

данными с другими сетевыми станциями с поддержкой протокола Modbus/TCP сервер или клиент. Объем поддерживаемых коммуникационных функций зависит от модификации программного продукта;

- программные блоки библиотеки SIPLUS RIC S7 для поддержки стандартного протокола обмена данными IEC (МЭК) 60870-5-104 для использования в контроллерах S7-300/S7-400/S7-400H и станции ET 200S CPU. В зависимости от настроек используемого ПО контроллер способен выполнять функции ведущего или ведомого сетевого устройства;
- программные блоки поддержки протокола IEC (МЭК) 61850 сервера или клиента для связи контрол-

леров S7-300/S7-400/S7-400H с устройствами внутри подстанций.

Промышленная связь играет важную роль в функционировании систем автоматизации. Продукты SIMATIC NET Industrial Ethernet объединяет широкий спектр сетевых компонентов промышленного исполнения, позволяющих решать задачи эффективной промышленной связи с применением широкого спектра поддерживаемых протоколов и функций. Правильный выбор программных и аппаратных средств позволяют получать решения, обеспечивающие эффективное использование сети Ethernet и простоту интеграции в общую сетевую структуру цеха, производства, предприятия.

*Кухаренко Сергей Юрьевич – ведущий эксперт Департамента «Автоматизации и приводов» ООО «Сименс». Контактный телефон (495) 737-17-37.*

## ETHERNET И ДЕТЕРМИНИЗМ

### Компания «Шнейдер Электрик»

*Когда Ethernet начинают сравнивать с другими, общепризнанно детерминированными промышленными полевыми шинами, возникают серьезные споры по поводу его детерминизма. Бытует мнение, что промышленные системы на базе Ethernet являются недетерминированными по сравнению с другими специализированными промышленными шинами. В статье показано, что промышленная сеть Ethernet при определенных условиях действительно является детерминированной.*

*Ключевые слова: Ethernet, детерминизм, промышленные шины, дуплексный режим, фильтрация групповых сообщений, распределенная система ввода/вывода, ПЛК, эстафетная передача маркера.*

Детерминированной считается предсказуемая система с вычислимым, постоянным временем отклика при взаимодействии между двумя устройствами. Требования к времени отклика приложения (ВОП) в детерминированной системе зависят от конкретной задачи. Например, система водоочистки может представлять собой детерминированную систему с постоянным и предсказуемым временем отклика, равным 500 мс, тогда как в системе управления перемещением с ЧПУ может потребоваться время отклика в пределах 1 мс.

Приведенные примеры показывают, что детерминизм зависит от каждой конкретной задачи, к которой предъявляются конкретные требования со стороны потребителя и ТП. Сутью детерминизма является предсказуемость и постоянство каждой операции в отдельности и всех операций вместе, удовлетворяющих текущим требованиям к приложению.

Многие системы гордо именуются детерминированными. Но при более внимательном рассмотрении Ethernet выдерживает сравнение с лучшими из них. Рассмотрим распределенную систему ввода/вывода (РСВВ), в которой подчиненное устройство управления вводом/выводом работает под управлением ведущего ПЛК. Потеря связи с РСВВ приведет к потере контроля над ТП. Любые задержки, связанные с модификацией сети и изменяющие ожидаемое время отклика приложения в РСВВ, могут вызвать проблемы

и потребовать непредусмотренного изменения логики и временной диаграммы работы только потому, что в систему были добавлены несколько устройств или дополнительный кабельный сегмент.

Хотя каждая полевая шина имеет свои недостатки, Ethernet является наилучшим выбором, поскольку она позволяет наименее затратно и с меньшими компромиссами адаптироваться к изменению ТП и развитию предприятия. Другие промышленные шины заставляют платить более высокую цену из-за ограничений, накладываемых на число используемых узлов и устройств.

Детерминизм в РСВВ можно рассматривать с двух сторон. Во-первых, — это детерминизм системы, включающей ПЛК с логической обработкой и обслуживанием компонентов, передачу данных по сети и отклик устройств ввода/вывода. Во-вторых, детерминизм системы можно также описать временем отклика приложения (ВОП) — временем, необходимым,

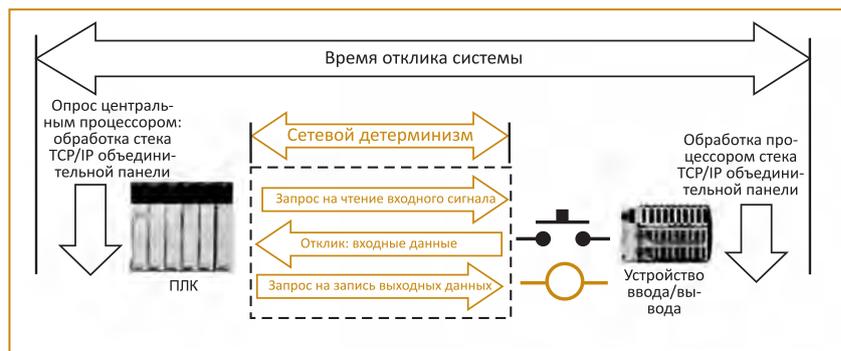


Рис. 1

чтобы после изменения сигнала на входе устройства ввода/вывода, ПЛК обнаружил изменение состояния, обработал его и выдал сигнал на логический выход устройства ввода/вывода (рис. 1).

Время отклика приложения формируется из нескольких основных компонентов:

- времени рабочего цикла центрального процессора (ЦП) и обработки данных с модуля объединительной панели/каналов данных,
- времени упаковки и передачи данных из сетевого интерфейса ПЛК,
- времени передачи данных по сети или полевой шине,
- времени приема данных и их обработки устройством ввода/вывода,
- времени отклика, необходимого устройству ввода/вывода, чтобы передать значение подтверждения нового состояния в ПЛК, и времени, необходимого логике ПЛК для обработки изменения.

Общее ВОП может незначительно меняться из-за колебаний времени рабочего цикла ЦП, вызванных программированием в диалоговом режиме и запросами на обработку пакетов от устройств ЧМИ или SCADA-системы; условий синхронизации, зависящих от того, в какой момент рабочего цикла поступил запрос; нестабильности синхронизации в сети, вызванной добавлением/удалением устройств или периодическим возрастанием трафика в сети. В большинстве случаев для обработки изменения состояния входа устройства ввода/вывода и реакции на это изменение в виде запроса на вывод сообщения требуется больше одного рабочего цикла ЦП вне зависимости от вида используемой детерминированной полевой шины. Следовательно, даже в большинстве детерминированных систем существуют временные колебания транзакций, связанные с небольшими временными отклонениями. В детерминированных полевых шинах это время обычно составляет 1...2 мс. При использовании Ethernet в качестве промышленной шины колебания в пределах 1 мс считаются необычно большими вследствие скорости, точности и развитых функциональных характеристик Ethernet.

В данной статье рассматривается только аспект передачи данных по сети, и функционирование Ethernet сравнивается с другими полевыми шинами, считающимися детерминированными. Детерминизм сети определим как вычисляемое и постоянное время передачи сообщений программ автоматизации между интерфейсами конечных устройств.

#### Сравнение полевых шин

Большинство считающихся детерминированными PCBB на базе полевой шины (Profibus, Modbus Plus и др.) организованы в виде логического кольца/физической шины с эстафетной передачей маркера. Например, при использовании PCBB на базе Modbus Plus можно вычислить время запроса ПЛК и отклика устройства ввода/вывода и быть уверенным, что эти

временные параметры будут постоянными. В большинстве детерминированных сетей используется эстафетная передача маркера, что гарантирует каждому устройству в сети возможность передачи и получения данных в течение предсказуемого интервала времени. В сетях с эстафетной передачей маркера можно ограничить время, в течение которого одно устройство имеет право удерживать маркер, и таким образом гарантировать доступ к сети всем устройствам. Время, необходимое для передачи маркера от исходной точки, через все устройства, обратно в исходную точку, называется временем оборота маркера. С увеличением числа устройств или объема передаваемых данных время оборота маркера будет расти, так как маркер последовательно передается всем устройствам.

В других детерминированных сетях, например, Profibus, при увеличении протяженности сети выше некоторого предела время передачи будет расти из-за снижения скорости передачи. Однако, хотя в этих случаях общее время передачи может расти с увеличением числа устройств или расстояния, сама сеть считается детерминированной, так как время доставки сообщения между двумя узлами сети является вычислимым и постоянным.

Поскольку первоначально Ethernet задумывалась как сеть с шинной топологией с разрешением конфликтов, ее отвергали как произвольную, недетерминированную и непригодную для многих промышленных приложений. Так как время передачи сообщений по сети CSMA/CD Ethernet может меняться из-за таймеров повторной передачи в алгоритме задержки при разрешении коллизий на MAC-уровне и существует вероятность потери сообщений на MAC-уровне при избыточном числе конфликтов, то при повторной передаче сообщения Ethernet опиралась на протоколы более высокого уровня, такие как TCP. Это мешало Ethernet конкурировать в качестве детерминированной полевой шины с признанными ведущими детерминированными промышленными шинами.

Однако по мере развития Ethernet проблемы, связанные с доступом к сети и разрешением конфликтов, были устранены. С появлением в сети Ethernet коммутации, введенной компанией Kalpana в 1995 г., и стандарта полнодуплексной связи IEEE 802.3x был найден способ разрешения конфликтов на шине. При работе в полнодуплексном режиме любое устройство в сети Ethernet может одновременно передавать и получать данные в любое время, без риска возникновения конфликтов. При работе в полнодуплексном режиме протокол CSMA/CD разрешения конфликтов в сети Ethernet не нужен и блокируется.

По таким параметрам, как объем передаваемых данных, число подключенных устройств и расстояние, сеть Ethernet, работающая в полнодуплексном режиме, имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными детерминированными полевыми шинами с эстафетной передачей маркера. Маскирование IP-адресов подсети в Ethernet практически

не накладывает ограничений на число конечных устройств. Например, сеть класса А с 24-битным адресом узла и 8-битной маской подсети допускает наличие более 16,7 млн. узлов. Согласитесь, что это практически нереализуемый размер подсети, хотя чисто математически такая возможность существует.

Нужно также учесть, что при передаче сообщения по протоколу двухточечной связи каждый узел может напрямую обмениваться данными с любым другим узлом, и, следовательно, число устройств в сети существенно не влияет на время передачи запроса или отклика, потому что в отличие от топологии с эстафетной передачей маркера в коммутируемой сети Ethernet отсутствует последовательное распределение сообщений. Полевая шина в виде логического кольца с эстафетной передачей маркера должна последовательно передать маркер каждому устройству, вследствие чего время передачи увеличивается с увеличением числа устройств.

В приведенном кратком сравнении с признанными полевыми шинами, Ethernet выглядит очень неплохо. Однако в ней также существуют угрозы детерминизму времени передачи. Рассмотрим далее эти угрозы и способы их нейтрализации в правильно организованной промышленной сети Industrial Ethernet.

В специализированной полевой шине с эстафетной передачей маркера трафик обычно ограничен определенными типами сообщений и последовательным кругооборотом сообщений между устройствами. В системе на базе Ethernet некоторые сообщения, допускающие гибкую свободную форму двухточечной связи, требуют широковещательной рассылки для определения местонахождения ресурсов, необходимых для построения полного сообщения. Протокол разрешения адресов (Address Resolution Protocol – ARP) является вспомогательным. Он позволяет связать аппаратный MAC-адрес в сети Ethernet с логическим IP-адресом в стеке. Поскольку эти два протокола разрабатывались независимо друг от друга и в разное время, ARP стал отдельным, но базовым протоколом, необходимым для правильного функционирования IP-адресов в сети Ethernet, после того как комбинация IP-адресов и Ethernet получила распространение. Запросы ARP специально передаются путем широковещательной рассылки всем устройствам в IP-подсети или в домене широковещательной рассылки виртуальной локальной сети (VLAN).

Однако избыточное число запросов ARP может нарушить работоспособность сети. Сообщения широковещательной рассылки, включая ARP и др., рассылаются по всей IP-подсети сети Ethernet и принимаются и обрабатываются всеми устройствами. Обработка широковещательных запросов является обязательной функцией Ethernet, работающей с IP-адресами, даже если ARP-запрос предназначен другому конечному устройству. Многие другие распространенные протоколы, в частности NetBIOS и IPX, также используют службы, которые могут иногда ге-

нерировать взаимные широковещательные рассылки от всех остальных узлов NetBIOS в подсети, как это происходит, например, в домене Microsoft Windows NetBIOS или при объявлении выборов главного обозревателя сети в рабочей группе ОС Windows.

Источником сообщений широковещательной рассылки может быть также узел, сконфигурированный для другой сети и пытающийся определить местонахождение своих основных ресурсов. Неправильно сконфигурированный хост-ПК может нарушить работу некоторых устройств, генерируя по 20 и более широковещательных сообщений в 1 мс в попытке зарегистрироваться на недоступных контроллерах домена сети, серверах коллективного доступа и других ресурсах.

Если широковещательные рассылки ARP или иные являются чрезмерными, они могут нарушить нормальную работу, переполнив буфера всех конечных устройств в подсети, что приведет к задержкам или может воспрепятствовать нормальной обработке серверами важных групповых (multicast) и индивидуальных (unicast) сообщений от программ автоматизации и допустимых запросов таких клиентов, как BootP/DHCP. Коммутаторы Ethernet позволяют бороться с избыточным трафиком широковещательных сообщений с помощью функции ограничения частоты рассылки широковещательных сообщений (Broadcast Rate Limiting). Использование управляемых сетевых коммутаторов Industrial Ethernet, поддерживающих ограничение потока широковещательной рассылки, позволяет защитить конечные устройства от чрезмерного числа широковещательных сообщений, обеспечивает минимизацию вреда от «широковещательного шторма» и значительно снижает вероятность того, что он повредит промышленному приложению.

*Общие рекомендации:* при настройке конфигурации для обеспечения запаса надежности разрешить две общие широковещательные рассылки в 1 с на каждом порту коммутатора для каждого устройства подсети + две широковещательные рассылки в 1 с для каждого устройства-получателя. При этом исходим из того, чтобы разрешить по одной широковещательной рассылке для двух прикладных сервисов, таких как DHCP, а также из стандартного интервала для широковещательных рассылок – 1 рассылка в секунду.

Например, если устройство обменивается данными с пятью другими устройствами в подсети, состоящей из 60 узлов, предельная частота широковещательной рассылки будет равна 130 широковещательных рассылок в секунду.

$(\text{Число устройств в подсети} \times 2) + (\text{число устройств-получателей} \times 2) = \text{предельная частота.}$

Примем во внимание, что при восстановлении питания после отказа системы энергообеспечения загрузка всех устройств будет происходить практически одновременно, при этом будут выполняться не только проверки дублирования адресов, но и поиск с целью получения адреса и данных конфигурации и предприниматься по-

пытки найти назначенные одноранговые узлы. Широковещательная рассылка сообщений клиентами обычно ограничена интервалом 1 с, хотя некоторые устройства в рамках этого интервала могут изменить тип кадра. Все клиенты также будут искать MAC-адреса своих одноранговых узлов для получения информации, необходимой для установления TCP-соединения. Заданное значение предельной частоты широковещательной рассылки должно быть достаточно демократичным, чтобы все устройства могли получить объявления от всех подключенных клиентов в пределах подсети.

Хотя приведенное в примере значение – 130 широковещательных рассылок в секунду – является очень большим, оно не нарушит работоспособность сети Ethernet. Например, 130 широковещательных сообщений DHCP, по 512 байт каждое, используют лишь 0,5% пропускной способности Ethernet-соединения со скоростью 100 Мбит/с.

Групповые рассылки также являются полезным методом распространения сообщений в режиме PV, однако они могут нарушить работоспособность сети при лавинной рассылке во все конечные устройства подсети. В неуправляемой сети групповые рассылки эквивалентны широковещательным. То есть они рассылаются во все узлы, даже в те, которым они не предназначались и которые не должны получать эти групповые сообщения.

Фильтрация групповых сообщений – это еще одна настраиваемая функция, предусмотренная в сетевых коммутаторах Industrial Ethernet, поддерживающих фильтрацию групповых сообщений GMRP или IGMP. Фильтрация групповых сообщений сетевым коммутатором Ethernet позволяет процессору пакетов коммутатора распространять групповые сообщения только устройствам, определенным как получатели. Так, можно предотвратить лавинную рассылку и нарушение функционирования конечных устройств, возникающее в результате буферизации ненужных сообщений.

Функционирование в дуплексном режиме и подавление вредного воздействия избыточного числа широковещательных рассылок позволяет позиционировать Ethernet как сеть с детерминированным быстродействием. Обычно в сети Ethernet с современными конечными устройствами данные передаются со скоростью 100 Мбит/с. Размеры пакетов протоколов автоматизации обычно  $\leq 500$  байт, время передачи одного 500-байтного пакета составляет 40 мкс. Существуют и некоторые другие факторы, например, нормальная скорость распространения (Normal Velocity of Propagation – NVP), которая по существу является временем передачи одного бита на заданную длину физического носителя. NVP измеряется в процентах от скорости света. Для большинства кабелей категории 5е значение NVP лежит в пределах 0,65...0,70, то есть они передают бит данных со скоростью до 70% от скорости света. Во всех практических приложениях этот компонент, который на 100-метровом кабельном сегменте равен 477 нс, пренебрежимо мал.

Как было отмечено ранее, в традиционных полевых шинах имеется несколько переменных, которые обеспечивают детерминированное быстродействие, но влияют на общее время передачи. Например, в сети Modbus Plus на время оборота маркера влияет число устройств. В сети Profibus на скорость передачи влияет общая протяженность сети. В обоих случаях после установки сети в окончательной конфигурации время передачи будет постоянным. В сети Ethernet аналогичной переменной является число сетевых коммутаторов Ethernet на пути, соединяющем два конечных устройства. Большинство коммутаторов Ethernet работают в режиме с буферизацией пакетов. Это означает, что каждый пакет должен быть полностью помещен в буфер входного порта, после чего выполняется контроль ошибок с помощью контрольной последовательности кадра (Frame Check Sequence – FCS), которая представляет собой 32-разрядный циклический код избыточности, и затем пакет направляется в выходной порт. Задержка на пересылку занимает незначительное время. У большинства сетевых коммутаторов Ethernet максимальная задержка на пересылку составляет  $< 50$  мкс. Максимальная задержка на пересылку обычно соответствует задержке на пересылку кадра Ethernet максимального размера 1518 байт. Поскольку длина большинства сообщений в системах промышленной автоматизации  $\leq 1/3$  максимального размера кадра Ethernet, задержка на пересылку в большинстве сетевых коммутаторах Industrial Ethernet значительно меньше максимальной задержки на пересылку в коммутаторе.

Тестирование показало, что при установке на пути между двумя устройствами дополнительных коммутаторов общее время задержки на пересылку увеличивается линейно. Значение максимальной задержки на пересылку, равное 50 мс, для большинства коммутаторов является «наихудшим значением». Испытания с использованием этого значения показали, что для получения задержки на пересылку в 1 мс пакет должен пройти через 20 коммутаторов. Наличие такого числа коммутаторов на пути между двумя конечными устройствами является редким случаем в сетях с шинной архитектурой или при соединении звездой, хотя, конечно, такое возможно в архитектуре Redundant Ethernet Ring. Поскольку сеть с архитектурой Redundant Ethernet Ring является физическим кольцом/логической шиной, устройство может находиться на расстоянии всего двух коммутаторов, однако пакетам может понадобиться обойти магистраль кольца в зависимости от того, где заканчивается шина. Обычно физическое кольцо заканчивается на коммутаторе менеджера резерва кольца (Ring Redundancy Manager).

Даже предположив возможность прохождения через большое число коммутаторов и наличия очень больших задержек на пересылку (50 мкс) можно видеть, что общее время передачи по сети Ethernet достаточно мало. Кроме того, если возникает опасность

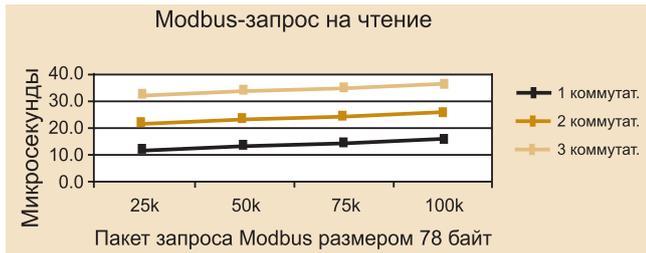


Рис. 2

перегрузки магистрали Ethernet, можно использовать технологии управления трафиком Quality of Service (качество обслуживания)/Class of Service (класс обслуживания), помогающие обеспечить приоритетную доставку пакетов сообщений. Добавление 3 бит приоритета пользователя к тегу IEEE 802.1p/Q кадра MAC позволяет повысить уровень приоритета (0...7) для каждого пакета. Пакет с приоритетом 7 всегда пересылается первым и при возникновении серьезной перегрузки, когда коммутаторы вынуждены отбрасывать пакеты из-за переполнения буфера, отбрасываться будут только пакеты с низким приоритетом.

Обработка приоритета пакета зависит от реализации конкретного коммутатора. Некоторые коммутаторы обслуживают пакеты по мере поступления. Это означает, что даже при наличии единственного пакета с высоким приоритетом он будет извлечен из буфера и передан первым. При наличии нескольких высокоприоритетных пакетов сначала будет выполнена пересылка всех этих пакетов, и лишь затем — пересылка низкоприоритетного пакета. В других реализациях коммутаторов используется механизм взвешенного (Weighted) обслуживания очередей или механизм случайного раннего обнаружения (Random Early Detection), когда сначала пересылается большое число высокоприоритетных пакетов, а затем — несколько пакетов с низким приоритетом. Это аналогично механизму обслуживания очереди, используемому IP-маршрутизаторами. Маршрутизатор проверяет поле IP Type of Service (TOS) или DiffServ и чередует кадры в соответствии со сконфигурированным механизмом обслуживания очереди. На MAC-уровне аналогичная функция реализуется сетевыми коммутаторами Industrial Ethernet с поддержкой стандарта IEEE 802.1Q/p.

Хотя существует много способов контроля перегрузки и управления ширококешательными и групповыми рассылками, в большинстве сетей Industrial Ethernet вероятность возникновения связанных с этим проблем мала, поскольку пакеты программ автоматизации имеют небольшой размер. Для передачи

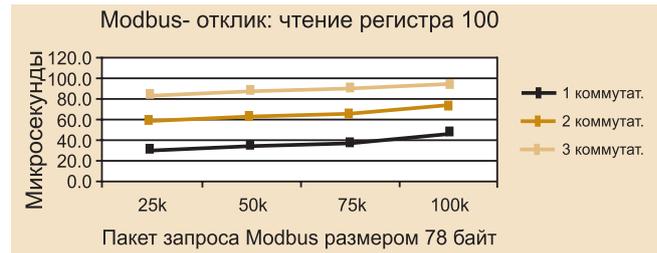


Рис. 3

меньших пакетов требуется меньше времени и их легче чередовать. В испытании передавался 71-байтовый тестовый пакет запроса Modbus TCP, включающий служебные данные MAC (промежуток между пакетами, преамбулу, FCS), через последовательность коммутаторов Ethernet, работающих в дуплексном режиме. Результаты показаны на рис. 2.

То же испытание было повторено для 325-байтового отклика Modbus TCP, результаты которого показаны на рис. 3. Как видно на рис. 2 и 3, с увеличением числа коммутаторов на пути время передачи соответствующим образом увеличивается. Однако фактическое время передачи, даже при наличии нескольких коммутаторов, представляет собой достаточно малую величину. Таким образом, демонстрируется поведение, подобное специализированным детерминированным полевым шинам: после установления пути через коммутаторы время передачи будет постоянным.

#### Схема тестирования

В испытании участвовали различные управляемые и неуправляемые коммутаторы Industrial Ethernet. В качестве генератора пакетов использовался генератор/анализатор трафика Spirent Smartbits 200 (рис. 4).

Пакеты Modbus Request и Modbus Response передавались с выходного порта генератора через наращиваемое число коммутаторов и принимались на входном порте SmartBits 200 для измерения времени передачи (Round Trip Time). Каждый пакет имел стандартный 96-разрядный интервал между пакетами (Inter Packet Gap — IPG) для имитации потока трафика. Прошедшее время измерялось с помощью опорного тактового генератора в SmartBits 200. Поскольку SmartBits использует для генерации трафика специализированную интегральную схему, поток трафика был постоянным и не был подвержен флуктуациям по вине ОС, характерным для программных генераторов пакетов.

#### Влияние механизма обслуживания очереди с учетом приоритетов

Даже после наложения ограничений на частоту рассылки ширококешательных сообщений, настройки и использования фильтрации групповых сообщений и различных технологий управления трафиком может оказаться, что буферизация низкоприоритетного кадра Ethernet максимального размера начнется на входе коммутатора раньше, чем буферизация сообщения программы автоматизации с более высоким

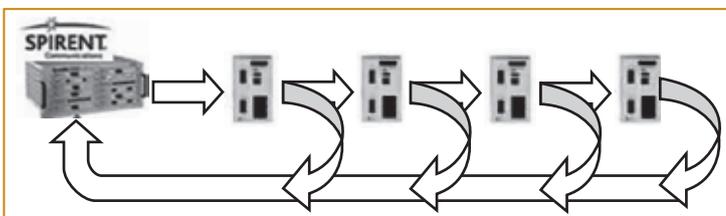


Рис. 4



Рис. 5

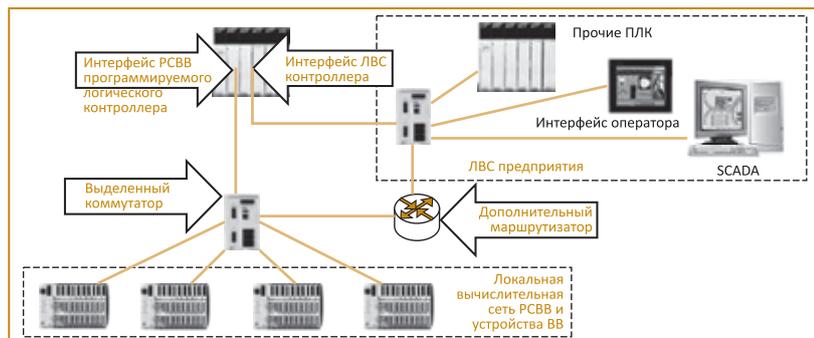


Рис. 6

приоритетом (рис. 5). В этом случае буферизация кадра Ethernet максимального размера продолжится, а пакет сообщения программы автоматизации будет поставлен в очередь. Это редкая ситуация, однако она возможна. В этом случае максимальное время ожидания в очереди пакета сообщения программы автоматизации для канала 100 Мбит/с составит 121 мкс. Этого недостаточно, чтобы нарушить работу программы автоматизации; такое значение вполне укладывается в разумные допуски для детерминированной системы.

#### Проектирование системы с учетом детерминированности

Условие детерминированности сети Ethernet необходимо учитывать при ее проектировании. При работе в полнодуплексном режиме единственной реальной угрозой детерминизму является влияние ненужных протоколов и избыточные широковещательные/групповые рассылки. При построении РСВВ на базе Ethernet для обеспечения действительно детерминированного быстродействия предпочтительно развязать РСВВ, выделив для этой цели отдельный сетевой адаптер в ПЛК и отдельный коммутатор (рис. 6).

ПЛК на рис. 6 имеет два интерфейсных адаптера Ethernet. Один из них работает с РСВВ для обеспечения детерминизма, а второй обслуживает весь остальной обмен данными, включая обмен информацией с одноранговыми ПЛК, SCADA, интерфейсами оператора, другими клиентскими устройствами и системой управления предприятием. Подключение устройств РСВВ к выделенному коммутатору Ethernet предотвращает использование ненужных протоколов и протоколов, способных нарушить работоспособность системы.

При использовании современных коммутаторов Industrial Ethernet с волоконно-оптическими

интерфейсами практически не существует ограничений на расстояние передачи, характерных для других детерминированных полевых шин. Использование в сети РСВВ многомодового волоконно-оптического кабеля допускает расстояние до 2 км между коммутаторами. При использовании одномодового волоконно-оптического кабеля допустимое расстояние > 20 км между коммутаторами является достаточным практически для любого промышленного приложения. В отличие от сети Profibus такие характеристики достигаются без снижения скорости. Дополнительный маршрутизатор, показанный на рис. 6, обеспечивает управляемый прямой доступ к устройствам РСВВ из ЛВС предприятия. Маршрутизатор не будет пропускать широковещательные рассылки из ЛВС предприятия. Кроме того, на нем можно сконфигурировать контроль доступа, чтобы ограничить круг лиц, имеющих доступ к сети РСВВ через маршрутизатор.

#### Заключение

Таким образом, кратко были рассмотрены два подхода к детерминизму сети Ethernet. Первый подход заключается в использовании сквозного полнодуплексного режима работы и настройке параметров коммутаторов Industrial Ethernet таким образом, чтобы ослабить влияние избыточных широковещательных рассылки, необязательных групповых рассылки и обрабатывать трафик программ автоматизации в соответствии с приоритетом. Это обеспечивает детерминизм с точностью до 1 мс практически во всех задачах автоматизации.

Второй подход заключается в использовании выделенной локальной сети РСВВ для детерминированного управления вводом/выводом в сети Ethernet. При минимальных дополнительных расходах этот подход позволяет сети Ethernet работать в автономной, контролируемой среде, обеспечивая ее детерминированное функционирование.

Благодаря этим возможностям проектирования и настройки сеть Ethernet обладает удивительной гибкостью по сравнению с другими, традиционно детерминированными полевыми шинами, без дополнительных ограничений и ухудшения характеристик. По мере снижения стоимости и расширения ассортимента предложений Ethernet превращается в наиболее предпочтительную промышленную сеть. Немного планирования, несколько функций настройки конфигурации коммутатора Industrial Ethernet – и сеть Ethernet готова к использованию в областях, которые в настоящее время обслуживаются специализированными полевыми шинами.

Контактный телефон (495) 777-99-90.  
[Http:// www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)