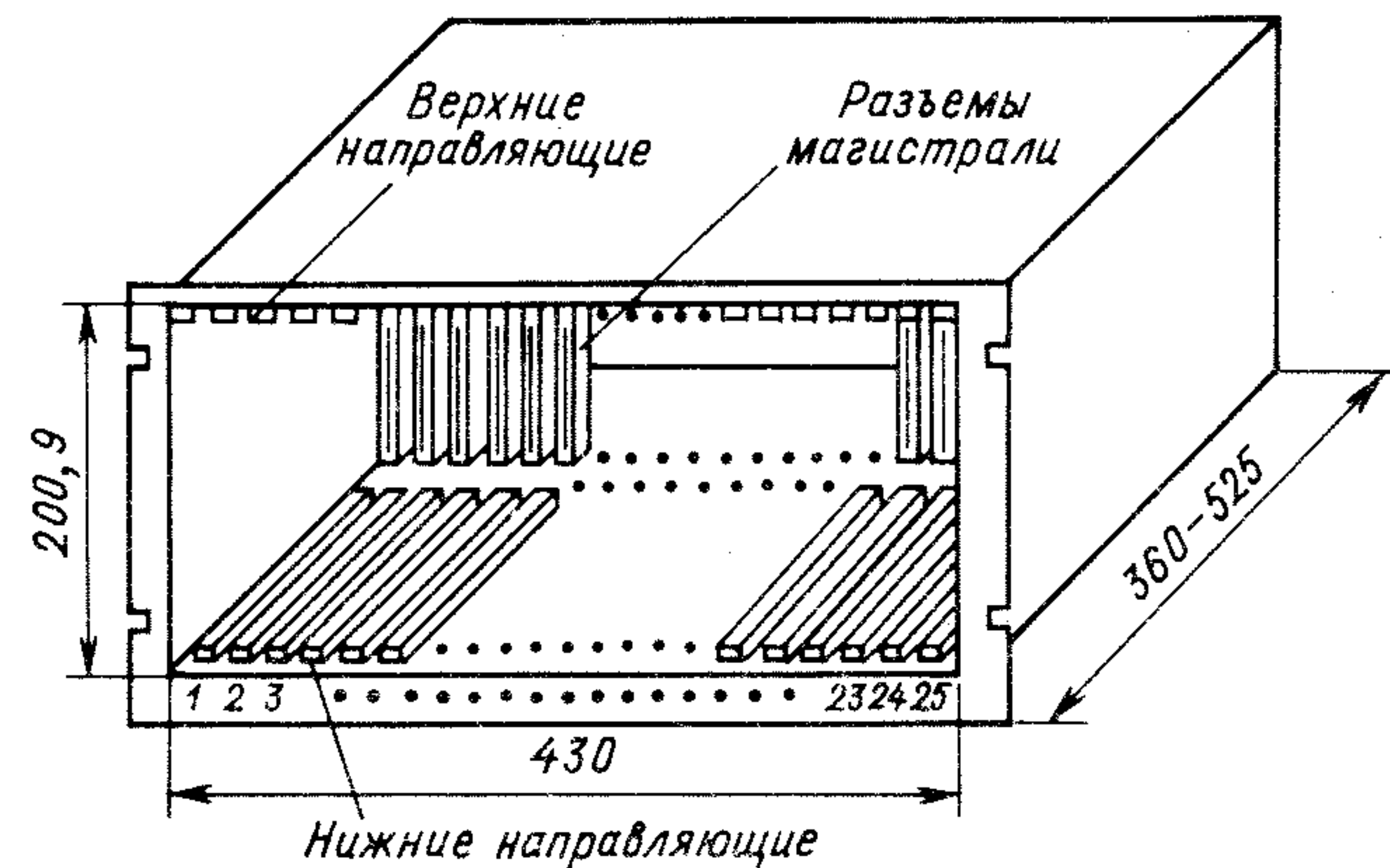


Рис. 2.1. Крейт КАМАК

Механический стандарт КАМАК

Стандарт определяет размеры основных конструктивных элементов системы — крейта, модуля и других — с целью их механической совместимости. Одним из основных конструктивных элементов системы КАМАК является крейт (рис. 2.1). Конструкция крейта стандартом строго не определена. Заданы лишь основные внутренние размеры его окна: ширина 430, высота 200,9 и глубина 360 мм. Крейт содержит по 25 верхних и нижних направляющих, по которым в него вдвигаются функциональные модули. Направляющие расположены с шагом 17,2 мм. Обязательной принадлежностью крейта являются 86-контактные разъемы. Пара направляющих и разъем образуют *Станцию крейта*, т. е. место установки функционального модуля. Все станции крейта пронумерованы слева направо от 1 до 25. Снизу, возле каждой станции, имеется отверстие с резьбой (на рисунке не показано) для домкратного винта функционального модуля, с помощью которого часть разъема, расположенная на модуле, плавно вдвигается в магистральный разъем крейта, а весь модуль фиксируется на соответствующей станции.

Основой механической конструкции функционального модуля является пара направляющих, которые скреплены передней и задней панелями (рис. 2.2). Передняя панель служит для размещения установочных изделий — разъемов, переключателей и пр. Их размещение допускается и на задней панели, выше основного магистрального разъема. Внизу, на передней панели модуля укреплен домкратный винт. Минимальная ширина передней панели модуля равна расстоянию между соседними станциями и составляет 17,2 мм. Функциональные модули могут иметь большую ширину, которая всегда кратна 17,2 мм. Модули одиночной ширины (17,2 мм) называют модулями типа 1М, двойной ширины (34,4 мм) — 2М, тройной (51,6 мм) — 3М и т. д. Модули, начиная с 2М, содержат

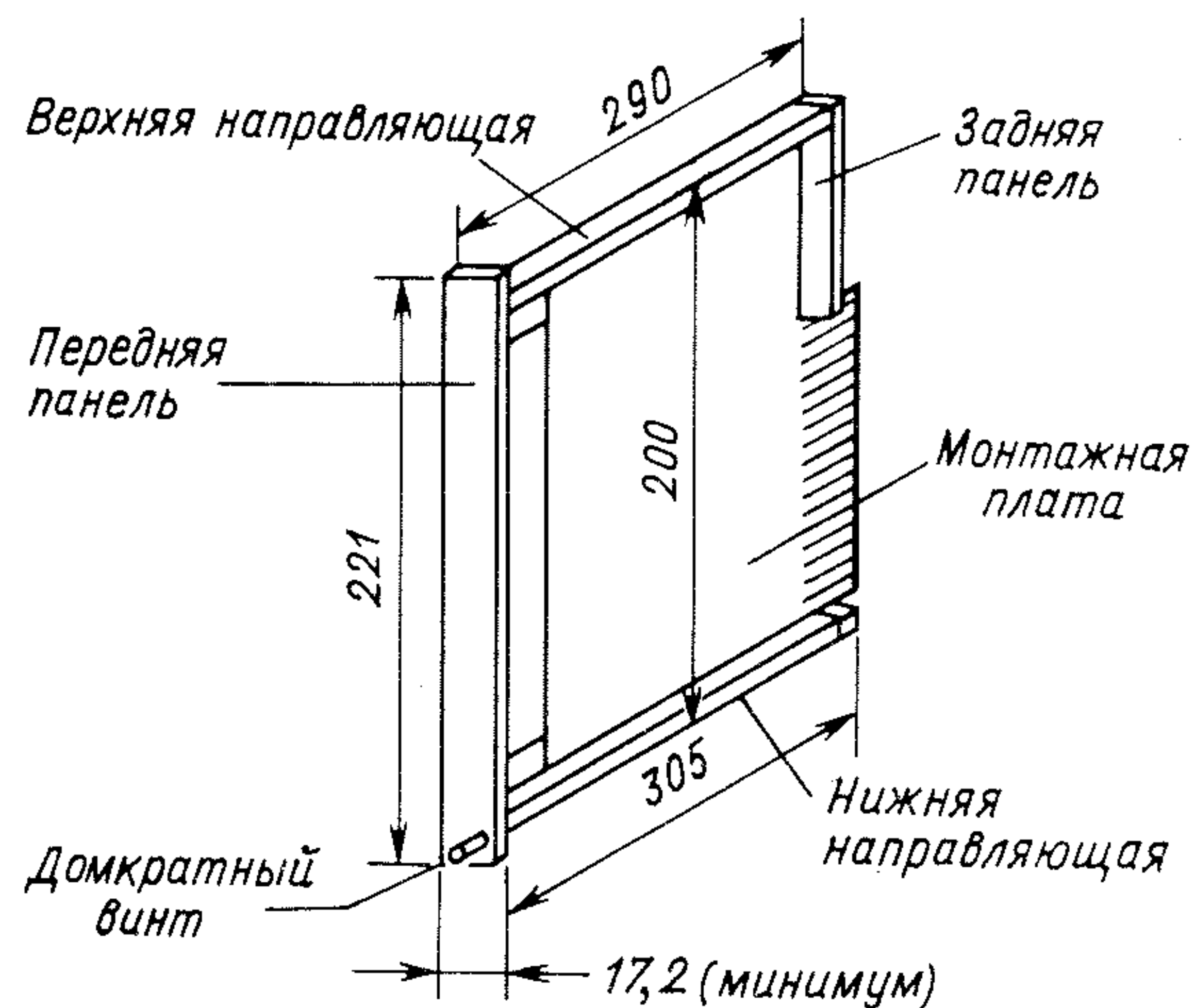


Рис. 2.2. Модуль КАМАК

более одной пары направляющих, на которых обычно установлены несколько монтажных плат.

Монтажные платы изготавливают из двустороннего фольгированного стеклотекстолита, толщина которого по стандарту должна быть равна 1,6 мм. На практике в основном используют монтажные платы двух видов — для монтажа электрической схемы функционального модуля и универсальные. Последние содержат контактные площадки для установки микросхем и необходимые шины питания. Универсальные монтажные платы широко применяют при макетировании отдельных узлов в процессе разработки функциональных модулей. Кроме того, при организации измерительных систем для конкретных экспериментов часто возникает потребность в специализированных электронных узлах, которые довольно быстро можно изготовить, используя универсальные монтажные платы.

К конструктивам системы КАМАК можно отнести вентиляционные панели для обеспечения необходимого теплового режима работы электронных схем, а также стойки для компактного размещения нескольких крейтов единой измерительной системы.

Электрический стандарт КАМАК

Этот стандарт определяет все электрические величины в системе КАМАК. Стандартом предусматривается использование определенных значений напряжений источников питания крейта, максимальных токовых нагрузок на шинах питания в крейте и через контакты его разъемов, максимальных мощностей, рассеиваемых в крейте и в модуле, уровней входных и выходных сигналов на внешних разъемах функциональных модулей, уровней и определенных временных характеристик всех сигналов на магистрали крейта.

В качестве обязательных значений напряжений питания в системе КАМАК приняты:

± 6 В — для питания микросхем ($+6$ В — для питания микросхем с транзисторно-транзисторной логикой ТТЛ; -6 В — для микросхем с эмиттерно-связанной логикой ЭСЛ). Непосредственно для питания микросхем используются значения напряжения ± 5 В. Оставшееся напряжение 1 В гасится на развязывающих цепочках в модулях, которые используются для уменьшения взаимного влияния наводок между модулями через шину питания;

± 24 В — для питания транзисторов и микросхем, требующих повышенного питания.

Кроме обязательных номиналов питания допускается использование дополнительных напряжений питания, для которых на магистрали крейта предусмотрены соответствующие шины. К дополнительным номиналам относятся:

± 12 В — для питания транзисторов. Эти номиналы являются основными напряжениями в широко распространенной в научных лабораториях Западной Европы и США электронной модульной системе NIM (от английского Nuclear Instruments Modules), модули которой при использовании соответствующего адаптера могут работать в крейте КАМАК. Поскольку большинство промышленных источников питания крейта не вырабатывает напряжений ± 12 В, его обычно получают с помощью специального функционального модуля — конвертера напряжений. Этот модуль, установленный на любой станции крейта, питается от шин магистрали ± 24 В и вырабатывает ± 12 В на соответствующие шины питания магистрали;

$+200$ В — для питания индикаторов на газоразрядных лампах; с появлением цифровых индикаторов на светодиодах и жидких кристаллах номинал $+200$ В в настоящее время практически не используется;

~ 117 В (стандартное напряжение для промышленной сети многих стран Западной Европы) — для питания приводов двигателей и других устройств через соответствующие функциональные модули, установленные в крейте. Напряжение ~ 117 В необходимо брать от изолированного трансформатора в источнике питания крейта.

На магистрали крейта, кроме шин для обязательных и дополнительных напряжений питания, предусмотрена шина «нуля», т. е. для обратного пути тока, и шина «чистой земли», изолированная от корпуса крейта.

Источник питания крейта размещается и крепится сзади крейта. Распространены два вида источников питания, которые выполняются либо в виде отдельного законченного прибора, либо на основе модульного принципа. В первом случае источник выполняется как законченное устройство, которое вырабатывает необходимые номиналы питающих напряжений: ± 6 В, ± 24 В.

Во втором случае имеется возможность компоновать из отдельных модулей источник питания с различным сочетанием питающих

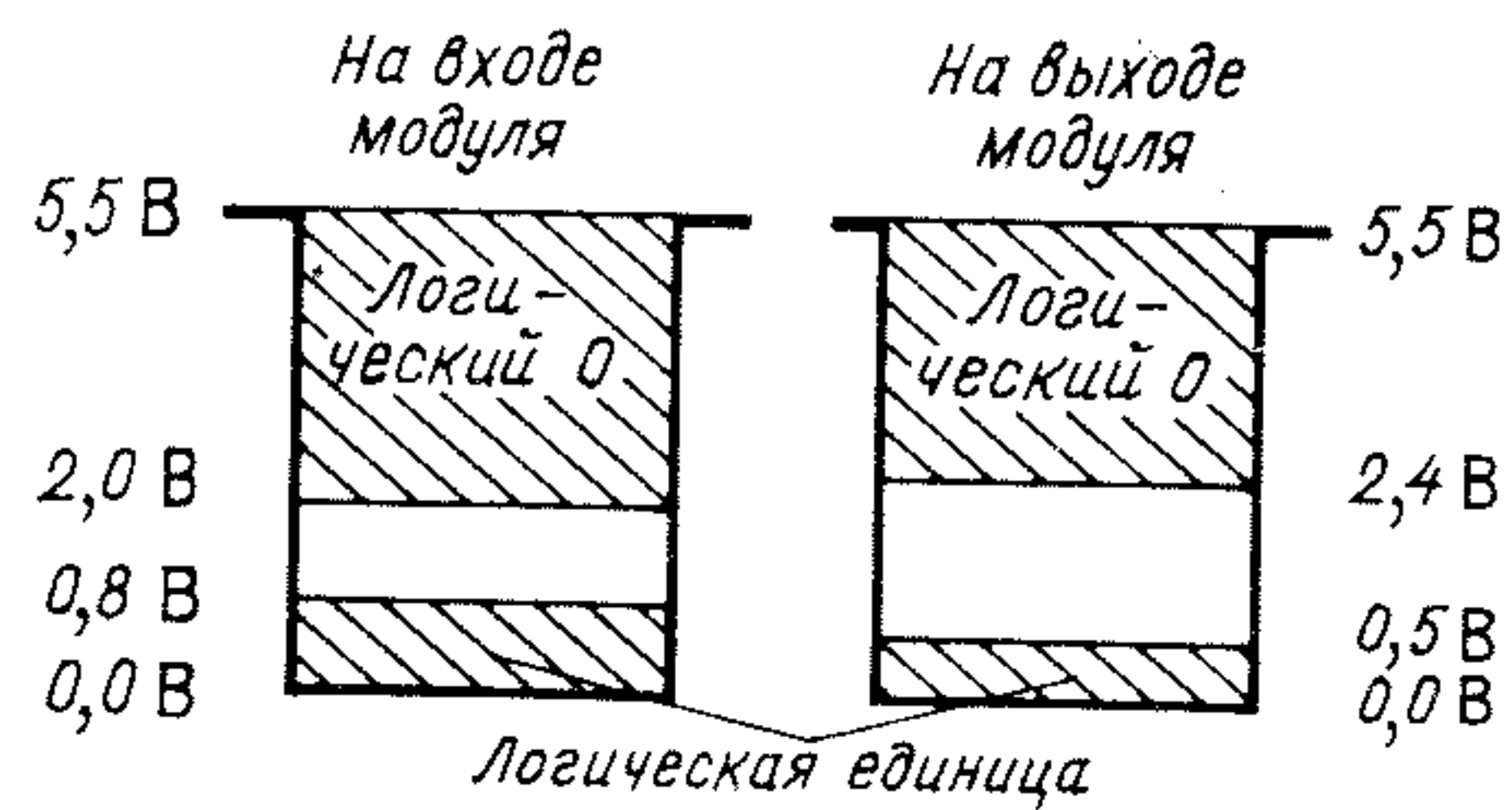


Рис. 2.3. Уровни логического 0 и 1 для несогласованных линий передачи

напряжений в зависимости от состава используемых в эксперименте функциональных модулей.

При совместной работе различных функциональных модулей КАМАК в измерительной системе непосредственный обмен информацией между ними, т. е. без участия ЭВМ, происходит по кабелям связи через разъемы, установленные на передней и задней панелях модулей. По этим же каналам модули обмениваются сигналами с внешним (по отношению к крейту) оборудованием экспериментальной установки: детекторами ядерных излучений, дисплеями, устройствами внешней памяти и пр. Для обеспечения совместности функциональных модулей по внешним сигналам в системе КАМАК стандартизованы уровни входных сигналов, принимаемых модулями по кабельным связям, а также выходных сигналов, передаваемых по кабельным связям в другие модули. Стандартизация касается как логических (цифровых), так и аналоговых сигналов. Оба вида сигналов в зависимости от их времени нарастания и длительности передаются либо по несогласованным, либо по согласованным линиям связи.

Уровни сигналов логических 1 и 0, передаваемых по несогласованным линиям связи, соответствуют уровням микросхем с транзисторно-транзисторной логикой (ТТЛ). Эти микросхемы являются основной элементной базой для системы КАМАК.

В системе КАМАК в большинстве случаев для передачи цифровых сигналов используется отрицательная логика, т. е. уровню логической 1 соответствует низкий, а уровню логического 0 высокий потенциал. На рис. 2.3 показаны сигналы на входе и выходе модуля для несогласованных линий связи с указанием области изменения уровней логического 0 и логической 1.

В экспериментальной ядерной физике широко применяется методика временных изменений в наносекундном временном интервале. Для этой цели разработаны соответствующие функциональные модули с использованием микросхем с эмиттерно-связанной логикой (ЭСЛ). Из-за специфики работы микросхем ЭСЛ перепад потенциала между состоянием логических 0 и 1 невелик — всего 0,7—0,8 В. При передаче таких сигналов между функциональными модулями по обычным линиям связи паразитные индуктивности и емкости соединительных проводов вызывают существенные искажения импульсов. По этой причине такие сигналы передаются по согласованным линиям связи с распределенными параметрами. В системе КАМАК принято, что передача наносекундных сигналов

должна осуществляться по согласованным линиям связи с волновым сопротивлением всех составляющих ее компонентов — кабелей и разъемов, равным 50 Ом. Изменение уровней логических сигналов на входах и выходах модулей принято выражать в этом случае в единицах тока, а не напряжения.

Для обработки аналоговых сигналов в системе КАМАК имеется большой набор функциональных модулей, таких, как амплитудно-цифровые преобразователи, усилители сигналов, дискриминаторы, линейные ворота и др. Обмен аналоговыми сигналами как между модулями, так и с внешними устройствами может происходить по несогласованным и по согласованным линиям связи.

Условия передачи сигналов существенно зависят от их времени нарастания τ . При $\tau \geq 0,1$ мкс сигналы могут быть переданы как по несогласованным, так и по согласованным линиям связи; при $\tau \leq 0,1$ мкс сигналы следует передавать только по согласованным линиям связи. Здесь, так же как и при передаче логических сигналов, используются согласованные линии с волновым сопротивлением 50 Ом.

Полярность сигналов на входах и выходах функциональных модулей должна быть положительной. Для биполярных сигналов изменение амплитуды рекомендуется в пределах от -5 до $+5$ В.

При организации измерительных систем иногда бывает необходимо включить в состав оборудования эксперимента специальные приборы или устройства, например цифровые вольтметры, различные двигатели для перемещения элементов установки и т. п., которые требуют для управления их работой других уровней электрических сигналов. Если работой этого оборудования управляют от ЭВМ через соответствующие функциональные модули КАМАК, на внешних разъемах модулей допускается использование сигналов с характеристиками, соответствующими сигналам подключаемого оборудования.

Электрический стандарт не накладывает никаких ограничений на использование уровней сигналов и способы их передачи внутри модуля между его отдельными функциональными узлами. Таким образом, разработчик вправе использовать любую элементную базу при конструировании функционального модуля и включать в его состав любые электронные компоненты.

Логический стандарт КАМАК

В логическом стандарте заключена основная идеология системы КАМАК, которая направлена на обеспечение гибкого программного взаимодействия ее функциональных модулей с различными средствами управления (ЭВМ, микропроцессорные устройства и т. п.), т. е. источниками программ, входящими в состав измерительного комплекса. При этом стандарт определяет порядок обмена информацией только между функциональными модулями и контроллером крейта. Он не регламентирует взаимодействие контроллера крейта с ЭВМ или иными источниками программ. Стандартом полностью

определены функциональное назначение сигналов на магистрали крейта, их временные характеристики и технические средства, обеспечивающие взаимодействие различных модулей и контроллеров крейта.

Взаимодействие функционального модуля с контроллером через магистраль крейта в конечном итоге сводится к трем видам операций:

пересылке определенной информации по шине данных магистрали крейта от модуля к контроллеру или в обратном направлении; управлению работой отдельных функциональных элементов внутри модулей сигналами, поступающими от контроллера;

проверке контроллером состояния отдельных функциональных элементов модуля.

При работе с внешней ЭВМ контроллер является пассивным устройством. Он лишь преобразует информацию, поступающую от вычислительной машины, в стандартные для системы КАМАК сигналы и адресует их соответствующим модулям. И, наоборот, стандартные сигналы КАМАК, поступающие по магистрали крейта от функциональных модулей, контроллер трансформирует в сигналы, стандартные для данной ЭВМ.

Сигналы, предусмотренные логическим стандартом для обмена информацией по магистрали крейта, можно разделить на четыре смысловые группы: сигналы команды КАМАК (N, A, F), сигналы состояния (X, Q, L, B), сигналы управления (Z, C, I, S1, S2), сигналы передачи данных (W, R).

Сигналы команды КАМАК (N, A, F). Сигнал N — номер или адрес станции в крейте. Поскольку реально этот сигнал используется в основном для обращения к функциональным модулям, установленным на определенных станциях крейта, сигнал N часто называют *Адресом модуля* в крейте. В соответствии со стандартом после обозначения сигнала в круглых скобках пишется десятичное обозначение номера станции. Например, запись N(5) означает обращение к функциональному модулю, установленному на 5-й станции крейта.

Для обращения к станциям крейта, на которых могут быть установлены функциональные модули, используются адреса от N(1) до N(23). Станции N(24) и N(25) обязательно занимает контроллер крейта.

От ЭВМ к контроллеру крейта сигналы N передаются в виде двоичных кодов, т. е. для передачи от ЭВМ 23 адресов станций необходимо использовать 5 двоичных разрядов. При этом в контроллер крейта от ЭВМ могут быть переданы $32(2^5)$ возможных значений адресов — с N(0) по N(31). Коды адресов N(0), N(24) — N(31) часто используются разработчиками контроллеров в составе команд обращения к отдельным функциональным узлам, расположенным непосредственно в самом контроллере крейта. Сигналы N(0), N(24) — N(31) иногда называют псевдоадресами.

Сигнал A — *Субадрес*, иначе подадрес, т. е. адрес определенной

функциональной части внутри модуля. Например, если модуль содержит несколько автономных счетчиков импульсов, то при работе с конкретным счетчиком к нему следует обращаться по субадресу, который присвоен ему разработчиком модуля.

Стандартом предусмотрена возможность использования до 16 субадресов — A(0) — A(15) — в одном функциональном модуле, хотя часто при разработке модулей используют не все субадреса, а лишь часть из них.

Сигнал F — *Операция или функция КАМАК*. Код операции, поступающий от контроллера крейта в модуль, полностью определяет действие, которое необходимо выполнить в модуле, например считать информацию из модуля на шину данных магистрали крейта или записать информацию в модуль с шины данных магистрали; очистить (установить в 0) триггеры регистра модуля; проверить состояние, в котором находится определенный функциональный элемент модуля, и т. п.

Стандартом предусмотрено использование 32 операций — F(0) — F(31). Однако к настоящему времени Комитетом ESONE строго определены значения лишь 18 операций КАМАК. Из остальных 8 операций являются свободными, т. е. могут использоваться разработчиками функциональных модулей по их усмотрению, а 6 зарезервированы для дальнейшего развития системы КАМАК. Последние 6 операций не должны использоваться разработчиками модулей до соответствующего решения Комитета.

Рассмотренные сигналы — адрес, субадрес и операция — составляют команду КАМАК. Значения кодов соответствующих сигналов команды указываются в скобках. Например, команда N(3) A(2) F(9) означает, что в регистре с субадресом A(2), принадлежащем модулю, установленному в крейте на станции N(3), необходимо установить все триггеры в состояние 0.

Сигналы состояния (X, Q, L, B). Сигнал X — *Команда принята*. Этот сигнал является обязательным ответом модуля на любую адресованную ему командную операцию NAF. Если команда модулем принята и может быть выполнена, модуль сообщает об этом контроллеру сигналом логической 1 по специальной линии X магистрали крейта. При подключении через модуль к магистрали крейта какого-либо оборудования сигнал X=1 несет информацию о возможности выполнения команды модулем совместно с подключенным к нему оборудованием. Наконец, сигнал *Команда принята* должен генерироваться контроллером при получении команд, адресованных непосредственно контроллеру крейта.

Ответ X=0 означает наличие неисправности в измерительной системе: модуль не установлен на адресуемой станции, в модуле отсутствует питание, внешнее оборудование к модулю не подключено или не включено его питание, наконец, контроллер получает от ЭВМ команду, использование которой в модуле или контроллере не предусмотрено. При получении ответа X=0 контроллер может сигнализировать о неполадках в системе генерацией специального сигнала требования прерывания для ЭВМ. Действия ЭВМ

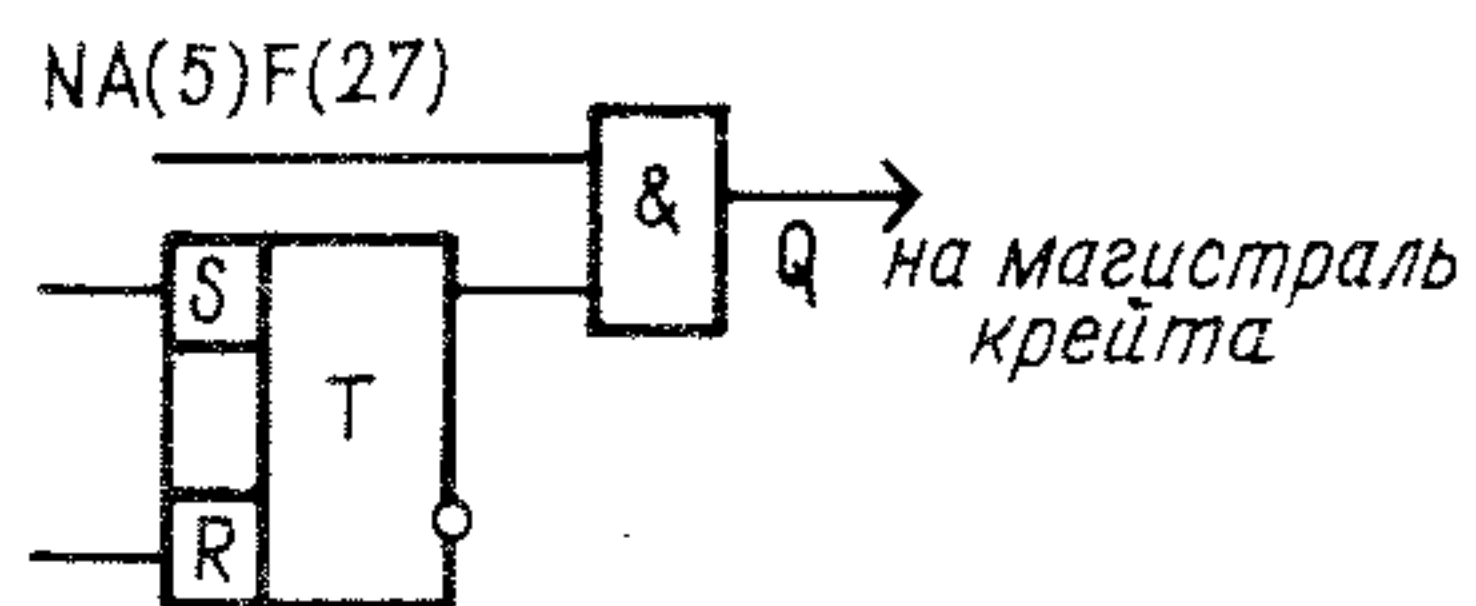


Рис. 2.4. Использование сигнала Q при операции Проверка состояния

при этом определяются алгоритмом той программы, которая написана экспериментатором для конкретного случая. Например, вычислительная машина может прекратить работу с данным модулем или контроллером и сообщить экспериментатору о неполадках выводом соответствующей информации на дисплей, печатающее устройство либо подачей звукового или светового сигнала. ЭВМ может продиагностировать ошибку и выдать результат на любое терминальное устройство.

Посылка контроллером на $X=0$ сигнала требования прерывания не обязательна. Реакция контроллера для этого случая задается экспериментатором при разработке программного обеспечения для ЭВМ.

Сигнал Q — Ответ. На любую адресуемую операцию, т. е. команду, содержащую адресные сигналы N и A, модуль может (но не обязательно) ответить сигналом $Q=1$ или $Q=0$, указывая тем самым состояние выбранного функционального узла модуля. Значение сигнала $Q=1$ или $Q=0$ должно быть четко определено для конкретной операции и субадреса в модуле. Например, при проверке состояния определенного триггера в модуле (рис. 2.4) значение сигнала $Q=1$ говорит о том, что триггер находится в состоянии логическая 1.

Сигнал Q часто используют с операциями чтения и записи в основном при групповой, или блочной, передаче данных в модуль либо из модуля. Этот случай использования сигнала Q рассмотрен ниже.

Сигнал L — Запрос обслуживания. Любой модуль, установленный в крейте, может выставить сигнал L, сообщая тем самым контроллеру о необходимости выполнения определенных действий по обслуживанию модуля. Модуль вырабатывает сигнал запроса, когда он готов к обмену информацией с контроллером крейта. Например, модуль, содержащий амплитудно-цифровой преобразователь, генерирует сигнал L по окончании преобразования амплитуды входного сигнала в цифровой код. Модуль счетчиков вырабатывает сигнал Запрос обслуживания при переполнении хотя бы одного из счетчиков модуля.

Независимо от числа одновременно требующих обслуживания функциональных узлов внутри модуля он посылает контроллеру всегда лишь один сигнал L. Порядок и приоритетность обслуживания запросов модуля определяются экспериментатором, программирующим работу своей измерительной системы.

Сигнал B — Занято. Этот сигнал вырабатывается и подается на магистраль контроллером крейта и сопровождает любые действия на магистрали, инициируемые контроллером. Значение

$B=1$ сообщает всем функциональным модулям о том, что магистраль в данный момент занята выполнением определенной операции. Сигнал Занято может использоваться разработчиками модулей для выполнения в модулях определенных действий.

Сигналы управления (Z, C, I, S1, S2). Сигнал Z — сигнал Начальная установка (иногда называемый сигналом Пуск) предназначен для установки в исходное состояние всех триггеров и регистров в функциональных модулях крейта. Сигнал Z является первым сигналом, который вырабатывается контроллером по команде от ЭВМ в начале выполнения программы. Этот сигнал обычно вырабатывается контроллером самостоятельно после включения питания крейта.

По сигналу Z все сигналы запроса в модулях сбрасываются и выходы запросов всех модулей на магистраль крейта запрещаются.

Сигнал C — Сброс. Сигнал $C=1$ используется для того, чтобы в случае необходимости устанавливать триггеры и регистры модулей в крейте в исходное состояние. Этот сигнал, так же как и сигнал Z, вырабатывается контроллером под управлением ЭВМ. Разница в действии сигналов Z и C заключается в том, что сигнал Z подается лишь один раз в начале работы, а сигнал C может использоваться многократно в процессе управления работой модуля по ходу программы. Кроме того, сигнал Z должен обязательно использоваться разработчиками модулей, а сигнал C может применяться по усмотрению разработчиков, а может вообще не заводиться в модуль, поскольку установка в определенное состояние триггеров модуля возможна специально предусмотренными для этой цели операциями F, например F(9), F(11).

Выбор технических средств, с помощью которых возможен ввод сигнала C с магистрали крейта, определяется разработчиком модуля. Например, после соответствующего контакта разъема на монтажной плате модуля (рис. 2.5,а) для этой цели можно устанавливать перемычку. Если использование сигнала C в данном модуле в конкретном применении не предусматривается, перемычку убирают. Возможно программное управление вводом сигнала C в модуль. Для этого в модуле обычно предусматривают стандартный электронный узел (рис. 2.5,б), состоящий из двухвходового логического элемента И и RS-триггера, управляющего одним из входов вентиля. Состояние триггера изменяется программно соответствующими командами с магистрали крейта, в состав которых входят, например, операции Разрешение F(26) и Запрещение F(24).

Сигнал I — Запрет. Сигнал может запрещать любые действия в модуле, запрет которых с помощью этого сигнала предусмотрен разработчиком. Например, в модуле, содержащем несколько счетчиков, сигналом I на время его действия можно запретить счет во всех счетчиках.

Сигнал Запрет может вырабатываться как контроллером крейта программно по специальной команде от ЭВМ, так и функциональ-

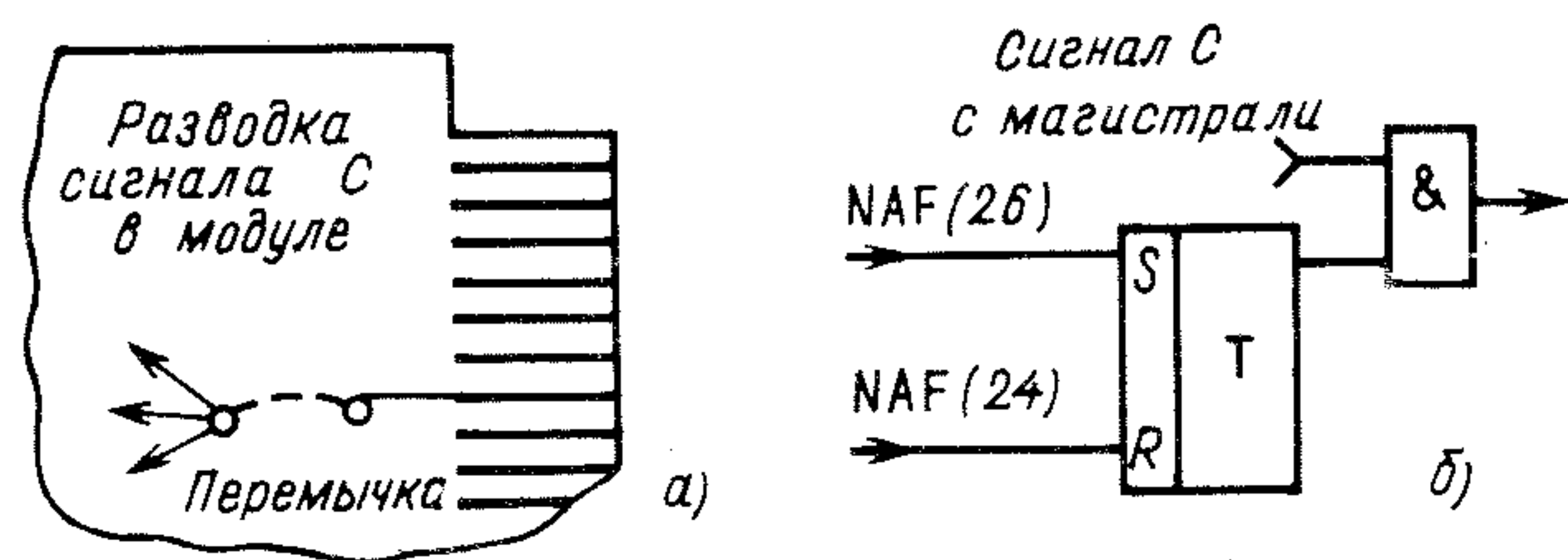


Рис. 2.5. Ввод сигнала С в модуль с магистрали крейта

ными модулями, если генерация этого сигнала в модулях предусмотрена. Кроме того, возможна генерация сигнала I от внешнего по отношению к аппаратуре КАМАК оборудования. В последнем случае сигнал подается на магистраль крейта через специальный разъем на передней панели контроллера крейта.

Сигнал *Запрет* обязательно вырабатывается контроллером при генерации на магистраль крейта сигнала Z (*Начальная установка*).

Разрешение действия сигнала I внутри модуля, т. е. подключение модуля к соответствующей линии магистрали крейта, может осуществляться с помощью технических средств, аналогичных тем, которые были рассмотрены для управления вводом в модуль сигнала С (рис. 2.5).

Сигналы S1, S2 — *Строб S1* и *Строб S2*. Эти сигналы предназначены для стробирования, т. е. выполнения определенных действий в функциональных модулях или контроллере крейта в моменты времени, соответствующие появлению этих сигналов. Например, занесение информации с шины записи в модуль или с шины чтения в контроллер осуществляется в момент появления сигнала S1. Действия контроллера, связанные с приемом информации с линией Q и X магистрали крейта, также начинаются с появлением стробирующего сигнала S1. В общем случае по сигналу S1 в модулях или контроллере выполняются любые действия, не изменяющие состояния сигналов на информационных шинах, т. е. шинах записи и чтения магистрали крейта.

Любые действия в модулях или контроллере крейта, которые могут изменять состояние сигналов шины данных магистрали крейта, должны инициироваться стробирующим сигналом S2. Например, сигнал S2 используют при необходимости осуществить в модуле сброс регистра, выход которого соединен с магистралью крейта.

К управляющим сигналам также может быть отнесен сигнал H — *Задержка HOLD*. Этот сигнал нестандартный. Он предложен пользователями позже, с учетом накопленного опыта эксплуатации системы КАМАК. Сигнал H применяется для синхронизации обмена данными между контроллером крейта и медленно работающим оборудованием, подключенным к магистрали крейта через специальный интерфейсный модуль. Сигнал обычно используется при передаче массивов информации. В случае, если внешнее устройство не готово к приему или передаче данных, модуль-

интерфейс вырабатывает (под управлением внешнего устройства) сигнал H, который задерживает генерацию в контроллере крейта стробирующих сигналов S1 и S2 до момента готовности внешнего оборудования к обмену информацией. Сигнал H также продлевает действие других сигналов, уже существующих на магистрали крейта.

Сигналы передачи данных (W, R). Информация, передаваемая по магистрали крейта с помощью сигналов *Запись W* и *Чтение R*, может представлять собой как экспериментальные данные, получаемые в ходе измерений, так и некоторую информацию служебного характера. Например, модуль по линиям R может передать контроллеру информацию о состоянии отдельных функциональных узлов самого модуля или связанного с ним оборудования. По линиям W контроллер может пересылать в модуль информацию, которая предназначена для управления работой модуля или внешнего оборудования.

В системе КАМАК предусмотрена возможность обмена данными по линиям R, W словами, содержащими до 24 двоичных разрядов.

§ 2.2. МАГИСТРАЛЬ КРЕЙТА

Обмен информацией между контроллером крейта и функциональными модулями происходит по магистрали крейта. Прежде чем подробно рассмотреть организацию магистрали крейта, необходимо уточнить значение понятий линия, шина, магистраль.

Линией связи считается отдельное соединение (проводник) между какими-либо контактами или группой контактов, по которому циркулируют определенные сигналы. *Шиной* обычно называют группу линий связи, предназначенных для передачи логически объединенных сигналов. Так, различают шину адреса, шину данных, шину управляющих сигналов. *Магистраль* — это канал связи, объединяющий все виды шин, используемых в конкретном устройстве для передачи информации между отдельными его узлами.

Магистраль крейта является неотъемлемой принадлежностью крейта и представляет собой пассивный многопроводной канал связи, отдельные линии (проводники) которого определенным способом соединяют контакты магистральных разъемов отдельных станций.

Контакты первых 24 разъемов магистрали соединены линиями связи строго однозначно (рис. 2.6). Станции крейта, соответствующие этим разъемам, называют нормальными станциями. Соединения на 25-м разъеме отличаются от остальных. Станцию крейта, соответствующую 25-му разъему, называют управляющей. Назначение отдельных контактов разъемов нормальных и управляющей станций приведено в приложении в табл. П1.

По типу соединений линии связи магистрали крейта можно разделить на два вида:

индивидуальные линии, которые соединяют определенный

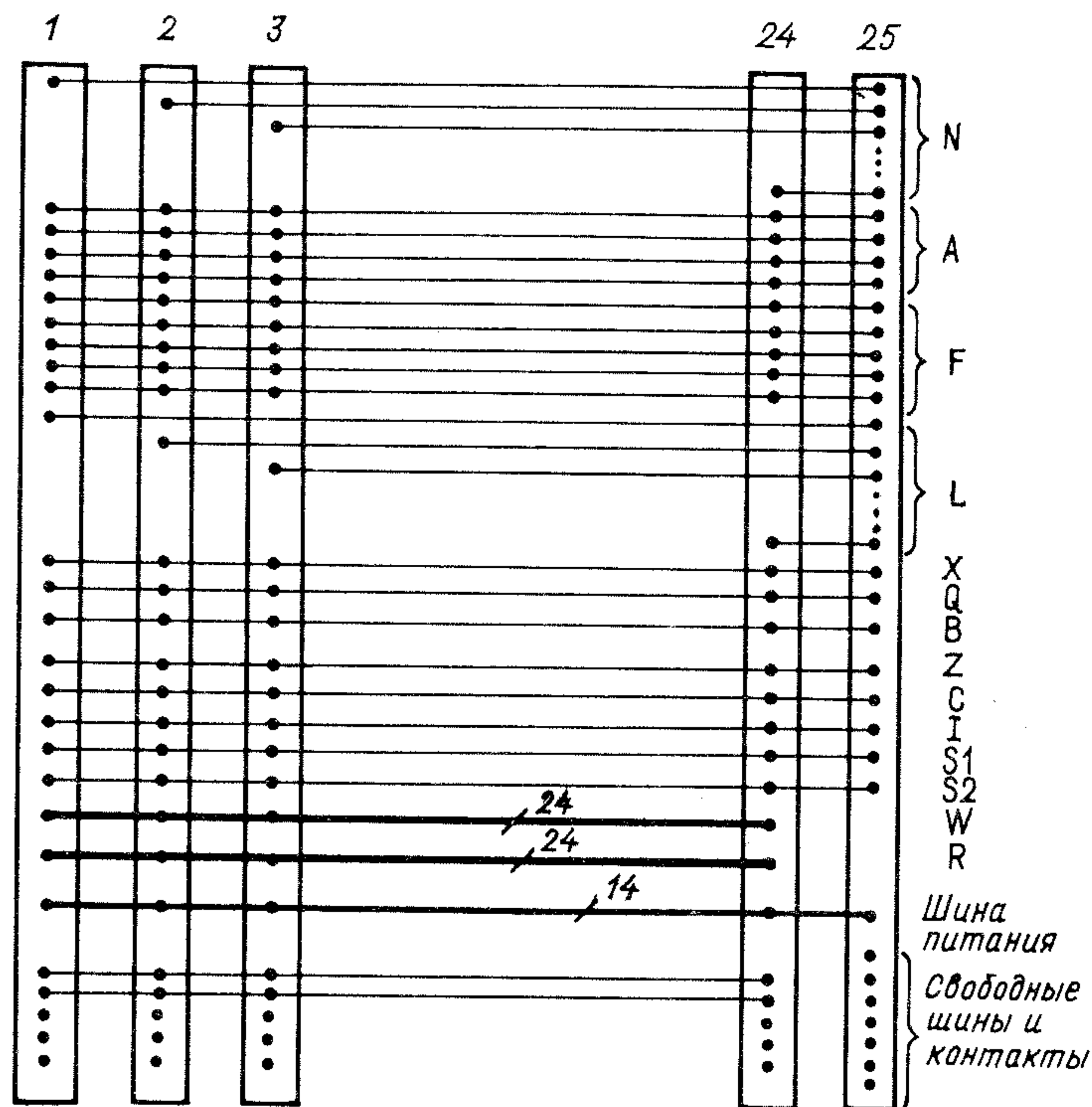


Рис. 2.6. Магистраль крейта

контакт одной из нормальных станций с определенным контактом управляющей станции, т. е. два контакта различных разъемов;

сквозные линии, соединяющие одноименные контакты всех 25 разъемов станций крейта (за исключением линий R и W, которые на 25-ю станцию не заводятся).

Шины магистралей крейта

По функциональному назначению все линии связи магистралей крейта можно разделить между семью шинами.

Шина адреса. Адресная шина состоит из 24 индивидуальных линий номера станции N и 4 сквозных линий субадреса A. Двоичные коды адресов станций, поступающие из ЭВМ в контроллер, декодируются в контроллере, и сигналы адреса по линиям связи N передаются к соответствующим станциям. Такой способ адресации модулей называют *географической адресацией*, поскольку адрес конкретного функционального модуля определяется его расположением на той или иной станции в крейте.

Все линии связи N от нормальных станций собраны на 24 контактах управляющей станции крейта. Хотя адресация 24-й станции на первый взгляд и лишена смысла, поскольку она обязательно

занята самим контроллером крейта, иногда при выполнении контроллера в виде двух одиночных модулей адрес N (24) используют для обращения к части контроллера, установленной на 24-й станции.

Четыре сквозных линии A служат для передачи по магистрали крейта двоичных кодов субадресов функциональных элементов модулей. Хотя сигналы кодов субадресов воздействуют через магистральные разъемы на все установленные в крейте модули, коды воспринимаются лишь адресуемым модулем, т. е. модулем, к которому одновременно по соответствующей линии связи поступает адресный сигнал N.

Сигналы кодов субадресов формируются контроллером по электрическим и временным параметрам и передаются на линии A магистрали крейта. Дешифрация кодов субадресов происходит непосредственно в адресуемом модуле. Линии связи субадресов обозначают A1, A2, A4, A8, где цифры означают «вес» каждой линии при наличии на ней сигнала логической 1. Не следует путать обозначения линий субадресов с обозначениями самих субадресов, значения которых указываются в скобках — A(0), A(1), A(2), A(3), A(4), ..., A(15).

Шина операций. Шина операций содержит пять сквозных линий связи, по которым от контроллера передаются коды операций F. Сигналы кодов операций, принимаемые контроллером из ЭВМ, формируются контроллером и пересылаются им на шину F магистрали крейта. Коды операций F, так же как и коды субадресов, воспринимаются с магистрали лишь адресуемым модулем. Дешифрация двоичных кодов F осуществляется непосредственно в модуле.

Обозначение отдельных линий операций сходно по форме с обозначением шин субадресов — F1, F2, F4, F8, F16. Здесь цифры также обозначают вес каждой линии. Например, состояние линий F1=0, F2=1, F4=0, F8=1, F16=1 указывает на передачу по шине кода операции F (26).

Шина состояния. Линии связи данной шины предназначены для передачи сигналов, несущих информацию о состоянии функциональных модулей или контроллера.

По 24 индивидуальным линиям L на управляющую станцию поступает информация о состоянии сигналов запросов модулей, установленных на станциях крейта.

Сквозные линии связи X, Q, V предназначены для передачи соответствующих сигналов, несущих информацию о состоянии модулей или контроллера.

Шина управления. По сквозным линиям связи Z, C, I, S1, S2 магистрали передаются сигналы управления, с помощью которых в модулях выполняются действия, определяемые соответствующими сигналами.

Шина данных. На магистрали крейта предусмотрены отдельные группы сквозных линий связи для сигналов записи W и сигналов чтения R. Поскольку стандартом КАМАК допускается пе-

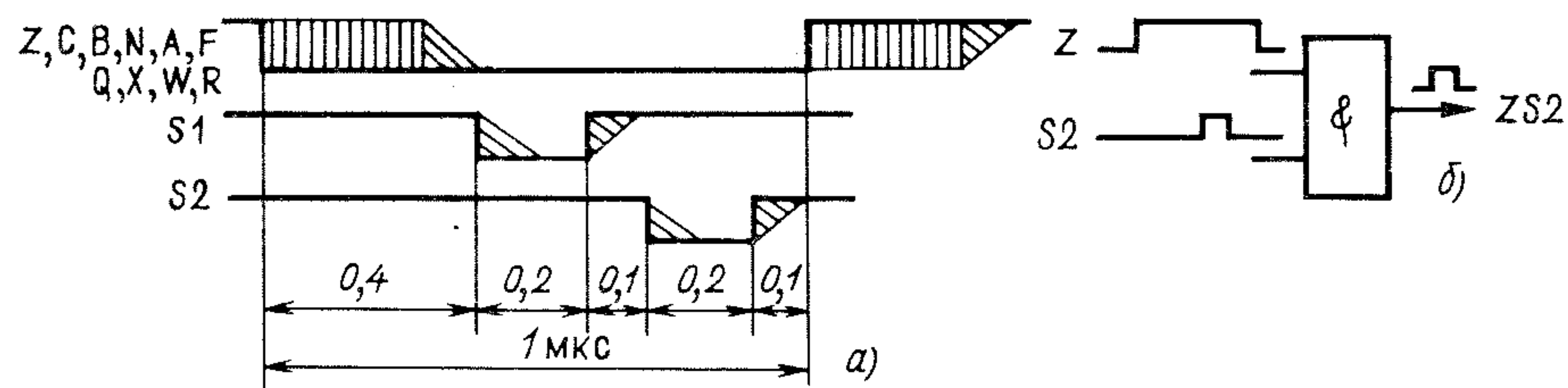


Рис. 2.7 Сигналы на магистрали крейта

редача слов данных, содержащих до 24 двоичных разрядов, каждая группа линий W, R содержит по 24 сквозных соединения. Особенностью шины данных является то, что ее линии соединяют только контакты разъемов нормальных станций крейта. К разъемам управляющей станции эти линии не подведены.

Шина питания. Для обеспечения нормальной работы всех электронных узлов в функциональных модулях и контроллере на магистрали крейта предусмотрены 14 сквозных линий питания, каждую из которых также принято называть шиной. Назначение 12 шин питания строго определено электрическим стандартом, а две из них (V1 и V2, см. табл. П1) являются резервными для последующего развития системы КАМАК.

Свободные шины и контакты. На разъемах магистрали крейта кроме контактов, которые задействованы соответствующими линиями связи, имеются свободные контакты. На разъемах нормальных станций это контакты P1—P5 (см. табл. П1), а на управляющей станции — P1—P7.

Все контакты P1 разъемов нормальных станций, так же как и контакты P2, должны быть соединены сквозными линиями связи, которые тоже часто называют шинами. Таким образом, на магистрали крейта имеются две сквозные шины, назначение которых стандартом не определено. Они предназначены для свободного использования. Так, шину P2 часто используют при работе с сигналами *Задержка Н*.

Контакты P3—P5 нормальных станций и P1—P7 управляющей станции предназначены для свободного использования путем индивидуальных соединений с различными точками измерительной системы. Дополнительные соединения не должны выполнять существенных функций в модулях общего назначения.

Характеристики сигналов магистрали крейта

При обмене информацией между контроллером и функциональными модулями по линиям связи магистрали крейта передаются различные сигналы (рис. 2.7,а). Все сигналы условно можно разделить на две группы: сигналы, подготавливающие выполнение определенных действий, и сигналы исполнения, с поступлением которых эти действия выполняются. К исполнительным сигналам относятся оба стробирующих сигнала S1 и S2. Все остальные сигналы —

подготавливающие. Взаимодействие всех сигналов внутри модуля реализуется с помощью логических элементов И (рис. 2.7,б).

В системе КАМАК на магистрали крейта принят синхронный цикл обмена информацией, при котором временные характеристики сигналов (длительность и временные задержки между ними) строго определены и постоянны. Несмотря на то что циркулирующие по магистрали сигналы могут вырабатываться как функциональными модулями, так и контроллером, все их временные характеристики определяются контроллером крейта, поскольку действия функциональных модулей, связанные с обменом по магистрали, всегда осуществляются под управлением сигналов контроллера. Исключения составляют лишь сигналы L и I, временные характеристики которых могут отличаться от остальных сигналов.

На рис. 2.7,а приведены основные характеристики временного цикла КАМАК для большинства операций магистрали. Сигналы, определяющие характер действий, имеют длительность 1 мкс. Исполнительные (стробирующие) сигналы S1 и S2 каждый длительностью по 0,2 мкс задержаны относительно начала временного цикла. Необходимость задержки стробирующих сигналов вызвана тем обстоятельством, что к моменту их появления сигналы на остальных линиях связи магистрали должны достигнуть установившегося значения, т. е. уровня логической 1. Ввиду того что каждая линия магистрали имеет распределенные емкость и индуктивность, в момент изменения сигналов на линиях возникают переходные процессы. На рис. 2.7,а области, в которых могут существовать переходные процессы, условно показаны наклонной штриховкой. Стандартом предусмотрено, что переходные процессы на любой из линий должны заканчиваться за время, не превышающее 0,1 мкс. Кроме того, появление на магистрали некоторых сигналов, вырабатываемых модулями или контроллером, может быть задержано относительно начала цикла из-за прохождения их через логические вентили электронных узлов в модулях и контроллере. По стандарту задержка, обусловленная этой причиной, не должна превышать 0,3 мкс. Область задержек показана на рис. 2.7,а вертикальной штриховкой.

Различают два вида операций на магистрали крейта — командные (адресуемые) и безадресные. (Здесь понятие «вид операции на магистрали» означает просто два вида различных действий на магистрали крейта. Не следует путать с операцией или функцией F.)

Во время *командной операции* все сигналы, которые контроллер крейта выставляет на линии магистрали, адресованы определенному функциональному элементу, находящемуся в конкретном модуле. Отличительной особенностью командной операции является то, что по линиям адресов N и субадресов A всегда передаются соответствующие сигналы.

Безадресными операциями на магистрали называются действия, осуществляемые управляющими сигналами Z, C, I. Операции, выполняемые этими сигналами, не адресованы конкретным модулям.

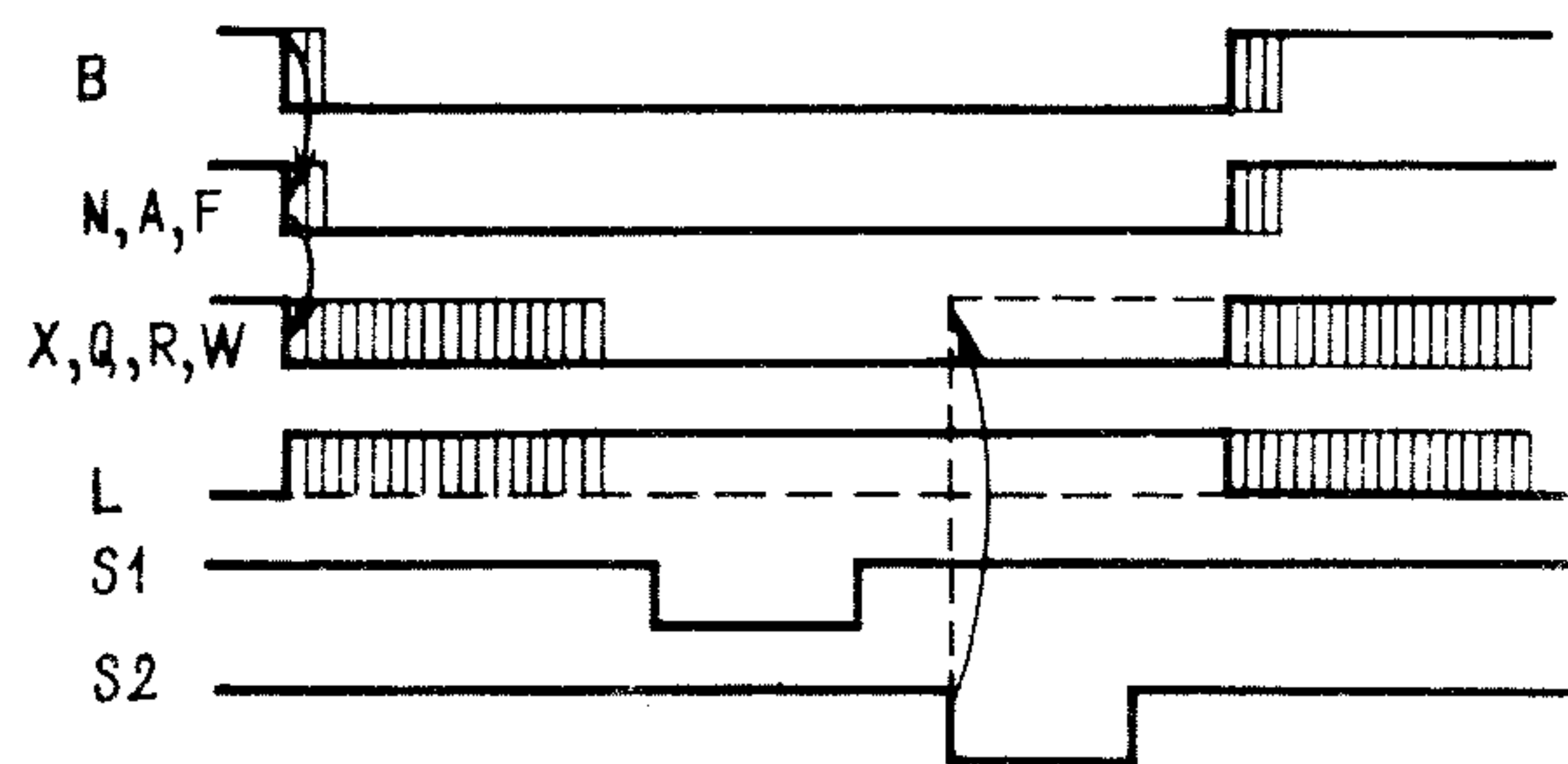


Рис. 2.8. Временные диаграммы сигналов командной операции

Они выполняются одновременно во всех модулях, которые подключены к соответствующим линиям магистрали.

На рис. 2.8 приведены сигналы на линиях магистрали крейта во время командных операций. Области переходных процессов на рисунке не показаны. Штрихованные области соответствуют возможным задержкам сигналов относительно начала очередного цикла на магистрали. Для сигналов В, N, А, F эта задержка не должна превышать 50 нс. Сигналы данных (R, W) и состояния (Q, X, I) могут быть задержаны относительно начала цикла на время не более 300 нс.

Сигнал занятости контроллера В сопровождает любую командную и безадресную операции на магистрали крейта.

При любой командной операции обязательны сигналы команды N, А, F и сигнал *Команда принята* X. Логическая связь между сигналами командной операции, т. е. последовательность их появления на магистрали, показана на рис. 2.8 стрелками. Первым по времени вырабатывается сигнал В. Затем в пределах допустимой задержки контроллером вырабатываются сигналы на линии N, А, F. Модуль после получения сигналов команды, если он принял команду и дешифровал ее, выставляет сигнал ответа на линию X. Задержка сигнала X относительно начала временного цикла не должна превышать 300 нс. Контроллер анализирует состояние сигнала X в момент появления стробирующего сигнала S1, причем значение сигнала X должно сохраняться неизменным по крайней мере до строба S2.

Действия в модуле, обусловленные операцией F, должны начинаться в момент стробирующего сигнала S1 или S2. Использование того или иного строб-сигнала зависит от типа операции F. Если в результате операции состояние линий данных не изменяется, используется сигнал S1. По сигналу S2 исполняются операции, изменяющие состояние линий R, W.

На линиях данных R, W сигналы могут появляться в пределах задержки 300 нс. Действия модулей, связанные с приемом информации с линий записи W, и действия контроллера, принимающего данные с линий чтения R, должны осуществляться в момент появления строб-сигнала S1. По строб-сигналу S2 информация на линиях W, R может быть изменена, так как по S2 разрешается

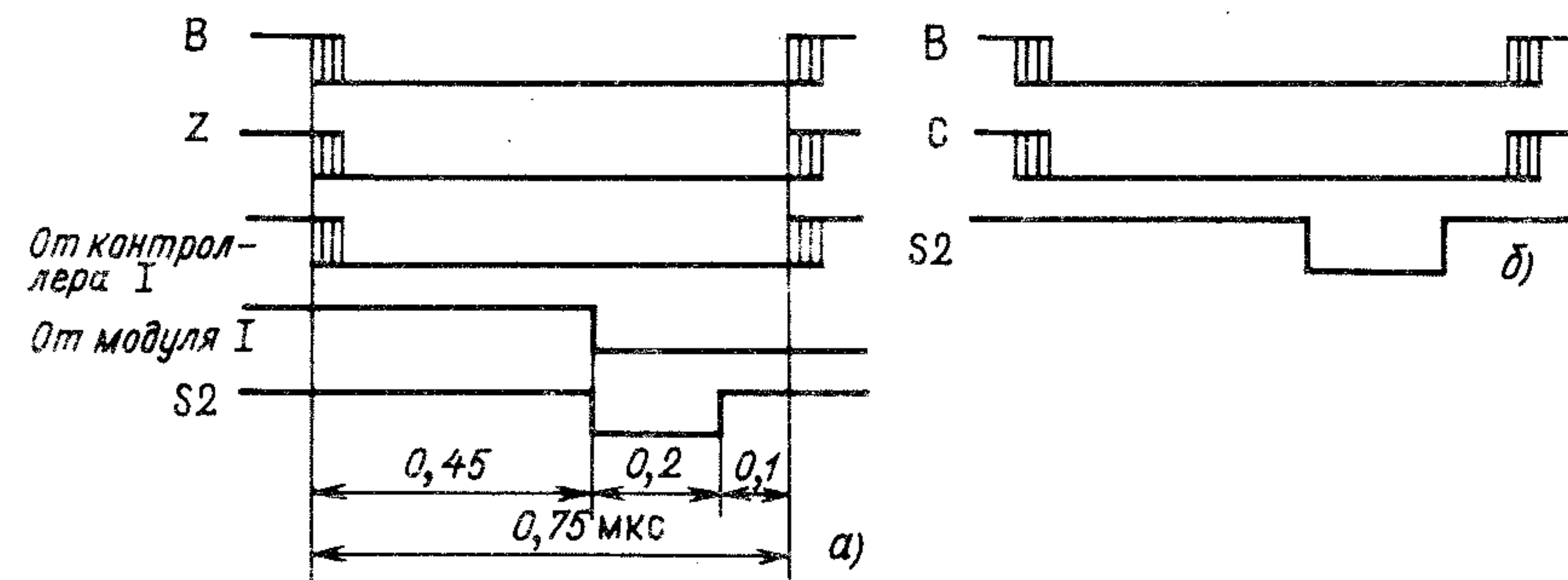


Рис. 2.9. Временные диаграммы сигналов безадресных операций

сброс регистров в модулях или контроллере, связанных с линиями данных магистрали. Сигнал Q вырабатывается адресуемым модулем и должен восприниматься контроллером по S1.

Сигналы запроса на линиях L магистрали могут возникать в произвольные моменты времени, так как запрос может быть результатом завершения действий в модуле, не связанных с циклом на магистрали: в модуле АЦП закончилось преобразование амплитуды в код, в модуле счетчиков произошло переполнение одного из счетчиков и т. п.

Модуль, выставивший на магистраль сигнал $L=1$, должен снять этот сигнал с магистрали, если он принимает от контроллера команду, предписывающую прекратить генерацию сигнала L. В этом случае запрет L-сигнала в модуле должен произойти до появления сигнала S1. Запрет L-запроса по стандарту должен действовать до конца текущей операции.

Несмотря на то что сигнал L может снова возникнуть внутри модуля во время текущей операции, модуль не должен выставлять его на магистраль до конца операции.

Технически возможны различные способы реализации запрета L-сигнала в модуле на время действия команды, адресованной модулю. Наиболее простым и часто используемым при разработке модулей способом является запрет выхода L-сигнала на магистраль при адресации модуля любой командой, т. е. выполнение условия $L=0$ при $N=1$.

На рис. 2.8 для сигнала L сплошной линией показан случай, когда модуль, выставивший сигнал $L=1$ до начала цикла, запрещает выход этого сигнала в ответ на адресованную ему команду, которая, однако, не сбрасывает источник запроса в модуле. По окончании операции L-запрос вновь появляется на магистрали крейта.

К безадресным операциям на магистрали крейта относятся действия, осуществляемые сигналами управления — *Начальная установка Z, Сброс C, Запрет I*. Временные характеристики соответствующих сигналов приведены на рис. 2.9, а, б. Безадресные операции Z и C обязательно сопровождаются сигналом *Занято В*. Выполне-

ние всех действий в модуле и контроллере, определяемых сигналами Z и C, должно начинаться в момент появления сигнала S2. Сигнал S1 также может вырабатываться при безадресных операциях, но он в этом виде операций модулями и контроллером не используется.

Сигнал Z обязательно сопровождается сигналом I (рис. 2.9,а), который должен сохраняться на соответствующей линии в течение времени действия сигнала Z.

Как известно, логическим стандартом предусмотрена возможность генерации сигнала I помимо контроллера крейта также функциональными модулями. Модули, способные генерировать сигнал I, должны реагировать на совместное действие сигналов Z и S2 выработкой сигнала I. При этом значение $I=1$ должно сохраняться до специального сброса его внутри соответствующего модуля.

Как видно из рис. 2.9, длительность временного цикла безадресной операции равна 750 нс, т. е. несколько короче цикла командной операции.

В процессе эксплуатации измерительной системы после действия сигнала Z сигнал *Запрет* I может генерироваться и оканчиваться в произвольные моменты времени, никак не связанные с временным циклом операций на магистрали крейта.

§ 2.3. ОПЕРАЦИИ КАМАК

Во время командной операции на магистрали крейта в триггерах и регистрах адресуемого модуля выполняются определенные действия: чтение или запись информации, установка или сброс, проверка состояния триггеров регистра и т. п. В соответствии с назначением регистры в модулях подразделяются на регистры первой и второй групп.

К регистрам первой группы относятся рабочие регистры, которые наряду с другими элементами электрической схемы модуля обеспечивают выполнение модулем основных функций. Например, к регистрам первой группы в модуле счетчиков относятся непосредственно счетные элементы, сосчитывающие входные сигналы; в модуле амплитудно-цифрового преобразователя это регистр, хранящий цифровой код после преобразования амплитуды сигнала в код; в модуле цифро-аналогового преобразователя — регистр, в который с шины данных магистрали заносится цифровой код, преобразуемый в модуле в аналоговый сигнал.

Регистры второй группы — это вспомогательные регистры, которые хранят различного рода служебную информацию о работе модуля. Триггеры таких регистров могут выполнять пассивную или активную роль в модуле. В первом случае они просто хранят информацию о состоянии отдельных функциональных узлов модуля для обеспечения программного доступа к этой информации, например, от ЭВМ. Во втором случае они могут принимать с линий

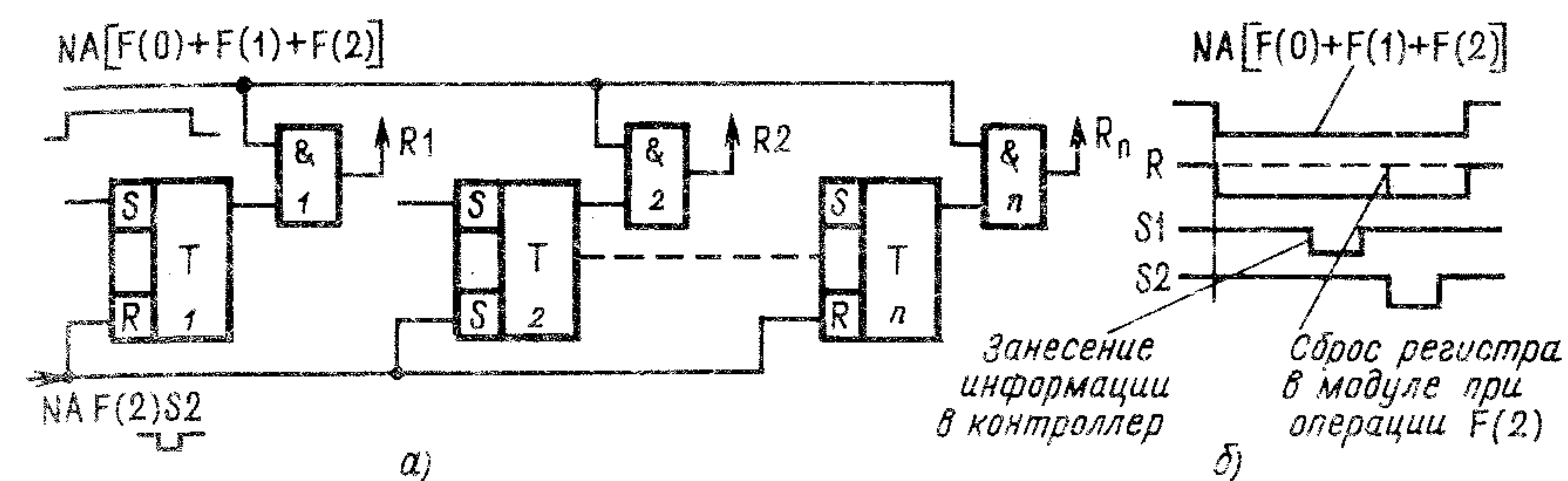


Рис. 2.10. Чтение информации из модуля

записи W магистрали определенную информацию для управления работой функциональных узлов непосредственно внутри модуля.

В соответствии с разделением регистров на группы большая часть операций КАМАК делится на операции с регистрами первой и второй групп. Полный список операций приведен в табл. П2 приложения.

По смысловому назначению все операции КАМАК делятся на четыре группы: операции чтения; первая группа операций управления; операции записи; вторая группа операций управления.

Операции чтения F(0)—F(3) осуществляют считывание информации из модуля по линиям данных R. При передаче модулю кода любой из этих операций выполняется условие $F8=0$ и $F16=0$, т. е. сигналы на линиях F8 и F16 всегда равны логическому 0.

При использовании операции F(0) или F(1) происходит просто считывание информации из регистра первой или соответственно второй группы. Содержимое регистров при этом не изменяется. Технически считывание из модуля выполняется так, как это показано на рис. 2.10,а. Любая команда NAF в модуле имеет вид конкретного электрического сигнала, который воздействует на определенные точки схемы модуля. В данном случае сигнал, соответствующий комбинации команд $NA[F(0)+F(1)+F(2)]^*$, поступает на объединенные входы элементов И, открывает их и на линиях R1—Rn появляется информация, отражающая состояние всех триггеров регистра. Важно отметить, что сигналы на линиях R магистрали появляются в момент поступления в модуль команды чтения. С появлением стробирующего сигнала S1 информация с линий чтения магистрали будет занесена в контроллер крейта (рис. 2.10,б). В случае использования операции F(2) за один командный цикл выполняются два действия — чтение регистра и затем его сброс. Чтение происходит аналогично операции F(1), а сброс — по строб-сигналу, как показано на рис. 2.10,б.

Операция F(3) позволяет получить обратный код содержимого регистра первой группы. Сам процесс чтения в модуле происходит

* Такая запись означает, что уровень логической 1 на линиях возбуждается любой из команд NAF(0), NAF(1) или NAF(2).

так же, как и при операции F(0), с той лишь разницей, что данные считываются с других выходов триггеров.

Операции F(8)—F(11) относятся к первой группе операций управления. При действии этих операций на магистрали крейта всегда выполняется условие $F8=1$ и $F16=0$. В этом легко убедиться при рассмотрении двоичных кодов операций F(8)-F(11).

Операцией F(8) в составе команды NAF(8) в адресуемом модуле можно проконтролировать как состояние общего L-запроса модуля, так и состояние L-сигналов от его отдельных функциональных элементов. Конкретный контролируемый элемент выбирается по соответствующему субадресу. На операцию F(8) модуль обязан дать ответ контроллеру по линии Q сигналом $Q=1$ или $Q=0$. Информационное значение сигнала Q при операции F(8) обсуждается в § 2.6.

Операция F(10) используется для сброса любого триггера в модуле, так или иначе связанного с L-запросом. Конкретный триггер выбирается по его субадресу.

Операции F(9) и F(11) предназначены для сброса регистров первой и второй групп в модуле.

Операции записи F(16)—F(19), F(21), F(23) предназначены для записи информации с линий данных W в модуль. Для этих операций всегда выполняются условия $F16=1$ и $F8=0$. В литературе операции записи иногда называют операциями перезаписи, поскольку информация, которая должна быть занесена в модуль с линий W, предварительно устанавливается на этих линиях контроллером крейта. В дальнейшем будет использоваться термин «запись», который подразумевает занесение информации в модуль непосредственно с линий W магистрали.

При выполнении операций F(16) или F(17) в составе команд NAF(16) или NAF(17) в разряды регистров первой или второй группы, расположенные по указанным субадресам, записывается состояние соответствующих линий W. Иначе говоря, прежнее содержимое регистра заменяется новым, определяемым словом данных на линиях W. Технически запись информации с линий W в модуль выполняется так, как это показано на рис. 2.11, а. Занесение информации в модуль происходит в момент появления строб-сигнала S1 (рис. 2.11, б).

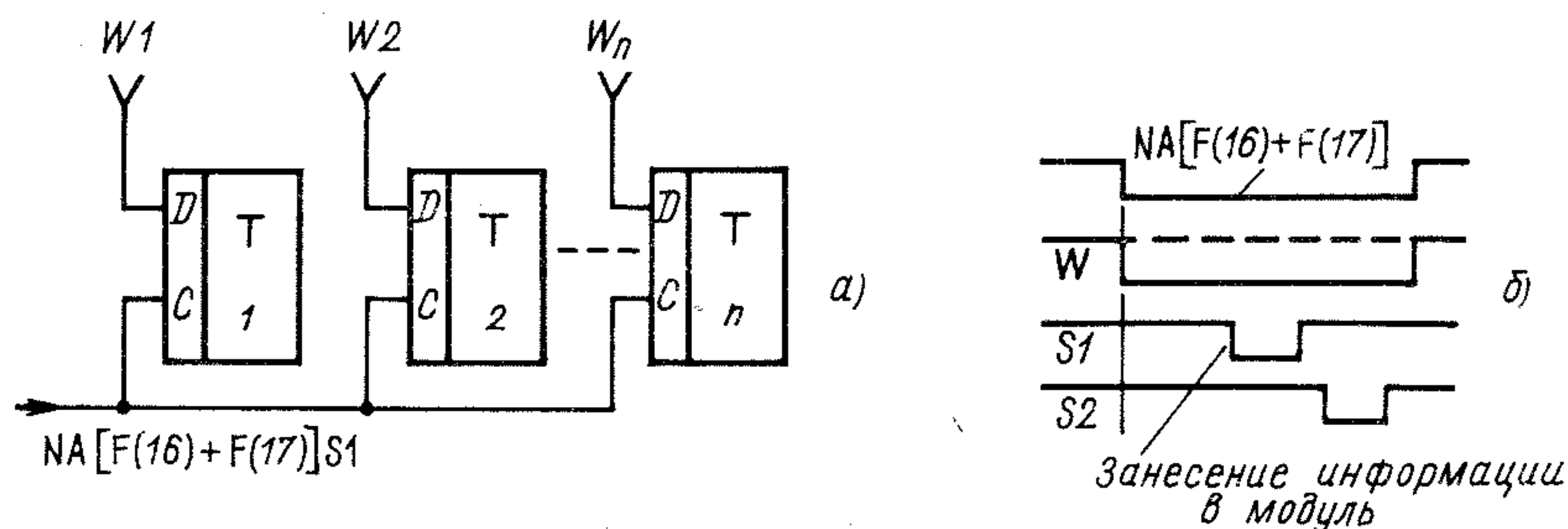


Рис. 2.11. Операция записи в модуль

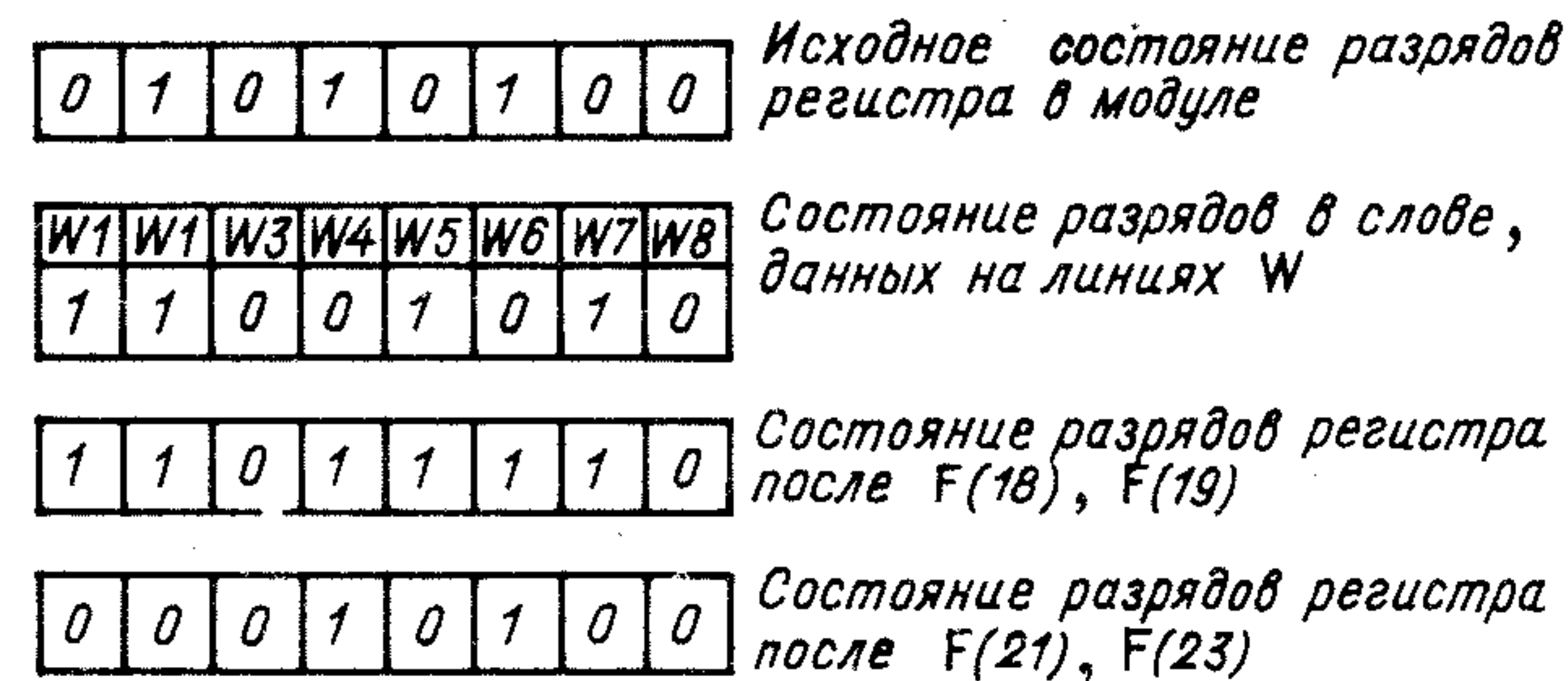


Рис. 2.12. Использование операции Селективная установка и Селективный сброс

Операции селективной установки F(18), F(19) устанавливают в единичное состояние лишь определенные разряды регистров первой или второй группы, оставляя состояние остальных разрядов регистров без изменения. Выбор разрядов, на которые воздействуют операции F(18), F(19), осуществляется с помощью единичных состояний разрядов слова данных, передаваемого в этом же цикле по линиям записи W (рис. 2.12). Нулевые состояния слова данных не изменяют первоначального состояния разрядов регистров модуля.

Действие операции селективного сброса F(21), F(23) противоположно действию операций F(18), F(19). В этом случае разряды регистров, выбранные с помощью единичных состояний разрядов слова данных, устанавливаются в нуль, т. е. сбрасываются. Нулевые состояния разрядов слова данных, как и при операциях F(18), F(19), не изменяют первоначального состояния разрядов регистров модуля (рис. 2.12).

Вторая группа операций управления F(24)—F(27) предназначена для выполнения различных действий над функциональными элементами модуля, которые не требуют передачи информации по линиям данных R, W. Кодам этой группы операций всегда соответствует комбинация $F8=1$, $F16=1$, т. е. на линиях F8 и F16 магистрали крейта присутствуют сигналы логической 1.

Операция F(24) используется тогда, когда необходимо запретить какие-либо действия в модуле или заблокировать прохождение какого-либо сигнала (замаскировать сигнал). Например, с помощью данной операции можно запретить счет входных сигналов счетчиком, запретить преобразование входного сигнала в код в модуле амплитудно-цифрового преобразователя, запретить выход на магистраль сигнала запроса модуля L и т. п. Технически действие этого сигнала обычно реализуется с помощью элементов, приведенных на рис. 2.4. Выполнение команды, в состав которой входит операция F(24), допускается по любому строб-сигналу (S1 или S2) по усмотрению разработчика модуля.

Операция F(26) разрешает те действия в модуле, которые запрещаются по F(24). Выполнение команды NAF(26) также может начинаться по любому стробирующему сигналу.

Операция F(25) используется для инициирования или прекращения любых действий в модулях, но только в тех случаях, когда нецелесообразно использование операций F(24) или F(26). Исполнение действий, определяемых командой NAF(25), может стробироваться по усмотрению разработчиков модулей любым строб-сигналом: S1 или S2. Операция F(25) в составе команды КАМАК часто используется для имитации входных сигналов при проверке работоспособности регистров в модулях. Так, для проверки правильности работы всех триггеров 16-разрядного счетчика в модуле можно от ЭВМ на вход этого счетчика подать 65 535 раз ($2^{16}-1$) команду NAF(25), чтобы полностью заполнить счетчик. Считывая затем информацию в ЭВМ по команде NAF(0), можно судить о правильности работы контролируемого счетчика.

Операция F(27) позволяет проверять состояние любых функциональных элементов в модулях. Ограничение для разработчиков модулей состоит лишь в том, что командой NAF(27) не должно проверяться состояние тех элементов в модуле, для которых рекомендуется использовать операцию F(8). В ответ на операцию F(27) модуль обязан выставить сигнал на линию Q, состояние которого $Q=1$ или $Q=0$ несет определенную информацию о контролируемом элементе. Техническую реализацию исполнения операции F(27) см. на рис. 2.4.

В каждой из рассмотренных групп операций, как видно из табл. П2 приложения, предусмотрены резервные операции для развития системы КАМАК и операции для свободного использования разработчиками функциональных модулей. При необходимости свободные операции должны быть использованы с учетом требований, предъявляемых к использованию основных операций данной группы.

Приведенные рекомендации по использованию операций КАМАК обязательны для разработчиков функциональных модулей. Экспериментатор при программировании работы функциональных модулей руководствуется списком операций конкретного модуля и использует их в соответствии с указаниями, приведенными в техническом описании модуля.

При необходимости модернизации функционального модуля в процессе подготовки измерительной системы, например введения дополнительных возможностей программного управления его работой, экспериментатор должен руководствоваться приведенными соображениями по использованию операций, которые более подробно приведены в документации по системе КАМАК.

§ 2.4. БЛОЧНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В СИСТЕМЕ КАМАК

Основная документация по системе КАМАК определяет обмен данными по принципу: одно слово данных на одну команду чтения или записи. Поскольку обмен данными производится между регистром адресуемого модуля и ЭВМ, особенности работы последней су-

щественно влияют на скорость обмена информацией с модулями КАМАК.

Основные действия ЭВМ, связанные с приемом информации от функционального модуля, заключаются в следующем. Модуль выставляет сигнал запроса контроллеру крейта, контроллер выдает сигнал прерывания в ЭВМ. ЭВМ обрабатывает прерывание — устанавливает его приоритет, прерывает выполнение текущей программы, запоминает ее характеристики, переходит на выполнение программы обслуживания модуля и после приема одного слова данных возвращается к выполнению прерванной ранее программы. Выполнение такого количества операций приводит к тому, что на прием по программному каналу одного слова данных из регистра модуля затрачивается длительное время, которое может составить несколько десятков и даже сотни микросекунд.

Одним из способов сокращения времени приема информации в ЭВМ является использование *блочной передачи данных*. Блочный обмен данными можно определить как выполнение последовательности единичных операций КАМАК по пересылке данных, иницированной одной командой чтения или записи. Несмотря на то что в разное время было предложено много разнообразных способов блочных передач в системах КАМАК — ЭВМ, опыт работы с аппаратурой КАМАК и анализ предложенных алгоритмов показали, что лишь ограниченное число алгоритмов блочных передач удовлетворяет требованиям экспериментальных систем сбора и накопления информации. Здесь рассмотрим лишь основные способы, которые рекомендованы в основной документации по системе КАМАК.

Различные режимы блочных передач классифицируются комбинацией трех основных параметров: способа определения адреса регистра в модуле КАМАК; источника сигнала, синхронизирующего передачу данных; метода, используемого для ограничения передаваемого блока данных.

Режим адресного сканирования

Этот режим обмена данными применяется в тех случаях, когда в крейте используются однотипные модули и их регистры расположены последовательно по возрастающим субадресам, начиная с субадреса A(0). Сами модули могут находиться в крейте на произвольных станциях. На практике такие случаи часто реализуются в измерительных системах физики высоких энергий.

ЭВМ передает контроллеру крейта в составе команды чтения или записи коды команды N(i)A(0), где указан номер станции крейта, с которой будет начат обмен данными. Признаком наличия регистра по данному субадресу в модуле является ответ $Q=1$. После чтения или записи данных наращивается значение субадреса, устанавливается A(1) и снова производится обмен данными и т. д. Первый ответ модуля $Q=0$ сообщает контроллеру об отсутствии очередного регистра в модуле. В ответ на $Q=0$ увеличивается на единицу значение номера станции, вновь устанавливая значение

субадреса $A(0)$. При $Q=1$ вновь происходит обмен данными, а при $Q=0$ снова наращивается значение адреса N при $A(0)$ и т. д. Если при этом оказывается, что значение субадреса равно $A(15)$, автоматически устанавливается адрес следующей станции и значение субадреса $A(0)$. Таким образом, происходит последовательный опрос — сканирование всех станций и по всем возможным значениям субадресов. Групповая передача данных заканчивается, когда происходит обращение к конечной, 23-й станции или когда выполнено определенное, наперед заданное число пересылок данных. Режим адресного сканирования весьма эффективен, если в контроллере крейта имеется соответствующее аппаратное обеспечение этого способа обмена, которое позволяет автоматически, без участия ЭВМ наращивать значения адреса и субадреса.

Метод повторения

Этот метод используется для пересылки данных по одному фиксированному адресу путем повторения одной и той же команды. Пересылка данных — чтение или запись — происходит только тогда, когда модуль готов к обмену. Значение $Q=1$ от модуля говорит о том, что обмен данными может состояться, а $Q=0$ означает, что модуль к обмену не готов. При $Q=0$ команду чтения или записи необходимо повторять до получения от модуля сигнала $Q=1$. В методе повторения существует некоторая неопределенность, связанная с временем ожидания значения $Q=1$ от модуля. Поскольку значение $Q=0$ может быть результатом аварийной ситуации в измерительной системе, при программировании обмена по данному методу целесообразно предусмотреть некоторое фиксированное число повторений команд по обмену данными при $Q=0$, которое может служить условием окончания обмена или ошибки в измерительной системе.

Этот режим удобно использовать для обмена данными с дополнительным оборудованием, подключаемым к измерительной системе через соответствующий модуль КАМАК, причем в том случае, когда скорость обмена данными у этого оборудования меньше скорости работы канала ввода-вывода используемой ЭВМ.

Метод останова

Использование этого метода позволяет пересылать данные между выбранным регистром в модуле и оперативной памятью ЭВМ, причем модуль сам контролирует число передаваемых слов. Операция чтения или записи повторяется до тех пор, пока модуль, отсчитав заданное количество слов, не изменит значение сигнала Q с единичного на нулевое, что интерпретируется как конец передачи блока. Этот способ обмена целесообразно применять в тех случаях, когда скорость пересылки данных определяется ЭВМ, а размер передаваемого массива данных задается модулем КАМАК.

Среди других возможных методов обмена массивами данных можно выделить способ обмена с использованием специального дополнительного сигнала задержки H , задерживающего генерацию цикла КАМАК в контроллере крейта в случае неготовности модуля к обмену. На рис. 2.13 представлены временные диаграммы цикла чтения информации из модуля с использованием сигнала H . Пунктиром показан нормальный цикл КАМАК. В том случае, если через 300 нс после начала цикла чтения модуль не готов передать данные на магистраль крейта, он выставляет на линию $P2$ сигнал H , который задерживает генерацию строб-сигналов $S1$ и $S2$ контроллером крейта. После того как модуль выставит данные на линии R , он снимает сигнал задержки H и контроллер заканчивает цикл чтения генерацией стробирующих сигналов. При использовании этого метода контроллер должен иметь соответствующие аппаратные средства для работы с сигналом H .

§ 2.5. ОРГАНИЗАЦИЯ И ОБРАБОТКА ЛАМ-ИНФОРМАЦИИ В МОДУЛЕ

Следуя общепринятой терминологии, под ЛАМ-информацией понимают любые сигналы, имеющие отношение к хранению, обработке или передаче запросов на обслуживание функциональных узлов модуля, начиная от источников их возникновения в модуле и кончая выходом общего сигнала запроса из модуля на магистраль крейта. Перед названием сигналов ЛАМ-информации и технических средств для их обработки в модуле принято употреблять аббревиатуру ЛАМ: ЛАМ-статус, ЛАМ-маска, ЛАМ-требование и т. п. Однако общий сигнал запроса, который выставляется модулем на магистраль крейта, обычно называют L -запрос модуля.

Обмен данными между функциональным модулем, установленным в крейте, и вычислительной машиной может происходить как по инициативе ЭВМ, так и по запросу от модуля. Выбор того или иного способа обмена определяется экспериментатором в ходе планирования эксперимента и разработки программы управления работой всей измерительной системой. В том случае, когда инициатором обмена является функциональный модуль, он при готовности к обмену данными сообщает об этом контроллеру крейта сигналом L . Модуль может содержать несколько самостоятельных функциональных узлов, каждый из которых в случае готовности к обмену данными может сообщать об этом контроллеру. Например, в модуле, содержащем несколько автономных счетчиков или АЦП, каждое из устройств после завершения определенного рабочего цикла (счетчик — при переполнении его входными сигналами, АЦП — по

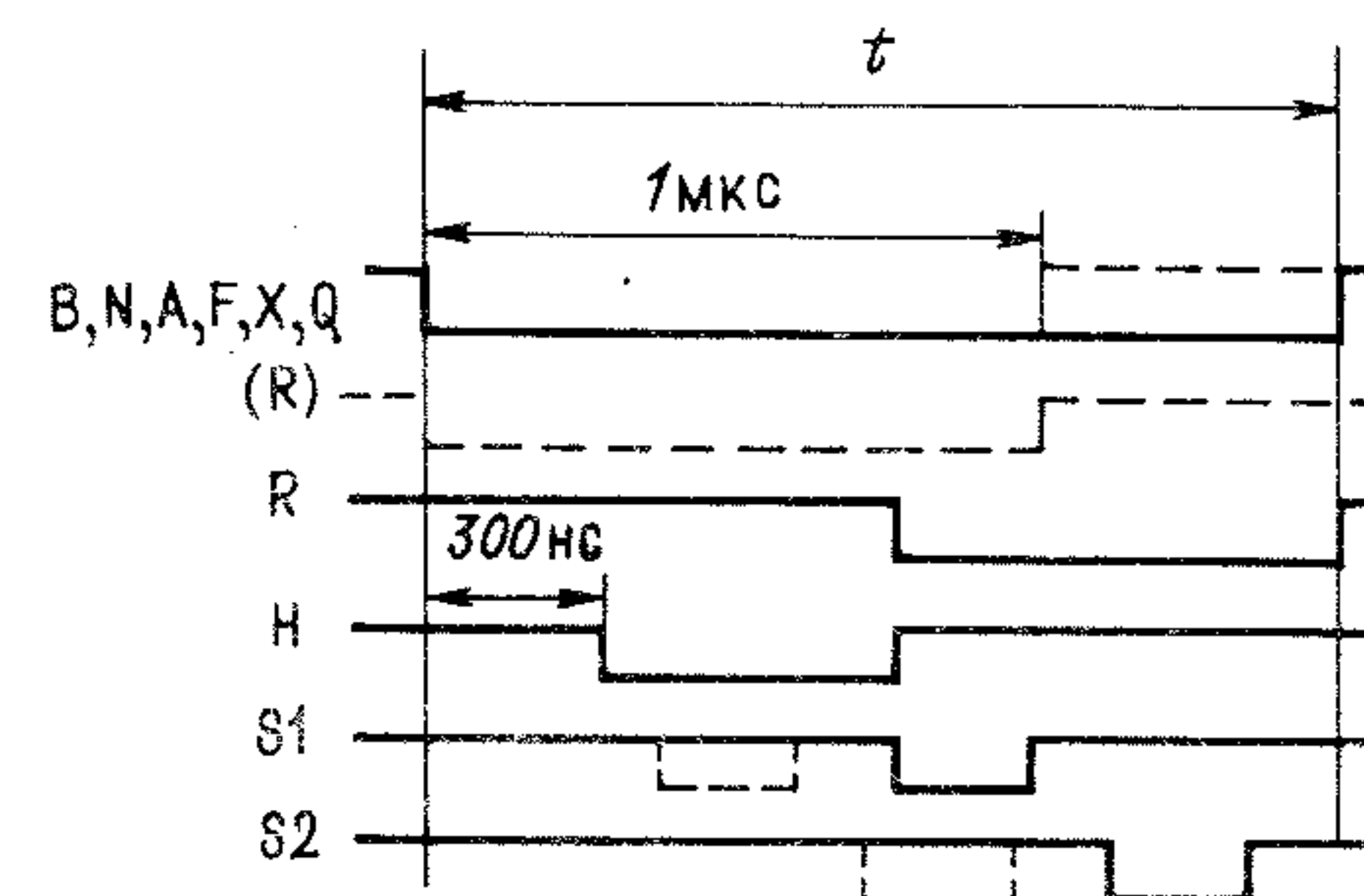


Рис. 2.13. Использование сигнала задержки H