

## РЕЗЕРВИРОВАННЫЕ СЕТИ ETHERNET "ЖИВЬЕМ": ПРЕМУДРОСТИ В ПРИМЕРАХ

И.В. Лопухов (Компания ПРОСОФТ)

*Рассматриваются общие принципы построения отказоустойчивых промышленных сетей Ethernet на базе оборудования компании Hirschmann. Приведены примеры реализации отказоустойчивых сетевых решений на производственных предприятиях.*

Задача, решаемая сетью Ethernet промышленного предприятия, – комплексная и многоуровневая. Рассмотреть ее целиком в рамках одной статьи невозможно, однако подчеркнуть базовые аппаратные и программные принципы создания надежной среды передачи данных представляется реальным.

Адаптация сетей передачи данных стандарта IEEE 802.3 к жестким промышленным условиям привела к принципиально иному подходу в создании как аппаратных сетевых средств, так и протоколов передачи данных между ними. Так многопортовые стоечные коммутаторы, заполняющие офисные серверные комнаты, переключаясь в цех, сменились компактными 4...10-портовыми моделями, монтируемыми непосредственно среди прочей автоматики. Для интеграции с низкоуровневым оборудованием к стандартному TCP/IP добавился протокол Ethernet/IP, к знакомому стандарту Ethernet – PROFINET.

Появившийся в начале 90-х годов протокол резервирования сетей STP (Spanning Tree Protocol) и его усовершенствованная версия Rapid STP успешно прижились в промышленном Ethernet и с начала XXI века получили дальнейшее развитие в специализированных технологиях. На практике для построения промышленных сетей становится все более популярной топология типа "резервированное кольцо". От древовидных (из-за сходства с ветвями) структур, кольцевая отличается более высокой устойчивостью к сбоям, меньшим временем восстановления после разрыва соединения и относительно простой настройкой. Сети, построенные на этой технологии, легко масштабируются и могут одинаково успешно использоваться как в небольших сетях в 5...10 коммутаторов, так и в сетях крупных предприятий с числом коммутаторов, превышающим 1500 ед.

Для "живого" примера возьмем две упрощенные схемы сетей Ethernet промышленных предприятий, построенных на оборудовании одного из крупнейших мировых производителей – компании Hirschmann. Эти коммутаторы позволяют создавать надежные сети Ethernet и применяются даже в АСУТП атомных станций и военных объектов. 15-летний опыт компании Hirschmann вылился в создание оригинальных модульных конструкций коммутаторов и фирменных сетевых протоколов, отвечающих самым

высоким требованиям по доступности сети, обслуживающей ответственные ТП. В России Hirschmann имеет уже восьмилетнюю историю применения и поставляет свою продукцию через официального дилера – компанию ПРОСОФТ.

### Как машины делают машины

Автомобили, сделанные в Германии, популярны во всем мире. Неизменное качество и надежность немецких транспортных средств говорит о высоком технологическом и культурном уровне производящих предприятий. Например, завод концерна Volkswagen в г. Вульфбурге (Германия), построенный для пятого поколения линейки автомобилей Golf, практически полностью автоматизирован. Он не самый большой в мире, зато содержит крупнейшую производственную сеть, мощностью 2900 выпускаемых в день машин. При таком напряженном графике даже малейший простой оборудования несет серьезные убытки концерну.

Несомненно, система управления и мониторинга производственного процесса, в составе которой функционирует сеть передачи данных Ethernet, несет на себе большую ответственность по обеспечению бесперебойной работы производства. Главным требованием для сети, объединяющей около 8000 операторских точек и более 1000 роботов, кроме, конечно, надежности оборудования, – полное резервирование линий и узлов связи. Всего на площадь в 100 000 м<sup>2</sup> потребовалось около 1000 км оптического кабеля.

Дополнительными требованиями к коммутационному оборудованию сети являются: широкий температурный диапазон (до 70°C), повышенная защита от электромагнитных помех и вибраций (кузовные прессы, линия лазерной сварки), "горячая" замена узлов коммутационного оборудования.

Исходя из этих соображений, было выбрано оборудование фирмы Hirschmann. Номенклатура компании содержит линейку компактных модульных коммутаторов MICE с возможностью подбора строго определенного набора интерфейсов и возможностью резервирования как по портам, так и по питанию. Кроме этого, для объединения этих коммутаторов на уровне предприятия, существует также линейка стекируемых многопортовых коммутаторов MACH, интерфейсы которых также сконструированы на от-

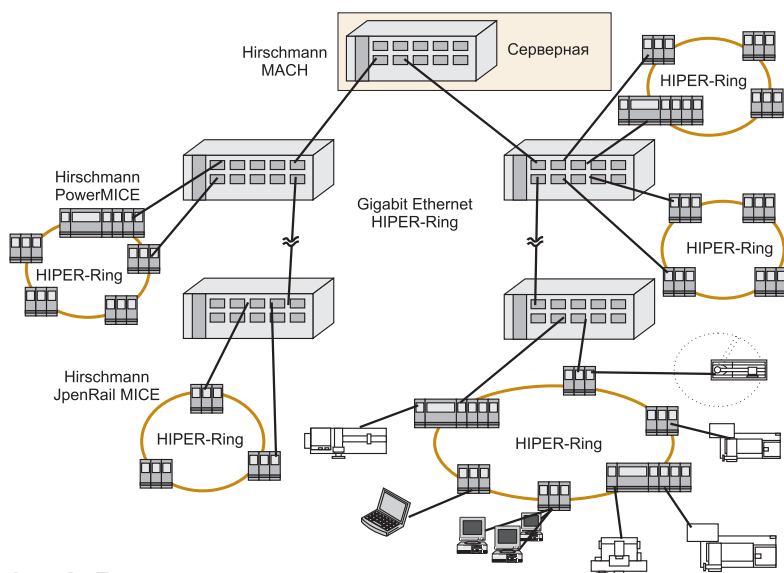


Рис. 1. Диаграмма отказоустойчивой сети Ethernet крупного автомобильного завода Volkswagen

дельных модулях. Модульный принцип позволил на порядок снизить затраты на обслуживание сети, так как в случае выхода из строя одного из интерфейсов соответствующий модуль может быть заменен без отключения всего коммутатора.

Схема сети Ethernet завода VW в упрощенном варианте представлена на рис. 1.

В центре схемы — резервированное "кольцо" Gigabit Ethernet, образованное коммутаторами третьего уровня Hirschmann MACH. В полном варианте схемы их 16 ед., в качестве среды передачи используется оптика. Данная "кольцевая" структура объединяет сегменты сети высокоскоростной магистралью, а также благодаря встроенным программным функциям коммутаторов выполняет маршрутизацию сетевого трафика. Используемая модель MACH 3000 позволяет при объединении в резервированное "кольцо" для активного и резервного порта использовать независимые интерфейсные модули, поддерживающие "горячую" замену. Таким образом, даже при отказе одного из мо-



Рис. 2. Промышленный модульный коммутатор Hirschmann PowerMice, установленный в производственном цеху

дулей связь восстановится автоматически в доли секунды, и модуль можно будет заменить без остановки коммутатора.

Технология резервированных соединений типа "кольцо", поддерживаемая коммутаторами Hirschmann — собственная разработка производителя, получившая название HIPER-Ring. Появившись в 2000 г., она на данный момент имеет множество клонов от сторонних производителей. Однако постоянное совершенствование помогает HIPER-Ring сохранять лидирующие позиции в плане быстродействия и доступности по сей день. Принцип ее действия напоминает унифицированный протокол RSTP, однако реализация более проста и понятна, а быстродействие на порядок выше. Объединяемые коммутаторы соединяются последовательно в кольцо, один из "братства кольца" выбирается ведущим (Redundancy manager).

Для предотвращения образования коллизии в сети один из двух портов ведущего блокируется для отправки трафика и работает только на прием. По основному порту коммутатор периодически отправляет тестовые пакеты и "слушает" их по заблокированному порту. Если посланный тестовый пакет не приходит на принимающий порт, то коммутатор задействует оба порта и соединение по обе стороны от предполагаемого разрыва в кольце восстанавливается. Время восстановления практически не зависит от числа коммутаторов в кольце и степени загрузки сети и составляет <200 мс (на сегодняшний момент это время для технологии Hirschmann Fast HIPER-Ring может составлять <10 мс).

Стоит отметить, что "кольцо" в отношении HIPER-Ring — понятие условное. Физически сегмент действительно замкнут и является кольцом, однако логически оно всегда остается разорванным с целью предотвращения коллизий.

Технология HIPER-Ring — ключевой элемент построения промышленной сети Ethernet для рассматриваемого объекта автоматизации. Кроме центрального кольца всего в сети завода VW присутствуют около 100 сегментов, пять из которых показаны на схеме. Сегменты образованы компактными коммутаторами Hirschmann MICE (рис. 2), модульный принцип которых позволил подобрать число и тип интерфейсов индивидуально под каждый производственный участок. Кроме того, интерфейсы для объединения в кольцо и для подключения периферийного оборудования находятся на разных модулях коммутатора, которые можно добавлять и менять в "горячем" режиме.

В сети Ethernet завода VW коммутаторы MICE представлены сериями MS20 и MS4128. Серия MS20 представляет собой управляемые модульные коммутаторы, имеющие базовый модуль с кросс-панелью и два слота для модулей расширения, что составляет до восьми портов Fast Ethernet соответственно. Серия MS4128 (рис. 2), называемая Power MICE, состоит из

управляемых коммутаторов II и III уровня модели OSI, имеющих до 24 портов Fast Ethernet и до четырех портов Gigabit Ethernet стандарта 1000BASE-TX или 1000BASE-SX. Коммутаторы III уровня дополнительно к традиционным функциям управления и диагностики предоставляют возможность создания списков доступа ACL и функции статической и динамической маршрутизации с поддержкой протоколов: RIP, VRRP, OSPF, IGMP V1/V2/V3, PIM-DM, DVMRP. Каждый модуль расширения для коммутаторов MICE имеет до четырех портов Fast или Gigabit Ethernet. Модули поддерживают медные интерфейсы с разъемом RJ-45, одно- и многомодовые оптические интерфейсы с разъемами SC и ST, универсальные оптические трансиверы SFP, а также комбинации вышеперечисленных интерфейсов. Благодаря специальным модулям с индексом RT возможно создание сегмента промышленной сети Ethernet, работающей в режиме PV, а к модулю PoE можно подключать, например Web-камеры, питаемые непосредственно по витой паре. Для некоторых модулей расширения доступен вариант с расширенным рабочим температурным диапазоном -40...85°C.

Модульный принцип не только повышает отказоустойчивость сети, но и значительно упрощает ее масштабирование и обслуживание.

Отдельным нюансом является резервированное соединение соседних "колец" HIPER-Ring. Соединение двух различных коммутаторов попарно с соседним сегментом называется Dual Holming. Аналогично принципу HIPER-Ring одно из соединений является резервным и заблокировано до потери связи через действующую линию. На данной схеме два коммутатора MICE из каждого кольца подключены к соседним модулям магистрального коммутатора MACH.

Таким образом, существующая сеть практически полностью имеет дублированную структуру и, учитывая надежность применяемого оборудования и соответствие его промышленным стандартам, высокий уровень отказоустойчивости. Сеть Ethernet целиком управляема по SNMP-протоколу с достаточно простыми методами удаленной настройки и диагностики (через Web-браузер или фирменное ПО Hirschmann HiVision), что в конечном счете предполагает значительную экономию сил и средств по ее мониторингу и обслуживанию.

**Высокие технологии – чистые технологии**

Охрана природы – важный аспект деятельности в век глобализации. В Европе это поняли давно, поэтому не жалеют средств на постройку и модернизацию очистных сооружений.

Завод очистных вод в г. Билефельд (Германия), нуждался в новой АСУТП, в состав которой должна

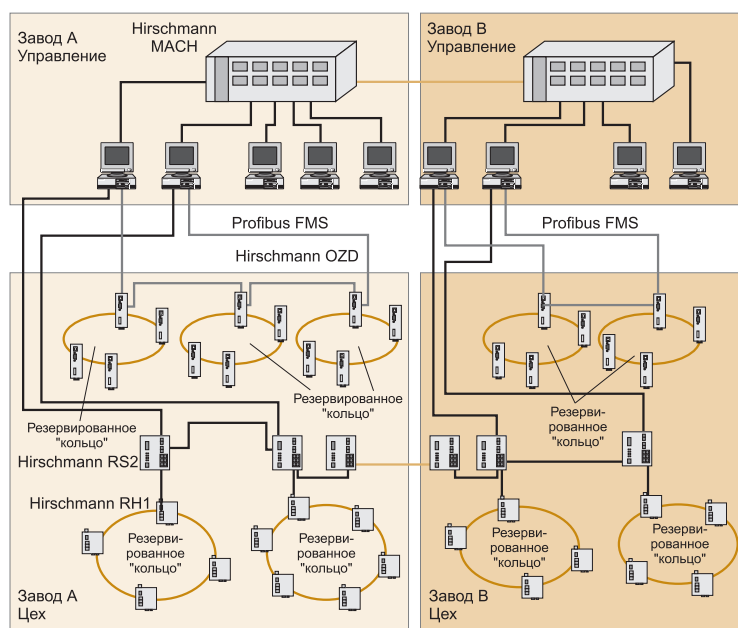


Рис. 3. Диаграмма комбинированной отказоустойчивой сети Ethernet / Profibus очистного сооружения

была войти сеть передачи данных Ethernet. Отдельным условием было сопряжение новой сети с имеющимся оборудованием, работающим по протоколу Profibus FMS. Сеть Ethernet должна была быть проложена непосредственно в промышленной зоне предприятия для объединения ПЛК с различными низкоуровневыми устройствами и локальными станциями мониторинга и управления, а также с сетью Ethernet административной части объекта. Существующую сеть Profibus FMS было решено модернизировать и выделить в отдельный сегмент сети.

Условия эксплуатации оборудования особенно в пределах промышленной зоны очистного завода трудно назвать идеальными. Это и перепады температуры от отрицательных до высоких положительных значений, и паразитные электромагнитные наводки от силовых кабелей.

Сам по себе объект представляет собой два здания значительной площади, удаленные друг от друга на расстояние чуть меньше 5 км. Очевидно, что основная часть линии связи должна была быть оптической с многомодовым оптоволокном внутри здания и одномодовым для соединения зданий между собой.

Требования по надежности сети передачи данных предполагали создание резервированной сети на основе топологии типа "кольцо" с дублированным соединением сегментов. Оптическая линия, связывающая оба здания на верхнем уровне сети, также должна быть дублирована аналогичным каналом, соединяющим сегменты сетей обоих производственных участков.

Получившаяся в итоге структура представлена на рис. 3. В административной части объекта проложена обычная витая пара 100BASE-Tx, и используется традиционная топология типа "звезда". Центральные коммутаторы представляют собой многопортовые ре-

зервируемые модульные модели, осуществляющие также маршрутизацию трафика на третьем уровне модели OSI. Четыре рабочие станции в обеих частях объекта являются шлюзами и попарно дублируют друг друга на случай выхода из строя одной из них. Сети Ethernet и Profibus FMS выделены в два больших сегмента и подключены попарно к шлюзам.

Первая из них представляет собой несколько резервированных оптических "колец" с технологией Hirschmann HIPER-Ring, объединяющих концентраторы с подключенными по витой паре ПЛК, а также системой видеонаблюдения. Эти резервированные сегменты соединены по витой паре последовательно через коммутаторы Fast Ethernet и с двух сторон подключены к основному и резервному шлюзам. Магистральная сеть на витой паре, объединяющая резервированные оптические "кольца" через отдельный шлюзовую коммутатор, соединена с аналогичной сетью второго здания. Таким образом, помимо надежности достигаются минимальные задержки в передаче критичных ко времени пакетов данных, собираемых с ПЛК.

Вторая подсеть с протоколом Profibus FMS также является комбинированной и служит для обмена только данными. Структура практически повторяет сеть Ethernet с той разницей, что резервированные оптические "кольца" образованы специальными оптоэлектрическими трансиверами и составляют единое адресное пространство без сегментирования. Соединяются они последовательно по интерфейсу RS-485 с подключением к ведущему и ведомому устройству, роль которых выполняют те же станции — шлюзы Ethernet.

Несмотря на смешанную топологию и комбинированную среду передачи, в плане аппаратного обеспечения удалось обойтись всего четырьмя линейками промышленного сетевого оборудования немецкого производителя Hirschmann. На верхнем уровне применены уже знакомые по предыдущему примеру магистральные коммутаторы III уровня Hirschmann MACH с наборами модулей для витой пары, одномодовой оптикой и резервированным питанием. Сеть Profibus FMS построена на оптоэлектрических трансиверах линейки Hirschmann OZD. Эти компактные устройства для монтажа на DIN-рейку имеют один электрический интерфейс с поддержкой протоколов Profibus DP V1/V2/V3, FMS и до двух оптических интерфейсов с возможностью построения резервированного кольца. Линейка

OZD имеет резервированное питание с гальванической изоляцией, сигнальным реле, а также расширенный температурный диапазон (-20...60°C).

Коммутаторы и концентраторы, используемые на нижнем уровне Ethernet, в современном модельном ряду Hirschmann представлены семейством OpenRail. Это управляемые компактные коммутаторы с числом портов 4 ...24 ед., часть из которых может быть оптической. По скорости передачи семейство разделено на три группы: RS20, RS30 и RS40. У коммутаторов первой серии все порты имеют скорость 100 Мбит, у серии RS30 магистральные порты (до трех оптических или медных) поддерживают скорость 1 Гбит/с, у коммутаторов серии RS40 все порты являются гигабитными, и часть портов RJ-45 дублируется оптическими портами типа SFP. Благодаря множеству возможных модификаций компактных коммутаторов конкретная модель четко подбирается под требования, что в случае масштабного проекта оптимизирует расходы, экономя на избыточных функциях устройства.

Построение новой сети Ethernet в совокупности с модернизацией имеющейся сети Profibus позволило вывести систему управления предприятием на качественно новый уровень. Благодаря применению оборудования фирмы Hirschmann удалось создать отказоустойчивую сеть Ethernet и Profibus с понятной и простой структурой и широкими возможностями удаленного мониторинга и управления.

"Живые" примеры — лучший способ рассмотреть принципы создания отказоустойчивых промышленных сетей Ethernet. Широкий модельный ряд Hirschmann позволил в обоих примерах оптимально сформировать аппаратный комплекс сети, а устойчивость оборудования к влияниям внешней среды позволила сократить расходы на защитные конструктивы при установке в производственных помещениях.

В статье рассмотрены иностранные промышленные предприятия, но в России с помощью продукции Hirschmann, поставляемой компанией ПРОСОФТ, тоже автоматизирован целый ряд объектов энергетики, атомной, газовой, а также военной промышленности. Конечно, до включения каждого коммутатора в сеть требуется его предварительная настройка, но в случае использования оборудования с технологией HIPER-Ring, она не составит особого труда и будет рассмотрена в следующей статье.

*Иван Владимирович Лопухов — инженер компании ПРОСОФТ.*

*Контактный телефон (495) 234-06-36. [Http://www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)*

#### "РТСофт" и General Electric Fanuc — официальные партнеры

В марте 2008 г. между ЗАО "РТСофт" и компанией GE Fanuc Intelligent Platforms заключено соглашение, по которому "РТСофт" становится официальным дистрибьютором GE Fanuc Intelligent Platforms в России. На протяжении многих лет компания "РТСофт" являлась партнером таких известных мировых производи-

телей в области встраиваемых компьютерных технологий, как Radstone, VMIC, Condor, RAMIX и др., вошедших ныне в состав GE Fanuc Intelligent Platforms. Благодаря работе по оптимизации каналов поставок, проведенной GE Fanuc Intelligent Platforms, "РТСофт" стал ее официальным партнером в России.

*[Http://www.rtssoft.ru](http://www.rtssoft.ru)*