

Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей

Раздел 6 Технологии глобальных сетей

Тема 34 Ethernet операторского класса.
Версии Ethernet операторского класса.
Технология EoMPLS. Ethernet поверх Ethernet.

Версии Ethernet операторского класса

Для того чтобы успешно работать в сетях операторов связи, технология Carrier Ethernet и воплощающее ее оборудование должны обладать определенным набором характеристик, среди которых, в первую очередь, нужно отметить надежность, отказоустойчивость, масштабируемость и управляемость. Эталоном такой технологии может служить технология **SDH**. Ethernet в своем классическом виде технологии локальной сети не готова стать технологией глобальных сетей.

Чтобы соперничать с SDH или MPLS, превратившись в технологию операторского класса, Ethernet надо улучшить свою функциональность, при этом наиболее важным является решение двух задач:

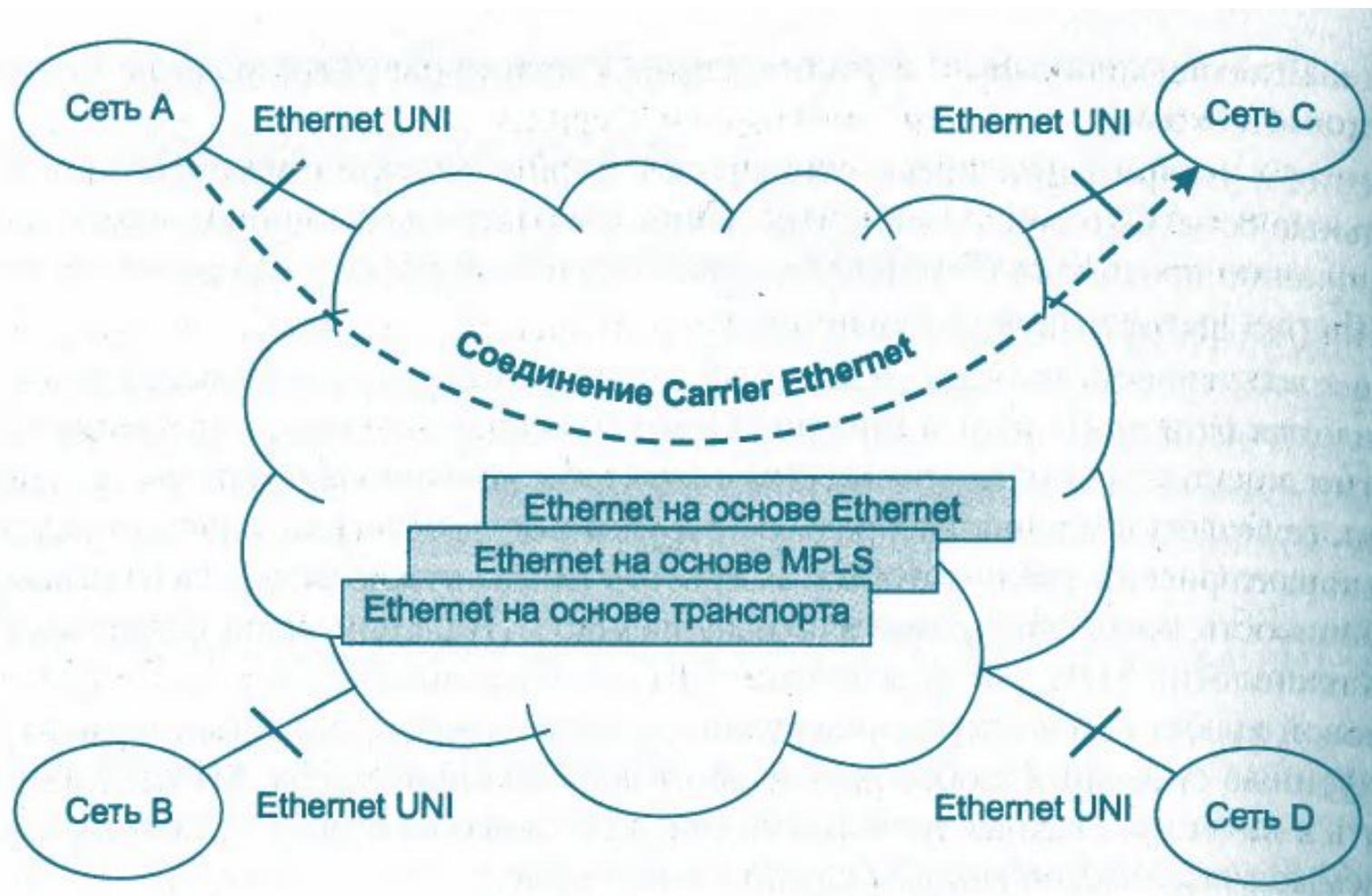
1. Эксплуатационные и административные характеристики должны поддерживаться протоколами администрирования и обеспечивать мониторинг состояния соединений, а также локализацию и устранение неисправностей.
2. Необходимо принципиально обеспечить изоляцию адресных пространств сети Ethernet провайдера от адресных пространств сетей Ethernet пользователей. Пространство MAC-адресов Ethernet является плоским, так что если сеть Ethernet провайдера соединить непосредственно (а не через маршрутизатор) с сетями Ethernet пользователей, то всем коммутаторам сети Ethernet провайдера придется иметь дело с MAC-адресами пользовательского оборудования, а у крупного провайдера их может насчитываться сотни тысяч.

Версии Ethernet операторского класса

Различные варианты реализации услуги

- Разработчики технологии глобальной Ethernet -пытаются решить обе задачи. Основное условие, которое должно быть выполнено, это: для пользователя глобальная услуга Ethernet всегда предоставляется с помощью набора стандартных интерфейсов Ethernet (Ethernet UNI) на каналах доступа к сети провайдера.
- Эти интерфейсы поддерживают одну из спецификаций Ethernet физического уровня, например 100Base-FX или 1000Base-LX, а также стандартные кадры Ethernet. Кроме того, существует некоторое описание услуги, которое определяет ее основные параметры, такие как топологию взаимодействия сетей пользователей (например, двухточечную, как показано на рисунке, звездообразную или полносвязную), пропускную способность логического соединения или же гарантированный уровень качества обслуживания кадров.

Версии Ethernet операторского класса



□ Рис. 6-34.1. Различные варианты реализации услуги Carrier Ethernet

Версии Ethernet операторского класса

- Однако внутренняя организация такой услуги в пределах сети разных провайдеров может отличаться значительно
- Сегодня можно выделить три основных варианта подобной организации в зависимости от используемой внутренней транспортной технологии.
- **Ethernet поверх MPLS** (Ethernet over MPLS, EoMPLS). В этом случае MPLS-туннели используются как основной транспортный механизм провайдера, позволяющий эмулировать услугу Ethernet для клиентов. Технология MPLS зрелая технология с более чем 10-летней историей, обладает необходимыми качествами для операторов связи, а именно:
 - поддержка детерминированных маршрутов;
 - наличие механизма быстрой перемаршрутизации, обеспечивающего быстрое (сравнимое с SDH) переключение с основного маршрута на резервный;
 - развитые средства контроля работоспособности соединений.
- Сегодня данный подход является одним из самых распространенных при реализации услуги Ethernet VPN в сетях операторов связи.

Версии Ethernet операторского класса

- ▣ **Ethernet поверх Ethernet** (Ethernet over Ethernet), или **транспорт Ethernet операторского класса** (Carrier Ethernet Transport, CET). Этот вариант оказания глобальной услуги Ethernet основан на использовании в сети провайдера улучшенной версии Ethernet.
- ▣ Усилия разработчиков технологии CET и услуг на ее основе стандартизует комитет 802 IEEE. Здесь технология Ethernet не только видна потребителям услуг извне, но и работает внутри сети провайдера, т.е. функционирует как транспортная технология провайдера.
- ▣ Для любой пакетной технологии не просто приблизиться к функциональности SDH, а для Ethernet это сделать сложнее, чем, скажем, для MPLS, так как Ethernet изначально была задумана как дейтаграммная технология с минимумом функций. Тем не менее, прогресс в этой области наблюдается.
- ▣ **Ethernet поверх транспорта** (Ethernet over Transport, EOT). Это наиболее традиционный для оператора связи вариант организации, так как под транспортом здесь понимается транспорт, основанный на технике коммутации каналов, которая всегда использовалась для создания первичных сетей операторов, то есть транспорт PDH, SDH или OTN. Для того чтобы эмулировать услуги Ethernet, необходимы некоторые надстройки над базовыми стандартами этих технологий, стандартизацией таких надстроек занимается ITU-T. International Telecommunication Union - Telecommunication sector (сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи)

Версии Ethernet операторского класса

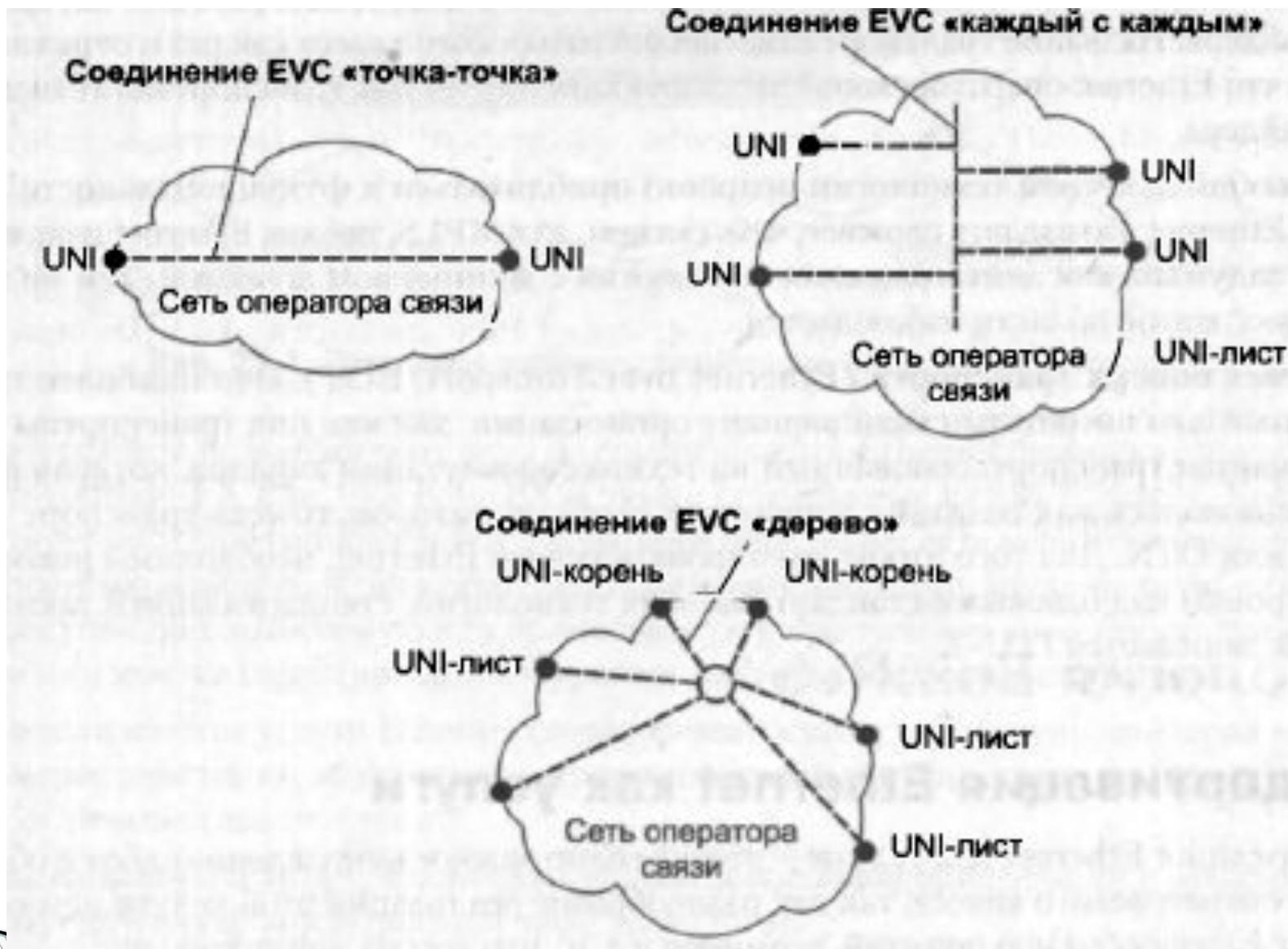


Рис. 6-34.2. Три типа услуг Ethernet

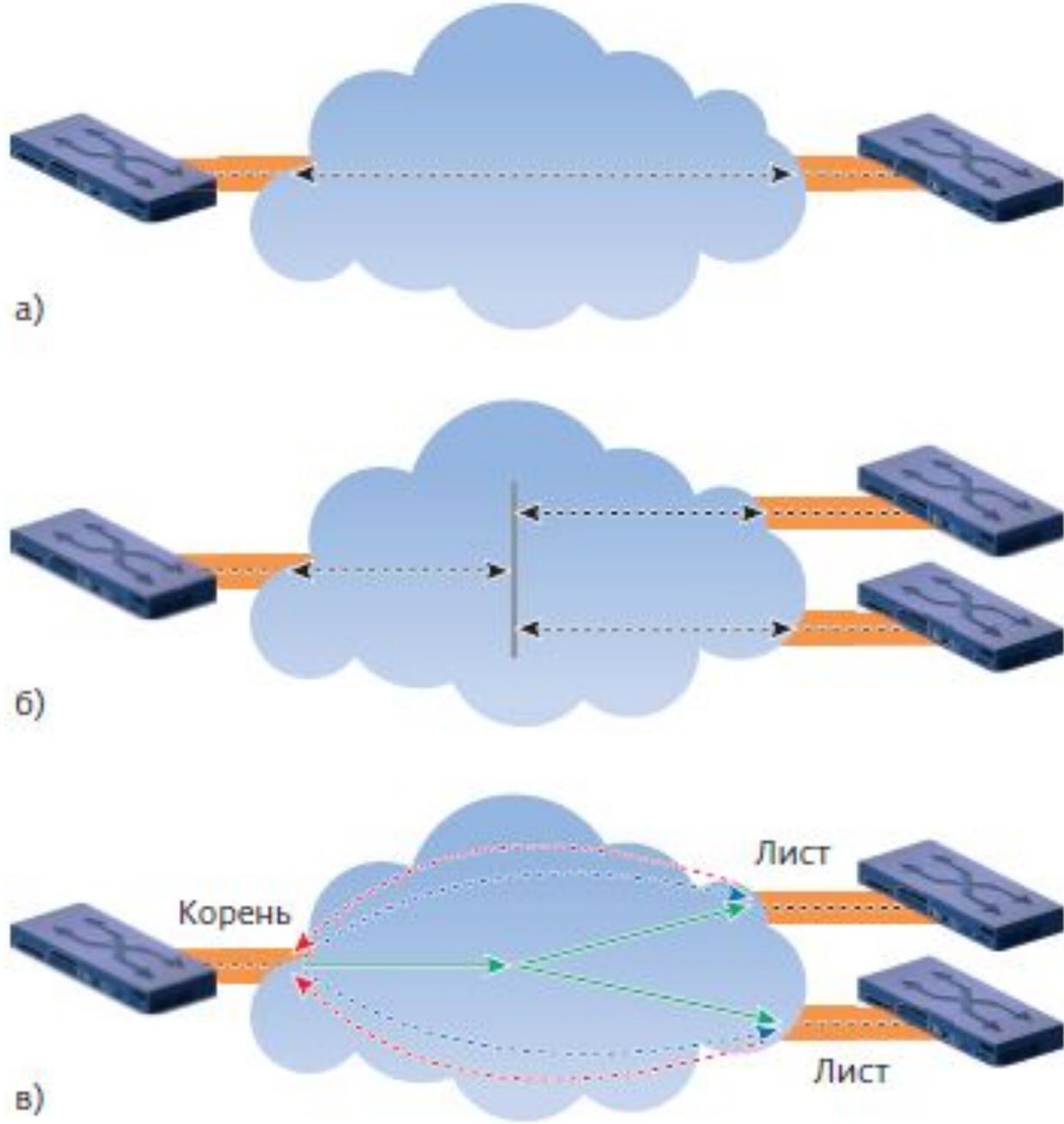


Рис.6-34.3. Возможные топологии EVC:

А) - точка-точка (E-Line);

Б) - многоточка-многоточка (E-LAN);

В) - точка-многоточка (E-Tree)

Версии Ethernet операторского класса

- В зависимости от типа используемого соединения различаются и типы услуг:
- **E-LINE**- услуга связывает только два пользовательских сайта через двухточечное EVC-соединение - соответствует услуге выделенной линии.
- **E-LAN**- услуга аналогична услуге локальной сети, так как она позволяет связать неограниченное число пользовательских сайтов таким образом, что каждый сайт может взаимодействовать с каждым. При этом соблюдается логика работы локальной сети — кадры Ethernet с неизученными и ширококвещательными MAC- адресами передаются всем сайтам, а кадры с изученными уникальными MAC- адресами — только тому сайту, в котором находится конечный узел с данным адресом.
- **E-TREE**- в локальных сетях ей аналога нет. Пользовательские сайты делятся на корневые и листовые. Листовые сайты могут взаимодействовать только с корневыми, но не между собой. Корневые сайты могут взаимодействовать друг с другом.
- Кроме того, в спецификациях **MEF** вводятся два варианта каждого типа услуги и использует термины «частная услуга» и «виртуальная частная услуга».
- Они классифицируются по двум признакам: топологии виртуальных соединений и тем, как происходит идентификация: физически на основе порта или логически на основе виртуальной сети (Virtual LAN, VLAN). Благодаря VLAN в пользовательском оборудовании достаточно одного физического порта для нескольких виртуальных соединений.

Версии Ethernet операторского класса

- В первом варианте пользовательский сайт определяется как сеть, подключенная к отдельному физическому интерфейсу UNI. Значения идентификаторов VLAN в пользовательских кадрах в расчет не принимаются. В названии этого варианта услуги к названию типа добавляется термин «частный» (private), например, для услуги типа E-LINE этот вариант называют частной линией Ethernet (Ethernet Private Line, EPL).
- В другом варианте услуги к одному и тому же физическому интерфейсу UNI могут быть подключены различные пользовательские сайты. В этом случае они различаются по значению идентификатора VLAN. Другими словами, провайдер внутри своей сети сохраняет деление локальной сети на VLAN, сделанное пользователем. В варианте услуги с учетом VLAN добавляется название «виртуальная частная», например, для услуги типа E-LINE это будет виртуальная частная линия Ethernet (Ethernet Virtual Private Line, EVPL).
- Помимо указанных определений услуг, спецификации MEF стандартизуют некоторые важные параметры услуг, например, услуга может характеризоваться гарантированным уровнем пропускной способности соединения, а также гарантированными параметрами QoS.
- Терминология MEF постепенно набирает приверженцев в мире.

Технология EoMPLS

Псевдоканалы

- Стандарты IETF описывают два типа услуг Ethernet операторского класса, которые строятся с помощью технологии MPLS: VPWS (Virtual Private Wire Service- Виртуальный частный проводной сервис в данном случае wire эквивалентен LINE) и VPLS (Virtual Private LAN Service).
- Если использовать терминологию MEF, то услуга VPLS соответствует услуге E-LAN - обеспечивает соединения с полносвязной топологией, а услуга VPWS — услуге E-LINE - эмулирует соединение Ethernet с двухточечной топологией. При этом стандарты IETF описывают оба варианта услуг, как с учетом идентификаторов VLAN пользователя, так и без.
- Обе услуги являются услугами MPLS VPN второго уровня (MPLS L2VPN), так как они позволяют предоставлять услуги VPN, взаимодействуя с пользовательскими сетями на втором уровне. В этом их отличие от услуг MPLS L3VPN.
- Услуги VPLS и VPWS реализуется провайдером с помощью особого типа путей LSP в сети MPLS, **называемых псевдоканалами. Псевдоканалы (pseudowire) образуют логические соединения между пограничными маршрутизаторами провайдера**
- На рис. 6-34.5 показано три таких псевдоканала, соединяющих между собой пограничные маршрутизаторы PE1-PE4.

Технология EoMPLS

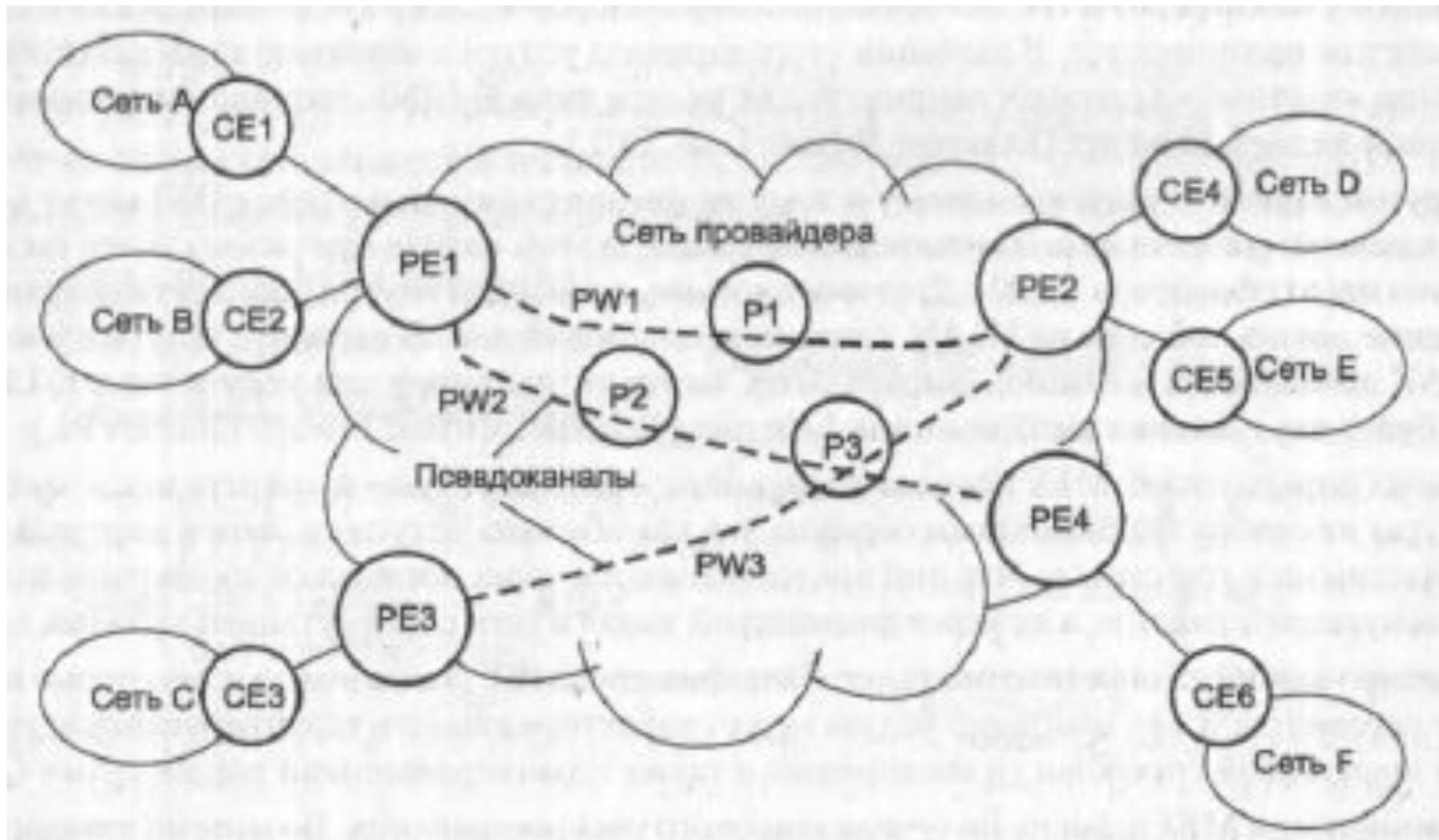


Рис. 6-34.5. Псевдоканалы в сети провайдера

Технология EoMPLS

- Псевдоканалы представляют собой пути LSP второго уровня иерархии (называемого также внутренним уровнем), проложенным внутри LSP первого (внешнего) уровня - обычно TE-туннели MPLS. На [Рис. 6-34.5](#) пути LSP первого уровня не показаны.
- Псевдоканалы — это логические транспортные соединения, физически они могут проходить через промежуточные магистральные маршрутизаторы, однако для них они прозрачны, то есть в нашем примере маршрутизаторы P1, P2 и P3 просто не замечают их существование в сети.
- **Псевдоканал** — это механизм, который **эмулирует существенные свойства** какого-либо телекоммуникационного сервиса через сеть с коммуникацией пакетов.
- Из определения, данного в RFC 3985, видно, что назначение псевдоканала шире эмуляции Ethernet — это может быть и эмуляции сервисов выделенных каналов технологий PDH или SDH, и эмуляция виртуальных каналов ATM или Frame Relay; однако в любом случае эмуляция такой услуги выполняется через *пакетную сеть*.

Технология EoMPLS

- Один из вариантов применения псевдоканалов при эмуляции услуг Ethernet – это передача трафика одного пользовательского соединения. В примере на [Рис. 6-34.5](#) псевдоканал PW2 служит для организации соединения между сетями *A* и *F* через сеть провайдера. При этом псевдоканал эмулирует кабельное соединение между сетями пользователей. Кадры Ethernet, отправляемые сетью *A* в сеть *F*, инкапсулируются пограничным маршрутизатором PE1 в данные псевдоканала и доставляются им пограничному маршрутизатору PE4, который извлекает эти кадры и отправляет их в сеть *F* в первоначальном виде.
- Технически создать LSP второго уровня достаточно просто — для этого маршрутизаторам, соединенным LSP первого уровня, нужно оговорить значение метки второго уровня, которое будет использоваться, чтобы различать LSP второго уровня внутри LSP первого уровня. Этот процесс иллюстрируется [Рис. 6-34.6](#). На нем изображены два пограничных маршрутизатора PE1 и PE2, соединенные псевдоканалом PE57. Однако двухточечные псевдоканалы, которые эмулируют Ethernet всегда являются двунаправленными, а в MPLS LSP — это однонаправленный путь. Поэтому для создания двунаправленного псевдоканала требуется два однонаправленных пути второго уровня, вложенных в два однонаправленных пути первого уровня, что и показано на рисунке [6-34.6](#).

Технология EoMPLS

- Рассматриваемый в нашем примере псевдоканал в направлении от PE1 к PE2 идентифицируется меткой 57, а туннель, который использует этот канал, — меткой 102. Поэтому при отправке кадра Ethernet, предназначенного для PE2, маршрутизатор PE1 помещает исходный кадр Ethernet в кадр MPLS и адресует этот кадр двумя метками: внешней меткой 102 и внутренней меткой 57. Внешняя метка применяется затем магистральными маршрутизаторами P1, P2 и P3 для того, чтобы доставить кадр пограничному маршрутизатору PE2, при этом в процессе передачи кадра происходит обычная коммутация по меткам (на рисунке показано, что после прохождения P1 внешняя метка получила значение 161). Внутренняя метка 57 требуется только пограничному маршрутизатору PE2, который знает, что эта метка соответствует псевдоканалу PW57, который нужен для связи с некоторой пользовательской сетью.

Технология EoMPLS

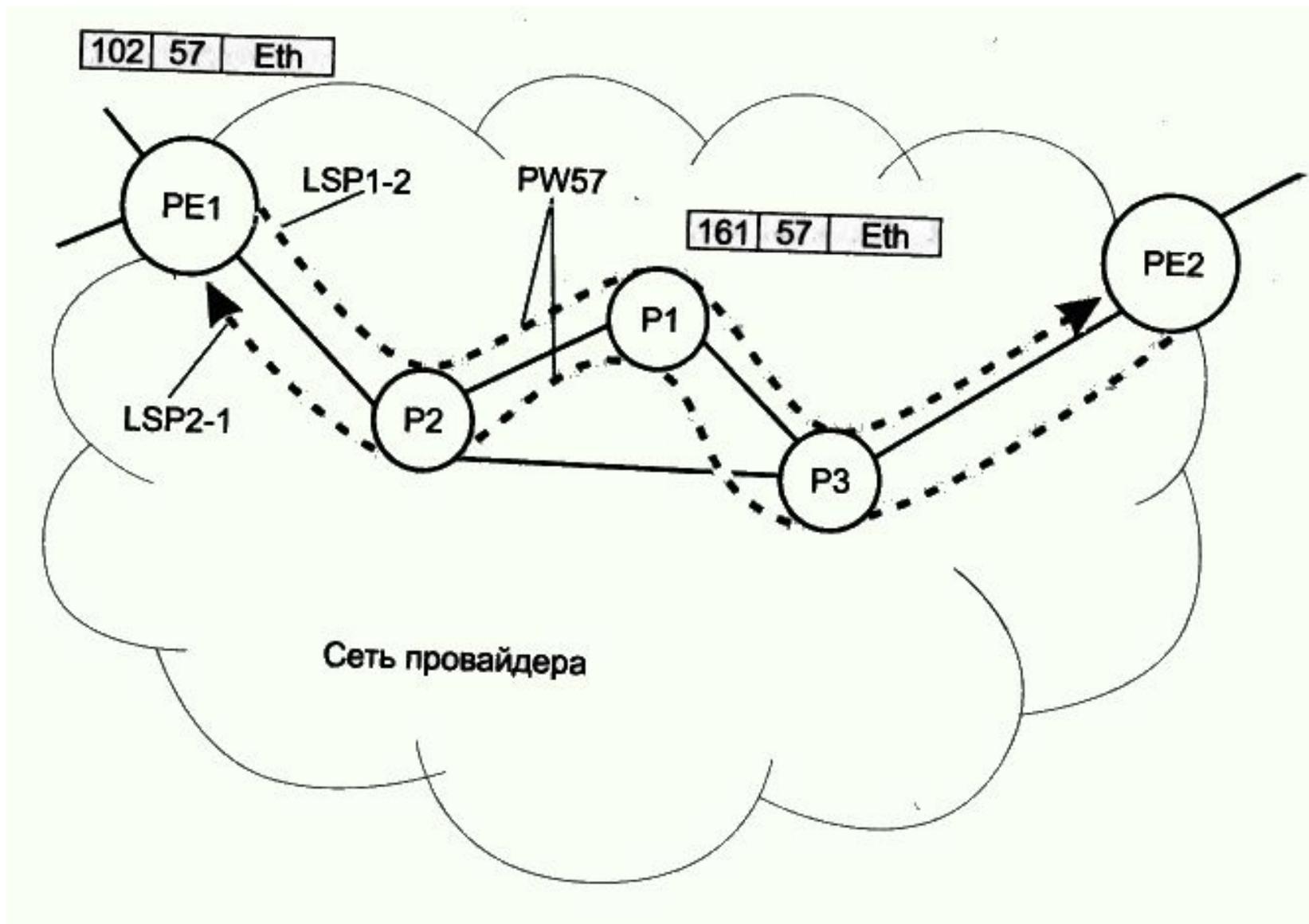


Рис. 6-34.6. Создание псевдоканала внутри туннелей MPLS

Технология EoMPLS

- Нельзя ли просто обойтись LSP первого уровня для передачи трафика Ethernet через сеть провайдера? В принципе, без псевдоканалов обойтись можно, но тогда для каждого нового пользовательского соединения пришлось бы создавать новый туннель (то есть LSP первого уровня), а это не очень масштабируемое решение, так как конфигурирование такого пути обязательно включает конфигурирование всех магистральных маршрутизаторов сети. Поэтому одно из существенных преимуществ псевдоканалов состоит в том, что в сети провайдера нужно сконфигурировать только сравнительно небольшое число туннелей между пограничными маршрутизаторами, а затем использовать каждый из них для прокладки необходимого числа псевдоканалов. Создание нового псевдоканала также требует конфигурирования, но только пары пограничных маршрутизаторов, которые являются конечными точками псевдоканала, а это подразумевает гораздо меньший объем работы.
- Другим преимуществом псевдоканалов является их универсальность, то есть возможность их применения не только в сетях MPLS, но и в сетях других типов, например в «чистых» IP-сетях с туннелированием по протоколу L2TP, и не только при эмуляции Ethernet, но и при эмуляции других сервисов, например каналов PDH. Естественно, что при переходе к другой реализации псевдоканалов конкретные команды конфигурирования меняются, но концепция остается, и это помогает администраторам сети освоить новую технологию.

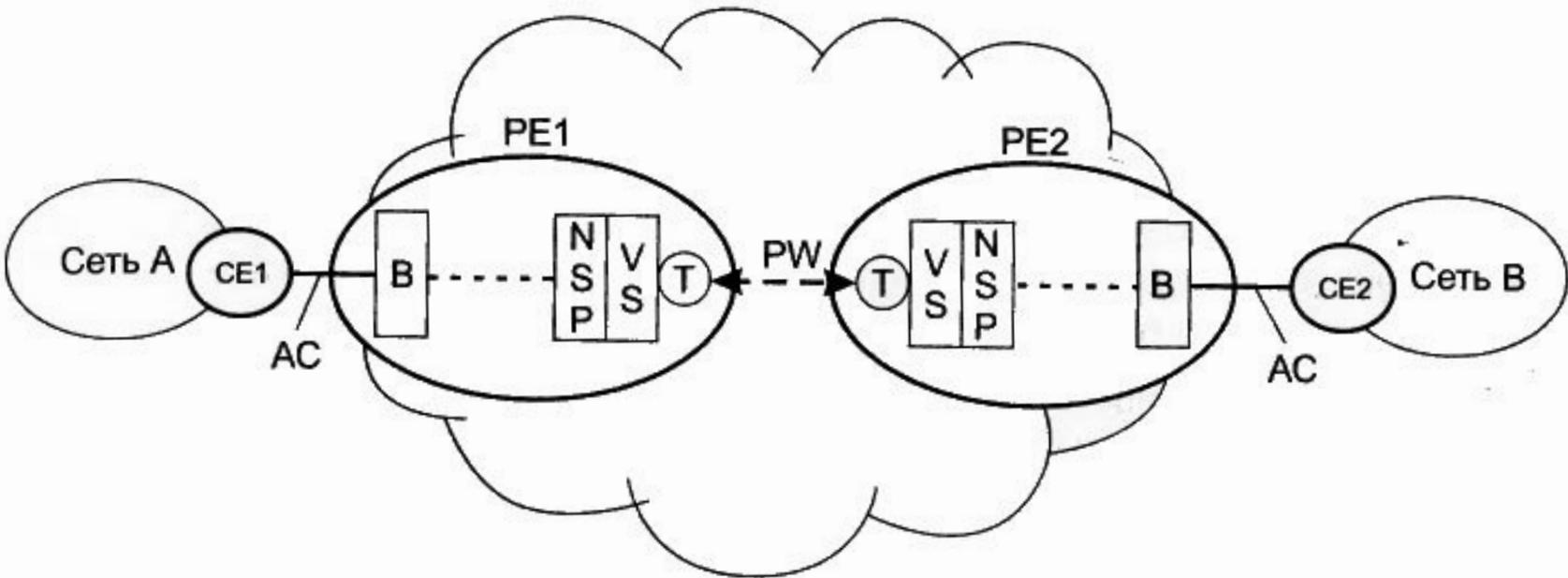
Технология EoMPLS

- Чаще всего пользовательские сети соединяют с пограничным маршрутизатором провайдера через выделенный интерфейс, который для глобальных услуг Ethernet должен быть стандартным интерфейсом Ethernet, например 100Base-FX.
- В этом случае для услуги VPWS соединение этих интерфейсов прозрачно, т.е. сеть провайдера передает все кадры, которые поступают на такой интерфейс от сети пользователя. Иногда этот режим VPWS называют коммутацией портов пользователя.
- Для услуги VPWS, когда сеть провайдера соединяет виртуальные пользовательские сети, - по двухточечному соединению передаются не все кадры, поступающие через интерфейс пользователя, а только кадры, принадлежащие определенной сети VLAN. Этот режим работы VPWS можно назвать коммутацией виртуальных локальных сетей, или VLAN-коммутацией.

Технология EoMPLS

Услуги VPWS

- Услуги виртуальных частных каналов (Virtual Private Wire Service, VPWS) исполняют роль «глобального кабеля», соединяя прозрачным образом две локальных пользовательских сети Ethernet через сеть оператора связи.
- Рассмотрим организацию такой услуги с помощью псевдоканалов MPLS (Рис. 6-34.7).



□ Рис. 6-34.7. Организация виртуального частного канала Ethernet

Технология EoMPLS

- Для того чтобы обобщить понятие интерфейса с пользователем, форум IETF ввел термин **канала присоединения** (Attachment Circuit, AC). AC поставляет входной поток пользовательских данных для сети провайдера, то есть ту нагрузку, которую нужно коммутировать. Употребляя этот термин, можно сказать, что услуга VPWS всегда соединяет два пользовательских канала присоединения, два AC; такое определение справедливо не только для услуг Ethernet, но и для услуг, например, Frame Relay или ATM.
- На рисунке показаны также внутренние функциональные элементы пограничных маршрутизаторов PE1 и PE2, которые эмулируют услуги VPWS вместе с псевдоканалом PW57.
- Модуль **B** (от Bridge — мост) работает по стандартному алгоритму IEEE 802.1D. Его роль в схеме эмуляции — выделение кадров Ethernet из общих потоков, поступающих на порты маршрутизатора, для передачи в псевдоканал. Тем самым модуль моста формирует логический интерфейс виртуального коммутатора. Например, если это режим коммутации портов, то модуль моста конфигурируется так, чтобы все кадры, пришедшие на соответствующий порт от пользователя, направлялись для дальнейшей обработки в псевдоканал. Если же это VLAN-коммутация, то модуль моста выбирает для передачи псевдоканалу только кадры, помеченные определенным значением тега VLAN.

Технология EoMPLS

- Выбранные модулем моста кадры поступают в псевдоканал не непосредственно, а через два промежуточных модуля — NSP и VS. Модуль NSP (Native Service Processing) обеспечивает предварительную обработку кадров Ethernet. Чаще всего такая обработка связана с изменением или добавлением тега VLAN, что может потребоваться, например, если объединяемые пользовательские сети применяют различные значения VLAN для одной и той же виртуальной сети. Модуль VS (Virtual Switch — виртуальный коммутатор) коммутирует один из каналов присоединения с одним из псевдоканалов. Для услуги VPWS этот модуль работает «вхолостую», выполняя постоянную коммутацию единственного канала присоединения с единственным псевдоканалом. Однако для услуги VPLS, которая рассматривается далее, виртуальный коммутатор играет важную роль, поэтому в обобщенной схеме эмуляции услуг Ethernet, представленной на Рис. 6-34.7, он присутствует.
- После обработки пришедшего кадра модулями NSP и VS он передается псевдоканалу.
- Конечные точки T псевдоканала PW57 выполняют две операции:
 - инкапсуляцию и декапсуляцию пользовательских кадров в кадры MPLS;
 - мультиплексирование и демultipлексирование псевдоканалов в туннеле MPLS.

Технология EoMPLS

- В то время как первое два слова в заголовке, представленном на рисунке, являются стандартными заголовками MPLS, третье слово, называемое управляющим (control word), впервые появилось в стандарте RFC 4448. Это слово, которое является опциональным, предназначено для упорядочивания кадров, передаваемых по псевдоканалу — для этого каждому кадру маршрутизатором-отправителем присваивается порядковый номер, который помещается в управляющее слово. Потребность в контрольном слове возникает тогда, когда внутри сети провайдера происходит распараллеливание трафика туннеля, и кадры могут выходить из туннеля не в том порядке, в котором были посланы.
- Конфигурирование псевдоканалов, то есть согласование внутренних меток, используемых для идентификации и мультиплексирования псевдоканалов внутри туннеля, может быть автоматизировано. Для этого сегодня применяют протокол LDP или BGP. Обратите внимание, что речь идет о прокладке псевдоканала, а не самого туннеля, эти два процесса независимы, так что туннель может быть проложен, например, с помощью протокола RSVP TE, а псевдоканалы в нем — с помощью протокола LDP.

Технология EoMPLS

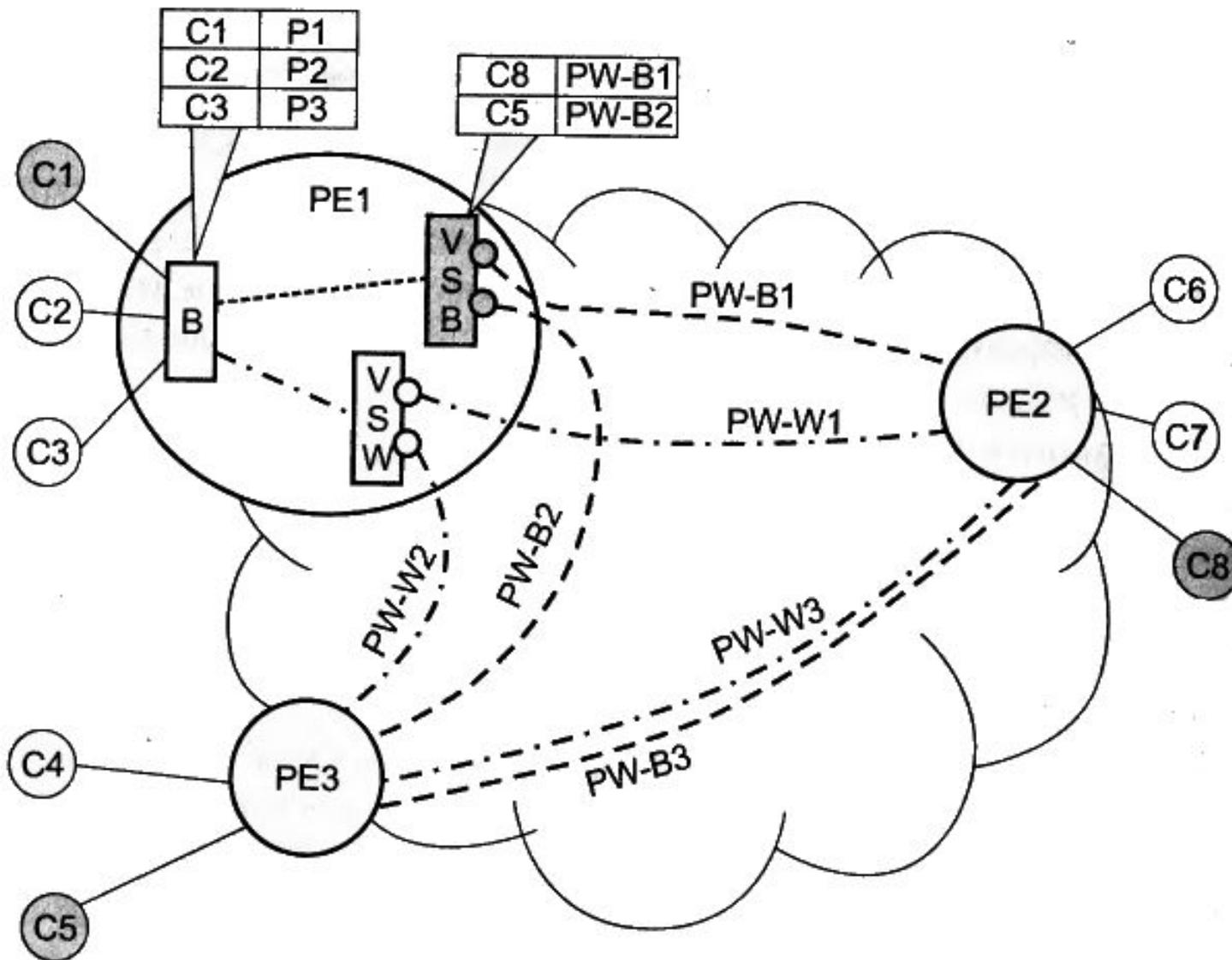
- Протокол LDP служит также для уведомления одним маршрутизатором PE другого об изменении состояния «работоспособен - неработоспособен» псевдоканала или канала присоединения. Это очень полезное свойство, так как без него удаленный маршрутизатор PE не узнает об отказе непосредственно не присоединенных к нему отрезков эмулируемого транспортного соединения и будет пытаться его использовать, посылая данные. Протокол LDP позволяет в случае такого отказа отозвать метку, ранее назначенную псевдоканалу.
- Параметрами качества обслуживания (QoS) для виртуальных соединений VPWS —могут быть обеспечены с помощью стандартных механизмов QoS, таких как, например, приоритетное обслуживание, профилирование трафика, контроль доступа и резервирование ресурсов, опирающейся в данном случае на соответствующие свойства туннелей MPLS. Аналогично обеспечивается гарантированная пропускная способность с техники инжиниринга трафика, опирающейся в данном случае на соответствующие свойства туннелей MPLS.
- MPLS делает контроль доступа намного более определенной процедурой, чем в случае IP-сетей с их распределенным (и вносящим неопределенность) механизмом выбора маршрутов.

Технология EoMPLS

Услуги VPLS

- Услуги виртуальной частной локальной сети (Virtual Private LAN Service, VPLS) описаны в спецификациях RFC 4761 (<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4761.txt>) и RFC 4762 (<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4762.txt>).
- Услуги VPLS соответствуют определению услуг E-LAN MEF, причем как варианту с учетом идентификаторов VLAN пользователей, так и варианту без их учета.
- Так же как и в случае VPWS, сервис VPLS организован на базе псевдоканалов. Отличие заключается в том, что для каждого экземпляра VPLS используется собственный набор псевдоканалов. При этом каждый такой набор имеет полносвязную топологию, то есть все пограничные маршрутизаторы PE, участвующие в работе какого-то экземпляра VPLS, связаны друг с другом.
- На рис. [6-34.9](#) показан пример сети провайдера, эмулирующей два сервиса VPLS. Пользовательские сети C1, C5 и C8 относятся к «серому» сервису VPLS, а сети C2, C3, C4, C6 и C7 — к «белому». Соответственно, набор псевдоканалов PW-B1, PW-B2 и PW-B3 объединяет пограничные маршрутизаторы, к которым подключены сети «серого» сервиса VPLS, а набор псевдоканалов PW-W1, PW-W2 и PW-W3 — маршрутизаторы, к которым подключены сети «белого» сервиса VPLS (в нашем примере это одни и те же пограничные маршрутизаторы PE1, PE2 и PE3, но если бы, например, сети C4 не существовало, то псевдоканалы PW-W2 и PW-W3 были бы не нужны). (B1, B2, B3 - Black) и (W1, W2, W3-white).

Технология EoMPLS



□ Рис. 6-34.9. Организация услуги VPLS

Технология EoMPLS

- Внутренняя организация пограничного маршрутизатора при оказании услуги VPLS показана на примере маршрутизатора PE1. Мы видим, что для поддержки каждого экземпляра сервиса VPLS пограничному маршрутизатору требуется отдельный виртуальный коммутатор, в данном случае это модули VPB и VPW (модули NSP не показаны, чтобы не загромождать рисунок, но они в PE1 входят, по одному на каждый экземпляр VPLS).
- Как и в случае VPWS, модуль *B* выполняет стандартные функции моста и при этом формирует логический интерфейс с каждым из виртуальных коммутаторов. Этот интерфейс может также формироваться на основе коммутации либо пользовательских портов, когда весь трафик от определенного порта (или нескольких портов) передается на логический интерфейс, либо сетей VLAN, когда выбираются кадры одной или нескольких пользовательских сетей VLAN от одного или нескольких портов.
- Однако если в случае VPWS виртуальный коммутатор выполнял простую работу по передаче кадров от логического интерфейса, то для VPLS этот модуль функционирует по алгоритму стандартного коммутатора (моста). Для этого виртуальный коммутатор изучает MAC-адреса и строит свою таблицу продвижения, как и обычный коммутатор.

Технология EoMPLS

- На рисунке показан упрощенный вид таблицы продвижения PE1, состоящей из двух записей: одна запись связывает адрес M8 сети C8 с псевдоканалом PW-B1, другая — адрес M5 сети C5 с псевдоканалом PW-B2. Пользуясь такой таблицей, виртуальный коммутатор не затапливает сеть, получая кадры с адресами M5 или M8, а направляет их в псевдоканал, ведущий к пограничному коммутатору, к которому подключена сеть с узлом назначения. Кадры с широковещательным адресом или адресом, отсутствующим в таблице продвижения, поступают на все его псевдоканалы, в данном случае — на PW-B1 и PW-W1.
- Единственной особенностью виртуального коммутатора является то, что он не изучает адреса отправления кадров, приходящих с логического интерфейса. Это не требуется, потому что для интерфейсов, представленных псевдоканалами, виртуальный коммутатор работает по правилу расщепления горизонта (split horizon) — он никогда не передает на псевдоканалы кадры, полученные от какого бы то ни было псевдоканала. Тем самым предотвращается образование петель между виртуальными коммутаторами, а доставку кадров по назначению гарантирует полносвязная топология. То есть любой кадр, полученный виртуальным коммутатором по псевдоканалу, всегда передается на логический интерфейс, соответствующий тому сервису VPLS, к которому относится псевдоканал.

Технология EoMPLS

- Модуль моста *B* изучает только адреса, приходящие с пользовательских интерфейсов. Они служат ему для выбора нужного интерфейса в том случае, когда несколько пользовательских сетей относятся к одному сервису VPLS.
- Конфигурирование PE может оказаться трудоемким занятием, так как в случае *N* пограничных коммутаторов нужно создать $N(N - 1)/2$ псевдоканалов. Кроме того, добавление любого нового устройства PE требует переконфигурирования всех остальных коммутаторов. Для автоматизации этих процедур можно использовать вариант организации VPLS, описанный в RFC 4761, так как он предусматривает применение для этой цели протокола BGP. Вариант VPLS, описанный в RFC 4762, подразумевает распределение меток второго уровня иерархии с помощью протокола LDP, автоматизацию процедур конфигурирования он не поддерживает.

Список использованных источников

- В.Г. Олифер, Н.А. Олифер Компьютерные сети, 3-е издание, 2009г.