

Описание протокола ERPS

Версия документа: 1.0

АО «ЭЛКУС»

2018

Аннотация

Настоящий документ предназначен для использования сетевыми администраторами, в процессе эксплуатации управляемых Ethernet-коммутаторов производства АО «Элкус», поддерживающих протокол ERPS.

Оглавление

1 Используемые сокращения, определения.....	5
2 Общая информация о протоколе. Принцип работы	6
2.1 Основные понятия	6
2.2 Настройки протокола	6
2.3 Используемый стандарт	7
2.4 Используемые механизмы	7
2.5 Общий принцип работы	7
2.6 Время восстановления соединения	8
2.7 Пример топологии с одним кольцом	10
2.8 Состояния кольца. Последовательность работы	12
3 Описание R-APS пакетов	14
4 Таймеры	15
5 Использование неуправляемых коммутаторов и коммутаторов без поддержки ERPS	16
6 Настройка протокола ERPS.....	17
6.1 Настройка соединения основного кольца и подкольца	18
6.1.1 Создание R-APS VLAN	19
6.1.2 Создание колец.....	20
6.1.3 Установка портов кольца	21
6.1.4 Параметр RPL role.....	22
6.1.5 Параметр Protected VLANs	24
6.1.6 Параметр Revertive mode.....	25
6.1.7 Параметр No Virtual channel	26
6.1.8 Параметр RAPS version	27
6.1.9 Параметр Ring type	28
6.1.10 Параметр ring MEL	29
6.1.11 Настройка таймеров.....	30
6.1.12 Настройка соединения колец.....	31
6.1.13 Параметр TC propagation.....	32
6.1.14 Включение колец и глобальное включение	33
7 Использование виртуального канала при соединении колец	34
7.1 Вариант с виртуальным каналом	35
7.2 Вариант без виртуального канала	36
8 Проверки значений переменных протокола	37
8.1 Проверки диапазонов значений.....	38
8.2 Проверки конфликтов в работе кольца	38
8.3 Проверки конфликтов соединения колец.....	39
8.4 Проверки операций пользователя	40
8.5 Проверки при сохранении конфигурации.	41
9 Администрирование протокола ERPS	42
9.1 Настройка топологии сети	43

9.2 Информация о состоянии протокола	44
9.3 Статистика протокола	47
9.4 События протокола.....	49
9.5 Использование команд оператора.....	50
10 Варианты топологии колец	55
10.1 Соединение колец с одинаковой Protected VLAN.....	56
10.2 Соединение колец с различными Protected VLAN	60
10.3 Соединение основных колец и подколец	63
10.4 Варианты соединения основных колец и подколец	70
10.5 Двойное резервирование.....	74
11 Особенности реализации протокола ERPS в коммутаторах производства АО Элкус	77
11.1 Отличия реализации от дополнений стандарта	77

1 Используемые сокращения, определения

FDB (filtering database) – таблица, в которой сопоставлены MAC-адреса сетевых устройств номерам портов коммутатора. При коммутации пакетов данная таблица определяет, в какой из портов будет отправлен пакет.

Clear FDB – сброс динамически обученных адресов на портах коммутатора.

Forwarding – форвардинг, перенаправление пакетов с одного порта коммутатора на другой.

MEL (maintenance entity group level) – уровень обслуживания группы устройств.

R-APS VLAN – виртуальная сеть, используемая для передачи служебного трафика протокола ERPS.

Protected VLAN – виртуальная сеть, используемая для передачи полезного трафика.

VLAN ID – часть идентификатора кольца ERPS, идентификатор R-APS VLAN.

RING ID – часть идентификатора кольца ERPS.

RPL (ring protection link) – связь между коммутаторами, обеспечивающая, при отсутствии аварии, размыкание кольца.

RPL порт – порт, участвующий в RPL.

RPL owner – коммутатор, размыкающий кольцо при отсутствии аварии.

RPL neighbour – коммутатор, участвующий в размыкании кольца совместно с RPL owner.

RB (RPL blocked) – связь RPL заблокирована (логически выключена).

SF (signal fail) – состояние аварии (обрыва линии).

STP (spanning tree protocol) – протокол минимального покрывающего дерева.

VLAN (virtual LAN) – виртуальная локальная сеть.

WTB (wait to restore) – ожидание перед блокировкой RPL.

WTR (wait to restore) – ожидание перед восстановлением исходной топологии кольца.

Revertive – режим работы кольца с восстановлением исходной топологии.

No virtual channel – режим работы подкольца без передачи R-APS сообщений в основное кольцо

Основное кольцо (major ring) – кольцо, в котором на всех коммутаторах порты не используют повторно портов других колец (нет виртуальных портов).

Подкольцо (subring) – кольцо, логически подключенное к основному кольцу, повторно использует его физический порт.

Виртуальный порт (virtual port) – порт, который одновременно используется кольцом и подключенным к нему подкольцом.

Виртуальный канал (virtual channel) – путь прохождения пакетов подкольца по коммутаторам основного кольца, на которых создана R-APS VLAN подкольца, и в неё включены порты основного кольца с тэгом.

2 Общая информация о протоколе. Принцип работы

2.1 Основные понятия

Протокол ERPS предназначен для построения резервированных топологий сети на уровне L2. Протокол работает с коммутаторами, физически образующими топологию “кольцо”. За счет того, что одна связь между коммутаторами логически отключена (физически эта связь есть), логическая топология соединения коммутаторов – “шина”. Протокол ERPS поддерживает использование нескольких физических колец одновременно в одной сети.

Для построения физического кольца используются два порта коммутатора (называемые восточным (east) и западным (west)). Восточный порт одного коммутатора должен быть соединен с западным портом другого. Линия связи, размыкающая кольцо при отсутствии аварии, называется RPL. Коммутатор, выполняющий логическое размыкание кольца – RPL owner. Коммутатор, выполняющий логическое размыкание кольца совместно с RPL owner – RPL neighbour. Порт коммутатора RPL owner, к которому подключена RPL – RPL порт. В каждом физическом кольце должен быть только один RPL owner и один RPL neighbour, соединенные по RPL. Минимальное количество коммутаторов в каждом кольце – 2, но один коммутатор может участвовать в работе нескольких колец

Управление трафиком осуществляется на основе использования VLAN и идентификаторов колец RING ID. Для передачи служебной информации протокола ERPS используются R-APS сообщения. Для передачи R-APS сообщений используется отдельная R-APS VLAN. VLAN, служащая для передачи полезной информации, называется Protected (защищаемой) VLAN. В одном физическом кольце может быть несколько Protected VLAN и, наоборот, у одной Protected VLAN может быть несколько RAPS VLAN.

Протокол позволяет задавать топологии, состоящие из соединенных друг с другом колец. При соединении кольца могут повторно использовать порты других колец, что позволяет протоколу работать с произвольной топологией и использовать одни и те же Protected VLAN без риска образования циклических связей.

2.2 Настройки протокола

Протокол имеет несколько настроек, которые позволяют адаптировать его под конкретные условия работы кольца: режим без виртуального канала (no virtual channel), режим обратной совместимости (RAPS version), тип кольца (ring type), уровень кольца (ring MEL), режим с восстановлением исходной топологии (revertive mode). Режимы описаны в разделе «Настройка протокола».

2.3 Используемый стандарт

Данная версия протокола ERPS основана на основном документе ITU-T Rec. G.8032/Y.1344 (06/2012). Применена часть функционала, описанного в стандарте, подробнее см. раздел «Особенности реализации протокола ERPS в коммутаторах производства АО Элкус».

2.4 Используемые механизмы

Резервирование в кольце выполняется по событиям link up, link down портов коммутатора, входящих в кольцо. Link down далее принимается за аварию (signal fail, SF), link up – исправление аварии (clear SF).

Для управления трафиком R-APS пакетов и полезной нагрузки протокол использует блокирование портов. Блокирование порта для R-APS пакета не позволяет передать пакет от одного порта к другому, но позволяет принимать и отправлять пакеты коммутатором. Блокирование пакетов полезного трафика подразумевает исключение порта из Protected VLAN на время блокирования. Блокирование портов различается для R-APS пакетов и полезного трафика, и определяется логикой протокола. Порты блокируются в состоянии аварии или по команде пользователя. Порт может быть разблокирован, если на порту нет аварии.

Для быстрого изменения пути следования пакетов, перестройки топологии используется сброс базы FDB коммутатора. Управление сбросом производится логикой протокола. Общий принцип работы логики блокировки предусматривает незамедлительный сброс базы FDB при возникновении соответствующего события. База FDB не сбрасывается, если в этом нет необходимости, например, если блокируемый порт уже заблокирован. Стандарт предусматривает сброс базы только на указанных портах, данная реализация протокола сбрасывает базу на всех портах коммутатора.

2.5 Общий принцип работы

Принцип работы протокола ERPS включает:

- отсутствие замыкания кольца. Данное требование выполняется, если в кольце данные передаются по всем, кроме одной связи между коммутаторами.

Из этого требования следует правило: если порт узла кольца заблокирован, он может быть разблокирован, только если известно, что есть хотя бы один другой заблокированный порт на кольце.

- использование механизмов Ethernet: обучение, форвардинг и использование базы FDB.

2.6 Время восстановления соединения

Стандартом ITU-T Rec. G.8032/Y.1344 описывает задержку менее 50 мс для одиночного кольца с условиями:

- оптическая линия менее 1200 км;
- все узлы кольца находятся в состоянии IDLE (исходное, нет аварии);
- отсутствие команд управления (FS, MS, Clear, R-APS SF);
- количество узлов не более 16.

Стандарт описывает режим работы протокола в сетях операторского класса, и его условия являются справочными для коммутаторов производства «АО Элкус».

Время восстановления связи после аварии включает в себя несколько этапов:

- обнаружение аварии;
- отработка логики протокола;
- время на обучение коммутационной матрицы после её очистки;
- форвардинг пакетов между узлами.

Время на обнаружение аварии занимает малое время при работе в режимах 100BASE-TX и оптической линии связи. Необходимо обратить внимание на условия обнаружения аварии при связи по 1000BASE-T. В соответствии с IEEE 802.3 п. 40 максимальное время обнаружения потери связи составляет 750 ± 10 мс для режима MASTER и 350 ± 5 мс для режима SLAVE, что значительно превосходит остальные этапы работы протокола. Рекомендуется использовать ERPS с оптическими или 100BASE-TX линиями связи. Если кольцо содержит участки с разным физическим уровнем, время реакции на аварию будет зависеть от каждого из них.

Логика протокола зависит от быстродействия ОС и CPU коммутатора, но укладывается в формальные требования стандарта. Время отработки возрастает на 10-30 мс при использовании топологии с соединением колец, т.к. возможно количество операций протокола несколько больше, чем при одиночном кольце.

Обучение матрицы коммутации занимает единицы мс. В ряде случаев сброс базы FDB не производится, если по логике протокола нет необходимости. Сброс производится не чаще, чем в 10 мс. Сбрасывается информация на всех портах.

Время на форвардинг пакетов между узлами растёт с увеличением числа узлов. Логика протокола передаёт R-APS пакеты только с узлов, которые имеют информацию об аварии и др., остальным узлам передача запрещается, и трафик R-APS пакетов минимизирован.

Экспериментально определенное время измерялось целиком, без учёта этапов отработки.

Условия тестирования задержки включают в себя:

- кольцо из 2-8 коммутаторов;
- выборочно одиночное кольцо или кольца, соединенные между собой по одной из типовых топологий, описанных в разделе 10;

- различный физический уровень соединения: 100BASE-TX, 1000BASE-T, 100BASE-FX, 1000BASE-SX.

Проверка задержки производится абонентом, который подключён к двум коммутаторам топологии. На коммутаторах используются любые порты, входящие в Protected VLAN колец.

Приблизительное время восстановления соединения приведено в таблице 1.

Таблица 1. Время восстановления соединения

	Задержка на одиночном кольце, мс	Задержка на топологии с соединением кольца и подкольца, мс
100BASE-TX	30-50	40-80
1000BASE-T	350-850	360-880
100BASE-FX	15-40	25-70
1000BASE-SX	15-40	25-70

2.7 Пример топологии с одним кольцом

На рисунках 1 и 2 приведен пример работы протокола ERPS в сети, состоящей из четырех коммутаторов. На рисунке 1 показана сеть при отсутствии аварии, физическая связь между коммутаторами №1 и №2 есть, но логически она разомкнута протоколом ERPS (связь показана пунктиром). На рисунке 2 показана сеть при наличии аварии (обрыв связи между коммутаторами №3 и №4), связь между коммутаторами №1 и №2 логически замкнулась протоколом ERPS.

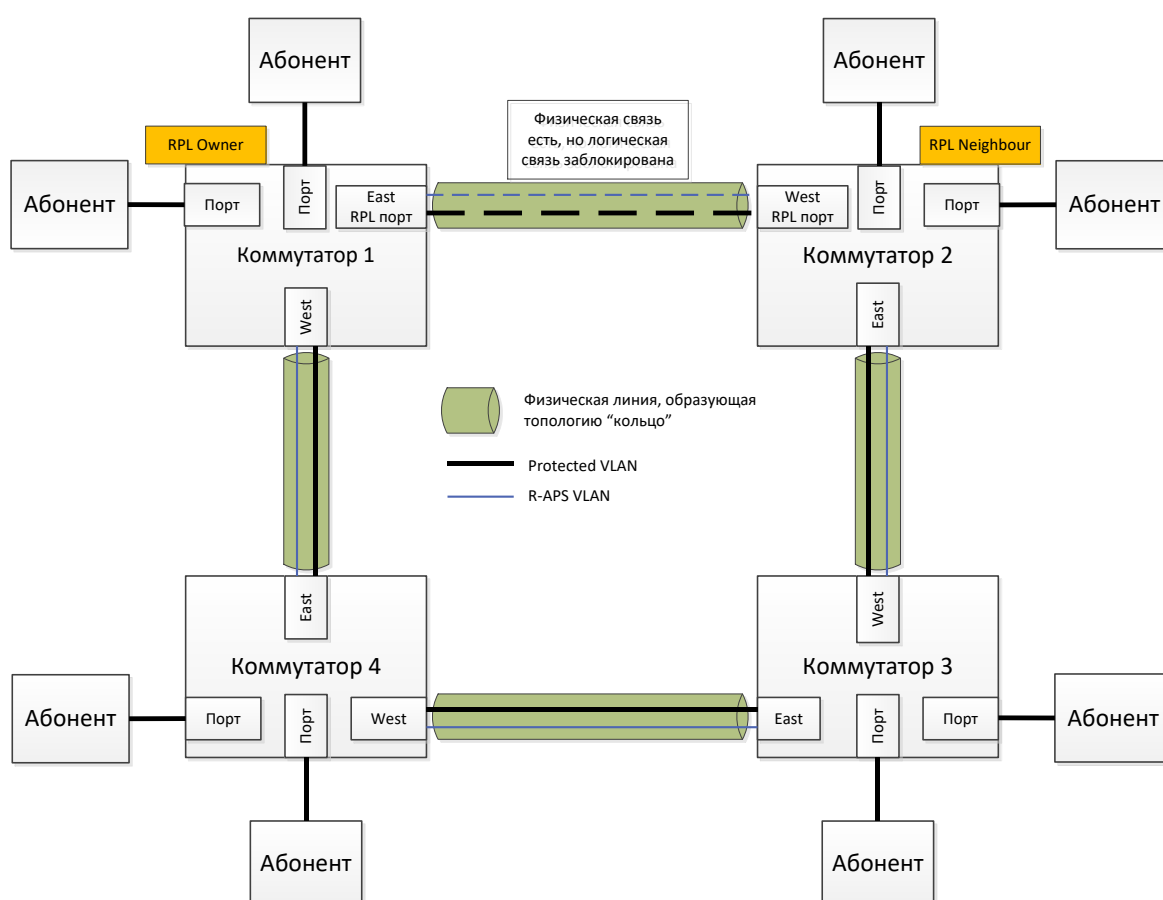


Рисунок 1. Пример сети при отсутствии аварии

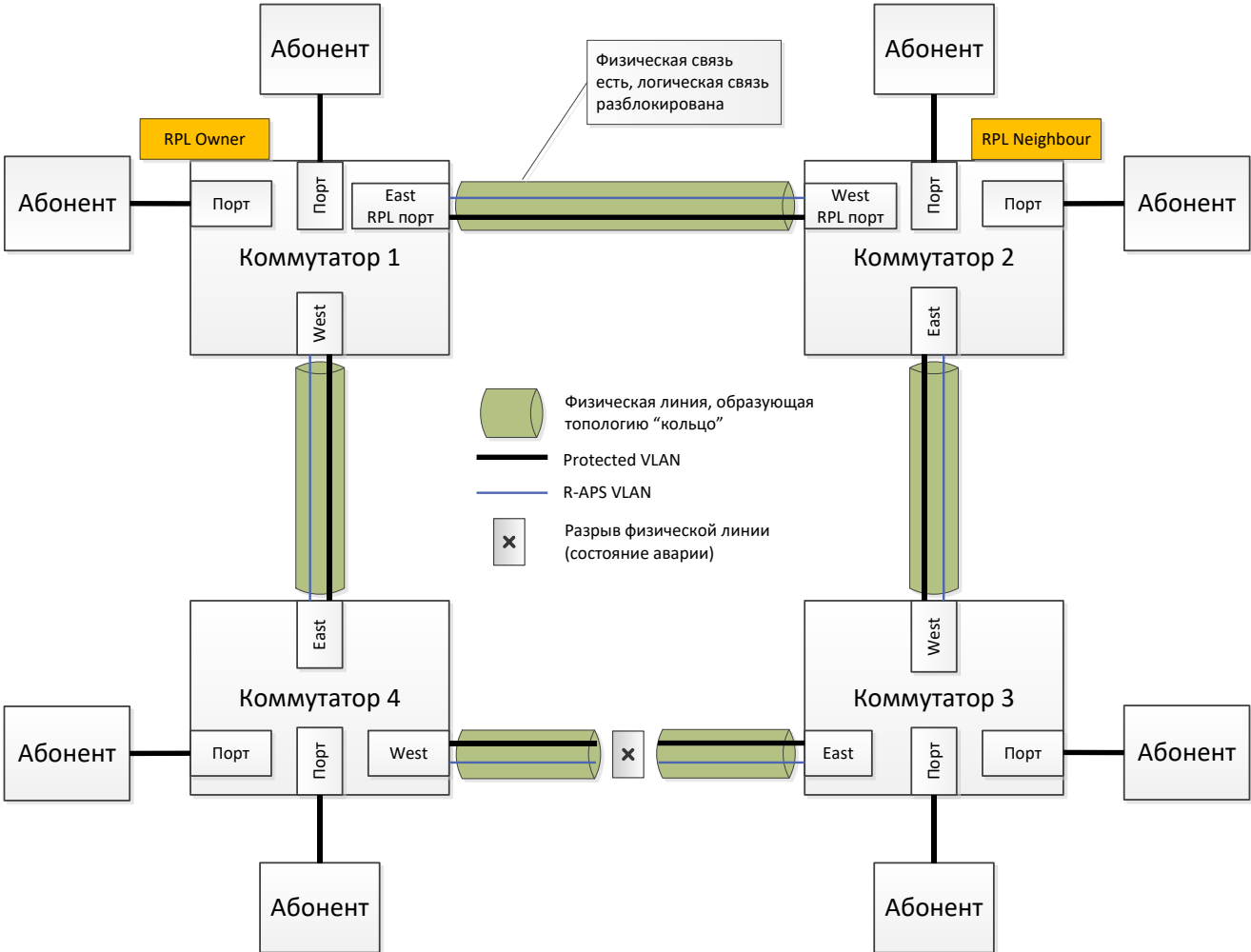


Рисунок 2. Пример сети при наличии аварии

2.8 Состояния кольца. Последовательность работы

Кольцо может находиться в одном следующих состояний:

- BEGIN – изначальное состояние кольца, когда оно выключено или выключен протокол ERPS. Порты находятся в состоянии коммутации.
- INIT – состояние инициализации, наступает при включении кольца или протокола ERPS.
- IDLE – состояние отсутствия защиты: RPL порт блокирован. В случае аварии следующим состоянием становится PROTECTION.
- PROTECTION – состояние защиты кольца, возникает вследствие аварии или операций управления протоколом. После исправления аварии и истечения таймера WTR кольцо возвращается в состояние IDLE.
- FORCED WITCH – состояние кольца, в котором один порт принудительно блокирован
- MANUAL SWITCH – состояние кольца, когда в отсутствие команды перехода в FORCED SWITCH или аварии на кольце один порт принудительно блокирован.
- PENDING – состояние запроса перехода кольца в новое устойчивое состояние.

Работа протокола начинается с состояния INIT. В состоянии INIT выполняется начальная инициализация протокола ERPS, затем осуществляется переход в состояние IDLE через состояние PENDING. При переходе в состояние IDLE RPL owner и RPL Neighbour, блокируют RPL порты и посылают R-APS сообщения другим коммутаторам о переключении их восточных и западных портов в состояние коммутации.

В случае аварии коммутатор, обнаруживший неисправность, оповещает об аварии остальных участников кольца с помощью R-APS сообщений. При обнаружении аварии коммутаторы переходят через состояние PENDING в состояние PROTECTION и сбрасывают свои FDB в зависимости от работы логики протокола. В этом состоянии RPL owner и RPL neighbour, разблокируют RPL порты.

В случае исправления аварии коммутатор, который это обнаружил, отправляет R-APS сообщение с флагом отсутствия аварии (NR). Затем RPL owner, запускает таймер ожидания перед восстановлением (WTR timer). Если за время работы этого таймера не было обнаружено аварии, RPL owner совместно с RPL neighbour блокируют RPL, сбрасывают базы FDB в зависимости от работы логики протокола, разблокируют не RPL порты, отправляют R-APS сообщения остальным коммутаторам, чтобы они сбросили свои FDB с зависимости от работы логики протокола на каждом коммутаторе. Данный режим работы называется revertive, т.е. с восстановлением исходной топологии кольца после исправления состояния аварии и истечения таймера WTR (при переходе кольца из состояния PROTECTION в IDLE).

Режим без восстановления исходной топологии (Non revertive) предполагает сохранение коммутаторов в состоянии PENDING, пока оператор не переведет коммутаторы кольца в состояние IDLE с помощью команды clear или в состояния FORCED SWITCH/MANUAL SWITCH соответствующими командами. WTR таймер в режиме non revertive не используется.

В случае аварии на уже заблокированном порту сброс базы FDB на коммутаторах не производится для уменьшения количества изменений топологии.

Замечание:

При одновременном включении коммутаторов кольцо может оказаться в состоянии PROTECTION, поскольку одни коммутаторы могли загрузиться раньше других, и успели установить состояние аварии на портах, по которым не смогли связаться с соседними коммутаторами. После успешной загрузки всех коммутаторов автоматически происходит определение состояния отсутствия аварии, и в случае работы в режиме Revertive по истечении таймера WTR (назначение таймеров описано ниже), кольцо перейдет в состояние IDLE через состояние PENDING. В случае использования режима Non revertive кольцо останется в состоянии PENDING до новых событий в работе протокола или команды оператора.

3 Описание R-APS пакетов

Пакеты R-APS могут передаваться только RPL owner и коммутаторами, обнаружившими аварию или исправление аварии. Поэтому независимо от числа коммутаторов в кольце, объем трафика R-APS сообщений не увеличивается.

R-APS сообщения содержат флаги, по которым протокол выполняет определенные действия и MAC адрес коммутатора, создавшего сообщение. Флаги, используемые в работе протокола, приведены ниже.

- NR (No request) – отсутствие аварии;
- RB (Report blocked) – RPL заблокирована;
- SF (Signal fail) – авария;
- DNF (Do not flush) - не сбрасывать FDB.
- BPR (Blocked port reference) – обозначение заблокированного порта. 0 – западный, 1 – восточный порт.

В R-APS сообщениях передаётся поле RingID, как часть сообщения протокола. Ring ID является идентификатором кольца наравне с VLAN ID. Передача VLAN ID тега происходит вне R-APS пакета ERPS.

Примечание:

В R-APS сообщении могут передаваться комбинации флагов.

4 Таймеры

При работе протокола ERPS используются таймеры, которые можно настраивать для оптимизации работы протокола в конкретной сети.

Назначение этих таймеров описано ниже:

- WTR timer (Wait-to-restore, ожидание перед восстановлением) – таймер используется в режиме восстановления исходной топологии (revertive operation), включается после исправления аварии в кольце. Когда таймер истекает, RPL блокируется, FDB сбрасывается на всех коммутаторах (при необходимости, определяется работой логики протокола), порты между остальными коммутаторами переводятся в состояние коммутации и кольцо переходит в состояние IDLE. Диапазон значений таймера - 1-12мин. с шагом 1мин. Значение по умолчанию 5 мин. WTR таймер используется на узлах RPL owner.
- WTB timer – (Wait-to-block, ожидание перед блокировкой) – таймер используется при сбросе команд пользователя Forced switch, Manual switch для предотвращения образования петель из-за задержек в передаче R-APS сообщений. Значение таймера WTB на 5 секунд больше значений охранного таймера (Guard timer). WTB таймер используется на узлах RPL owner.
- Guard timer (охранный таймер) – препятствует приему устаревших сообщений после изменения состояния коммутатора. Значение таймера выбирается немного больше максимальной задержки передачи R-APS пакета по кольцу. В случае приема устаревшего R-APS сообщения с флагом SF возможен широковещательный шторм, поскольку порты коммутатора могут быть ошибочно переведены в состояние коммутации. Если установлено слишком большое значение таймера, коммутатор может долго не воспринимать новые R-APS сообщения. Диапазон значений таймера - 10-2000мс с шагом 10мс. Значение по умолчанию 500мс. Таймер используется на узлах, где обнаружено исправление аварии (clear SF).
- Holdoff timer (таймер задержки) – вводит задержку объявления состояния аварии. Используется в системах, состоящих из нескольких уровней для того, чтобы более низкий уровень успел исправить аварию раньше, чем её обнаружит следующий. Если исправление аварии прошло до истечения таймера, состояние кольца не меняется, если сохранилось хотя бы на одном порту коммутатора – объявляется авария. Диапазон значений таймера - 0-10с шагом 100мс. Значение по умолчанию 0мс. Таймер используется на узлах, где обнаружена авария (SF).

5 Использование неуправляемых коммутаторов и коммутаторов без поддержки ERPS

Протокол ERPS допускает совместное использование управляемых коммутаторов с ERPS и неуправляемых коммутаторов/коммутаторов без поддержки ERPS. Основным требованием при совместном использовании коммутаторов с и без поддержки ERPS является наличие у любой связи кольца хотя бы одного, подключенного к ней коммутатора с поддержкой ERPS. Или, другими словами, в физическом кольце не должно быть двух идущих подряд коммутаторов без поддержки ERPS (или неуправляемых коммутаторов).

Замечания:

При использовании в кольце неуправляемых коммутаторов или управляемых коммутаторов без поддержки ERPS необходимо учитывать, что они не будут реагировать ни на какие R-APS сообщения. Поэтому при обнаружении аварии они не сбросят FDB, и некоторое время (определяемое временем устаревания таблицы MAC-адресов этих коммутаторов) пакеты могут отправляться по устаревшим адресам.

Совместное использование коммутаторов с различными версиями ERPS описано ниже в разделе «Настройка протокола ERPS», пункт «Параметр RAPS version».

6 Настройка протокола ERPS

Настройка протокола ERPS представляет собой установку значений параметров, связанных с протоколом или общими настройками коммутатора. Параметры могут задаваться как параметры команд в интерфейсе CLI или как поля таблицы в веб-интерфейсе соответствующего коммутатора.

Часть параметров протокола ERPS имеют два значения: `admin` и `operative`. `Admin` значение – это введенное администратором значение, которое должно пройти проверку, чтобы стать `operative` значением. Значение `operative` – используемое в данный момент протоколом.

Настройку протокола ERPS можно производить как в режиме управления, так и в режиме настройки конфигураций. При работе в режиме управления проверка правильности введенных параметров производится:

- сразу после ввода (если параметр не разделен на `admin` и `operative` значения);
- при следующем запуске кольца или протокола (если параметр разделен на значения `admin` и `operative`).

При работе в режиме редактирования конфигураций проверка введенных значений производится при сохранении конфигурации командой `save`.

Настройка протокола производится, исходя из требуемой топологии сети, и выполняется на каждом коммутаторе. Настраивается каждое кольцо, соединения колец, и глобальные параметры настройки.

Приведенная ниже настройка конфигурации ERPS выполняется по интерфейсу CLI для наглядного описания последовательности действий. Также настройку можно произвести через WEB интерфейс.

6.1 Настройка соединения основного кольца и подкольца

Рассмотрим конфигурацию двух соединенных колец: основного кольца и подкольца. На базе данной конфигурации можно строить любые топологии сети.

Основным кольцом (major ring) считается кольцо, не использующее для передачи трафика другие кольца с помощью виртуальных портов.

Подкольцом (subring) считается кольцо, в котором один из портов объявлен виртуальным, и актуально используется порт основного кольца, к которому оно подключено. Порт основного кольца противоположен явно указанному порту подкольца (east против west и наоборот). Коммутатор, на котором сконфигурировано основное кольцо, и подкольцо, подключенное к нему, называется узлом межсоединения (interconnection node).

Перед конфигурированием протокола требуется создать и настроить необходимые для работы VLAN: R-APS VLAN, в которой передаются R-APS пакеты и минимум одну Protected VLAN, в которой передаются пакеты полезной информации. В данном примере в качестве Protected VLAN используется VLAN 1.

Замечание:

по умолчанию все пакеты без VLAN тэга перенаправляются во VLAN 1. В примере данная VLAN внесена в список защищаемых, чтобы автоматически исключить шторм. Также можно вручную исключить порты кольца из VLAN 1 или сменить VLAN по умолчанию для нетегированных пакетов.

В качестве RAPS VLAN используются RAPS_2 с VLAN ID 2 и RAPS_3 с VLAN ID 3.

Будем считать основным кольцо с VLAN ID 3, RING ID 1, подкольцом с VLAN ID 2, RING ID 2.

Приведем конфигурацию каждого параметра для каждого из колец попарно. Команды для различных колец разделены пустой строкой. Уже введенную конфигурацию можно отобразить с помощью команд администрирования «show vlan current», «show erps», «show erps subrings», которые описаны в разделе «Администрирование ERPS».

Параметры задаются на каждом коммутаторе кольца одинаково, исключая задание номеров портов и параметры, определяющие роль коммутатора в топологии сети: RPL owner, узел соединения колец, и т.д. Для параметров, требующих различной настройки, даны пояснения, и описано более подробно в разделе «Сложные топологии колец».

Используемые команды описаны в документе «Коммутаторы серии ESW. CLI-интерфейс».

6.1.1 Создание R-APS VLAN

Создадим RAPS VLAN. В R-APS VLAN необходимо добавить порты, входящие в кольца, в режиме tagged. Для работы колец допустимо использовать одну RAPS VLAN, но для совместимости с коммутаторами сторонних производителей рекомендуется использовать различные VLAN и Ring ID для каждого кольца.

RAPS VLAN должна быть создана на всех коммутаторах кольца, а также на участке основного кольца, где запланировано наличие виртуального канала подкольца. Порты, входящие во VLAN с тегом, могут быть различными на каждом коммутаторе, исходя из удобства использования. Список портов, входящих во VLAN с тегом, должен включать порты кольца. Рекомендуется использовать более короткий путь пакетов по виртуальному каналу.

Порты основного кольца добавлены в RAPS VLAN 2 подкольца, т.к. через порты основного кольца должны следовать пакеты подкольца. Данное включение требуется только на узлах соединения колец.

```
# create vlan 2 RAPS_VLAN2
    Command: create vlan 2 RAPS_2
    Success.

# config vlan 2 add 9-12 tagged
    Command: config vlan 2 add 9-12 tagged
    Success.

# create vlan 3 RAPS_VLAN3
    Command: create vlan 3 RAPS_3
    Success.

# config vlan 3 add 11-12 tagged
    Command: config vlan 3 add 11-12 tagged
    Success.
```

Замечания:

В случае использования режима без виртуального канала (no virtual channel) R-APS VLAN подкольца должна отсутствовать на узлах основного кольца или не включать в себя портов, по которым возможна коммутация, иначе возможно нежелательное замыкание из-за особенности работы логики блокировки в режиме без виртуального канала.

В случае использования режима с виртуальным каналом VLAN подкольца должна быть создана только на одной из ветвей основного кольца, но не на всех коммутаторах, т.к. это приведет к нежелательному замыканию.

6.1.2 Создание колец

Создадим кольца, использующие RAPS VLAN. Для идентификации кольца используется пара RAPS VLAN, RING ID, т.е. можно создавать наборы колец в любом сочетании VLAN ID, RING ID.

Коммутаторы сторонних производителей могут иметь ограничения на сочетания пары VLAN ID, RING ID, рекомендуется для каждого кольца задавать уникальный RING ID.

Создание колец производится на коммутаторах, которые запланированы быть узлами кольца.

Замечание: в данной реализации нельзя в процессе работы изменить RING ID кольца, можно удалить текущее и создать новое.

```
# create erps raps_vlan 2 ring_id 2
    Command: create erps raps_vlan 2 ring_id 2
    Success.

# create erps raps_vlan 3 ring_id 1
    Command: create erps raps_vlan 3 ring_id 1
    Success.
```

6.1.3 Установка портов кольца

Установим восточный (East) и западный (West) порты коммутатора. Устанавливаются admin значения портов, т.е. при включенном состоянии кольца и протокола будет изменено только admin значение; затем при включении кольца и протокола перед переносом в опер значение будет выполнена проверка.

Порты задаются из списка входящих в соответствующую R-APS VLAN с тегом. В подкольце один из портов указывается как виртуальный.

Для каждого коммутатора указываются номера портов, которые удобны для использования, они могут быть различны на каждом коммутаторе.

По умолчанию номера портов не заданы.

Замечание: если заданы порты кольца, но физически оказались подключены другие, то сигнал аварии будет лишь на данном коммутаторе. Остальные коммутаторы не обнаружат ошибку, т.к. соединение есть, и будут работать с коммутатором подобно неуправляемому.

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port west 9
  Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port west 9
  Success.

# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port east virtual_channel
  Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port east virtual_channel
  Success.

# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port west 11
  Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port west 11
  Success.

# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port east 12
  Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port east 12
  Success.
```

6.1.4 Параметр RPL role

Один из коммутаторов в кольце должен быть выбран RPL owner, и расположенный рядом с ним со стороны RPL - как RPL neighbour. Требуется указать RPL порт, но он не может быть виртуальным. В данной конфигурации коммутатор основного кольца – RPL owner, подкольца – RPL neighbour.

Параметры RPL role «Owner» и «Neighbour» указываются только на одном коммутаторе соответственно, у остальных коммутаторов кольца RPL role должен быть установлен в «none». Для каждого кольца RPL owner и RPL neighbour свои, и могут повторяться на одних и тех же коммутаторах для разных колец.

Параметры RPL role и RPL port разделены на значения admin и oper, но их значения применяются в процессе работы кольца с выполнением проверок и дополнительных действий. Применение новых значений RPL role и RPL port при включенном кольце и протоколе глобально требует сохранения блокированной связи на кольце и обновления блокировки портов, поэтому выполняются операции:

- если кольцо находится в состоянии PROTECTION/MANUAL SWITCH/FORCED SWITCH, заблокированные порты точно есть, и протокол в любом случае перейдёт в состояние PENDING и обновит состояния портов;
- если включается функция RPL Owner/RPL Neighbour или сменяется RPL порт, имитируется состояние аварии, чтобы известить остальные узлы о смене заблокированного порта или роли узла;
- если функция RPL Owner/RPL Neighbour выключается, остальные узлы не оповещаются, но кольцо переводится в состояние INIT, чтобы имитировать начало работы узла в новой роли.

По умолчанию для кольца RPL role установлено в значение none, т.е. функции RPL owner, RPL neighbour выключены.

Замечания:

- при включённом кольце и протоколе нельзя изменить RPL порт на виртуальный;
- RPL порты должны быть обращены друг к другу на коммутаторах RPL owner/RPL neighbour, в состоянии IDLE коммутаторы заблокируют более одной связи на кольце;

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_port west
```

```
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_port west
```

```
Success.
```

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_role neighbour
```

```
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_role neighbour
```

```
Success.
```

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_port east
```

```
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_port east
```

```
Success.
```

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_role owner
```

```
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_role owner
```

```
Success.
```

6.1.5 Параметр Protected VLANs

Для передачи полезного трафика настраиваются Protected VLAN, их может быть несколько. В этом примере используем одну VLAN 1. VLAN1 используется в обоих кольцах, т.к. протокол избегает образования нежелательных петель, и два соединенных кольца представляют собой топологию шины.

По умолчанию Protected VLAN не заданы.

Замечание:

по умолчанию все пакеты без VLAN тэга перенаправляются во VLAN 1. В примере данная VLAN внесена в список защищаемых, чтобы автоматически исключить шторм. Также можно вручную исключить порты кольца из VLAN 1 или сменить VLAN по умолчанию для нетегированных пакетов

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 protected_vlan add vlanid 1
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 protected_vlan add vlanid 1
Success.

# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 protected_vlan add vlanid 1
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 protected_vlan add vlanid 1
Success.
```

6.1.6 Параметр Revertive mode

Кольцо может использоваться в режиме с восстановлением исходной топологии (revertive) или без восстановления. Если один из портов кольца подключен к линии с большей пропускной способностью и желательно после восстановления использовать именно эту линию, то рекомендуется использовать revertive.

В данной конфигурации это не RPL порт, например 11 в основном кольце, который будет разблокирован после восстановления. Если один из портов критичен к задержкам в работе сети или требуется меньшее число изменений топологии сети, следует использовать режим non-revertive. Предположим, что в нашей конфигурации порт подкольца подключен именно к такой подсети.

По умолчанию используется режим revertive, мы явно настроим оба кольца.

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 revertive disable
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 revertive disable
Success.

# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive enable
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive enable
Success.
```

6.1.7 Параметр No Virtual channel

Кольцо может использоваться в режиме с передачей R-APS сообщений из подкольца в основное кольцо (virtual channel) или без него (no virtual channel). В режиме virtual channel коммутатор подкольца с виртуальным портом, передает R-APS сообщения за пределы подкольца, и далее сообщения передаются обычным механизмом forwarding. Передача сообщений позволяет обнаруживать события, приходящими с обоих портов, но в случае аварии на основном кольце, эти сообщения будут недоступны.

В режиме no virtual channel R-APS сообщения не передаются за пределы подкольца, и внутренняя логика работы протокола отличается.

Замечания:

1. Нельзя устанавливать на полностью замкнутом (основном) кольце ring type subring и режим no virtual channel, т.к. логика протокола рассчитана на отсутствие передачи R-APS пакетов по всему кольцу в этом режиме. Такая ситуация может произойти при конфигурировании основного кольца как подкольцо без виртуального канала. R-APS VLAN подкольца должна отсутствовать на узлах основного кольца или не включать в себя портов, по которым возможна коммутация, иначе возможно нежелательное замыкание.
2. Использование виртуального канала задается на подкольце.

Нельзя задать для основного кольца режим работы без виртуального канала, т.к. передача R-APS сообщений не блокируется. Зададим в данной конфигурации для основного кольца режим с виртуальным каналом, и без виртуального канала для подкольца.

По умолчанию «no virtual channel» выключен, т.е. используется режим с виртуальным каналом.

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 no_virtual_channel enable
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 no_virtual_channel enable
Success.
```

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 no_virtual_channel disable
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 no_virtual_channel disable
Success.
```

6.1.8 Параметр RAPS version

Каждое кольцо отдельно может использоваться в режиме совместимости с версией протокола ITU-T G.8032 (2008) и дополнением к ней Amendment 1 (2009), что позволяет сохранить совместимость с коммутаторами со старой версией ERPS. Обратная совместимость заключается в игнорировании команд пользователя Forced Switch, Manual Switch, clear, а также поддержкой только Revertive режима. При переключении кольца в режим совместимости оно ограничивает свои функции для правильного функционирования, но внутренняя логика работы протокола не меняется. Режим совместимости называется version 1, расширенный режим – version 2.

Установим для обоих колец режим version 2 для совместимости с командами оператора. По умолчанию установлен режим version 1.

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 version 2
    Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 version 2
    Success.

# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 version 2
    Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 version 2
    Success.
```

6.1.9 Параметр Ring type

Кольцо требуется объявить основным (major ring) или подкольцом (subring). Основное кольцо не может иметь виртуального порта (virtual port) и работать в режиме без виртуального канала (no virtual channel).

Замечание:

Нельзя устанавливать на полностью замкнутом (основном) кольце ring type subring и режим no virtual channel, т.к. логика протокола рассчитана на отсутствие передачи R-APS пакетов по всему кольцу в этом режиме. Такая ситуация может произойти при конфигурировании основного кольца как подкольцо без виртуального канала.

Установим значения для основного кольца и подкольца.

По умолчанию установлен режим основного кольца (major ring).

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_type subring
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_type subring
Success.

# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_type major
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_type major
Success.
```

6.1.10 Параметр ring MEL

Пакеты протокола ERPS являются разновидностью пакетов протокола CFM OAM. В протоколе CFM введено понятие уровня обслуживания (Maintenance Entity Level, MEL). Для каждого порта создаются сущности обслуживания (maintenance entity, ME), пакеты с меткой уровня выше максимального уровня, заданного на портах кольца, перенаправляются из одного порта коммутатора в другой. Пакеты с равным или меньшим уровнем блокируются. Данный механизм позволяет разделить уровни обслуживания участков сетей. При этом соотношение уровня пакетов кольца, и установленного значения для кольца на каждом коммутаторе не меняет поведения протокола. Считается, что в конкретном кольце все уровни заданы одинаково.

В данной версии протокола поддерживается отправка пакетов с меткой уровня обслуживания, но нет описанного механизма блокировки пакетов с низшим приоритетом.

Функция меток уровня введена для совместимости с коммутаторами сторонних производителей. Поскольку все пакеты, независимо от уровня, будут перенаправлены, коммутатор будет вести себя как устройство с низшим (пользовательским) уровнем обслуживания по отношению к чужим пакетам. Пакеты данного кольца будут обслуживаться коммутаторами сторонних производителей в соответствии с заданным уровнем.

Значения меток уровня обслуживания: от 0 до 7, старший 7. По умолчанию задается уровень 1.

Приведем пример конфигурации.

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_mel 1
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_mel 1
Success.

# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_mel 1
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_mel 1
Success.
```

6.1.11 Настройка таймеров

При необходимости можно изменить настройки таймеров:

- WTR таймер.

Значение можно увеличить, если требуется, чтобы перестройка топологии сети происходила реже или уменьшить, чтобы восстановление исходной топологии произошло быстрее.

Значение по умолчанию 5 мин.

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer wtr_time 1
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer wtr_time 1
Success.
```

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer wtr_time 1
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer wtr_time 1
Success.
```

- Guard таймер.

Значение можно увеличить, если в кольце есть риск приёма устаревших пакетов, и уменьшить, если требуется более быстрая реакция на изменение состояния кольца.

Значение по умолчанию 500мс.

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer guard_time 500
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer guard_time 500
Success.
```

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer guard_time 500
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer guard_time 500
Success.
```

- Holdoff таймер

Значение следует увеличить, если требуется задержка в обнаружении аварии, например, если кратковременная авария менее критична, чем внезапная перестройка топологии сети. Значение следует установить в 0, если требуется максимально быстрая реакция на аварию в кольце.

Значение по умолчанию 0мс.

```
# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer holdoff_time 0
Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer holdoff_time 0
Success.
```

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer holdoff_time 0
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer holdoff_time 0
Success.
```

6.1.12 Настройка соединения колец

Для формирования требуемой топологии сети кольца соединяются между собой. На коммутаторах, выбранных узлами соединения колец, подкольца подключаются к основному кольцу. Соединение колец можно представить в виде таблицы, подробнее см. раздел «Администрирование протокола ERPS». Для подключения подкольца к кольцу требуется выполнить команду `add` с указанием индексов колец. Первым указано основное кольцо, далее кольцо, которое требуется присоединить. После выполнения команды протокол будет использовать порт основного кольца в подкольце, проверять порядок включения колец и т.д.

На других коммутаторах для прохождения R-APS пакетов достаточно создать VLAN с VLAN ID подкольца, и включить в неё порты основного кольца с тегом. Тогда R-APS пакеты подкольца смогут пройти по участку, где работает основное кольцо. Такой участок называется виртуальным каналом.

Просмотр созданного соединения можно выполнить с помощью команды «`show erps subrings`». Удалить соединение можно аналогичной командой с токеном «`delete`» вместо «`add`».

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 add subring raps_vlan 2 ring_id 2
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 add subring raps_vlan 2 ring_id 2
Success.
```

6.1.13 Параметр TC propagation

При возникновении аварии на одном кольце, другое кольцо не может самостоятельно обнаружить аварию. Замкнутыми в топологии являются основные кольца, по ним проходит трафик подколец, и они могут выполнить обеспечить резервный путь трафика при аварии на любом узле кольца. Подкольца могут выполнить резервирование, но не для узлов, расположенных в основном кольце.

В ERPS реализован механизм передачи сообщения об аварии от подколец к основным кольцам. Основное кольцо узнаёт об аварии на подкольце меняет топологию основного кольца путём отправки специальных Event сообщений коммутаторам своего кольца.

Замечание:

основные кольца могут узнавать о событии на подкольце, и при настройке оператора TC Propagation сообщать остальным узлам основного кольца, но не наоборот.

Если авария на подкольце не должна влиять на работу основного кольца, параметр TC propagation следует установить в состояние disabled.

Параметр задается только на коммутаторах, где есть соединение колец.

Значение по умолчанию – disabled.

Установим параметр в состояние enabled.

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 subring raps_vlan 2 ring_id 2 tc_propagation enable
```

```
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 subring raps_vlan 2 ring_id 2 tc_propagation
enable
```

```
Success.
```

6.1.14 Включение колец и глобальное включение

Для начала работы колец требуется включить каждое кольцо отдельно и весь протокол.

При включении протокола глобально и любого из колец, логика протокола проводит проверки возможности включения с заданным набором параметров. Будет выдано сообщение об ошибке, если комбинация является недопустимой. Например, нельзя включить подкольцо до включения основного кольца на узле соединения колец, т.к. нет порта, который можно было бы использовать как виртуальный.

Пока протокол глобально и конкретное кольцо одновременно не включены, можно изменять значения параметров, и они не повлияют на работу протокола. Если изменение параметров происходит во время работы, будут изменены admin значения или будет выполнена проверка, допустимо ли данное изменение. Если значения одних параметров конфликтуют с уже используемыми, будет выдано сообщение об ошибке.

Замечание: до включения протокола порты кольца находятся в разблокированном состоянии (FORWARDING). Т.е. правильно собранная топология будет образовывать нежелательное замыкание, если текущей конфигурации коммутатора используемое кольцо или протокол глобально выключены.

Включение протокола и колец: при включенном протоколе включаем кольца от основного к подкольцам.

```
# config erps enable
    Command: config erps enable
    Success.

# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 state enable
    Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 state enable
    Success.

# config erps raps_vlan 2 ring_id 2 state enable
    Command: config erps raps_vlan 2 ring_id 2 state enable
    Success.
```

7 Использование виртуального канала при соединении колец

Стандарт протокола ERPS предусматривает два варианта подключения подкольца к основному кольцу:

- подкольцо подключается с виртуальным каналом, R-APS сообщения подкольца передаются между узлами соединения колец по основному кольцу;
- подкольцо подключается без виртуального канала, и его сообщения не передаются за пределы узлов соединения колец.

Варианты соединения колец приведены на рисунке 3.

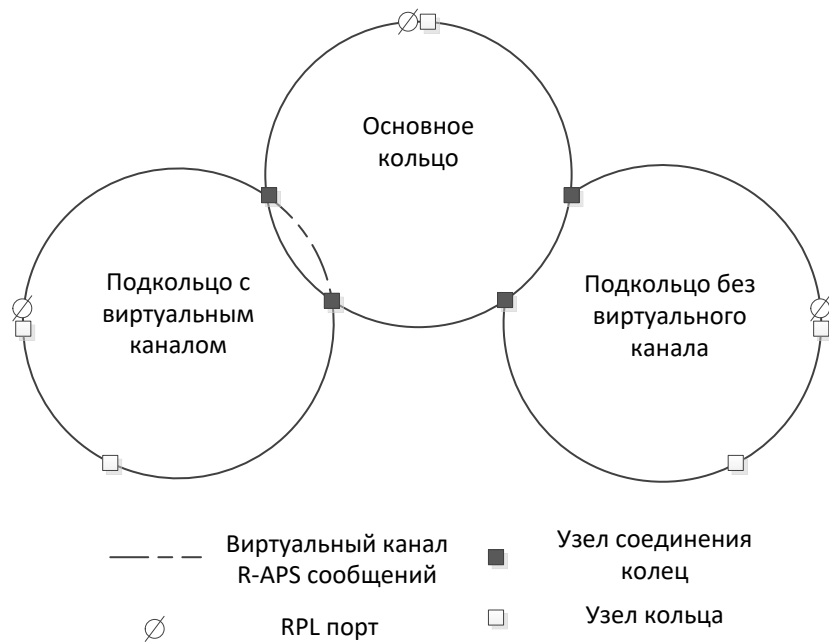


Рисунок 3. Варианты соединения колец

7.1 Вариант с виртуальным каналом

Вариант с виртуальным каналом имеет специфику работы (рисунок 4):

- при соединении нескольких отдельных колец нет необходимости сменять тип кольца с основного на подкольцо. Например, два основных кольца 1 и 2 могут без смены типа быть соединены новым подкольцом 3.
- передача R-APS пакетов требует небольшую часть пропускной способности основного кольца;
- время реакции на аварию на подкольце может зависеть от задержки при передаче R-APS пакетов по основному кольцу;
- основное кольцо 1 не может выполнить сброс базы FDB по событию на основном кольце 2, но оба основных кольца 1, 2 могут сбросить свои базы по событию на подкольце 3;
- коммутаторы подкольца меняют своё состояние в т.ч. по приходу R-APS сообщений из виртуального канала. При невозможности доставки пакета коммутатор останется в прежнем состоянии.

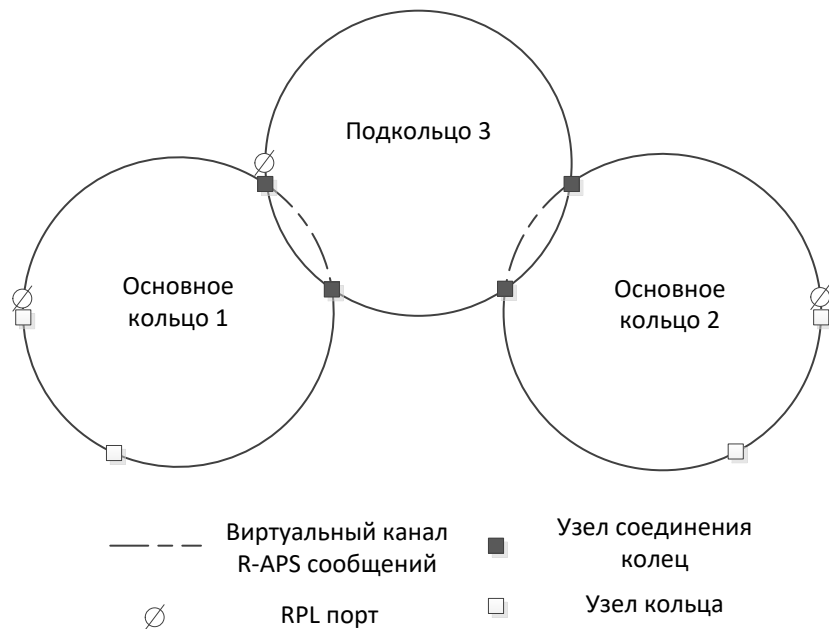


Рисунок 4. Соединение колец с виртуальным каналом

7.2 Вариант без виртуального канала

Вариант без виртуального канала имеет специфику работы (Рисунок 5):

- R-APS пакеты подкольца не требуют пропускной способности основного кольца, т.к. не передаются;
- время реакции на аварию не зависит от конфигурации сети;
- топология сети всегда представляет собой дерево, пакеты не могут быть потеряны в виртуальном канале основного кольца;
- при изменении конфигурации на рисунке 4 на вариант без виртуального канала (рисунок 5) основное кольцо 2 требуется объявить подкольцом;
- может произойти сброс базы FDB кольца 1 по событию на подкольце 2 или 3, также на подкольце 3 по событию на подкольце 2. Подкольца не сбросят свои базы FDB по событию на основном кольце;
- коммутаторы подкольца меняют своё состояние без передачи R-APS сообщений по основному кольцу.

Замечание:

R-APS VLAN подкольца должна отсутствовать на узлах основного кольца или не включать в себя портов, по которым возможна коммутация, иначе возможно нежелательное замыкание.

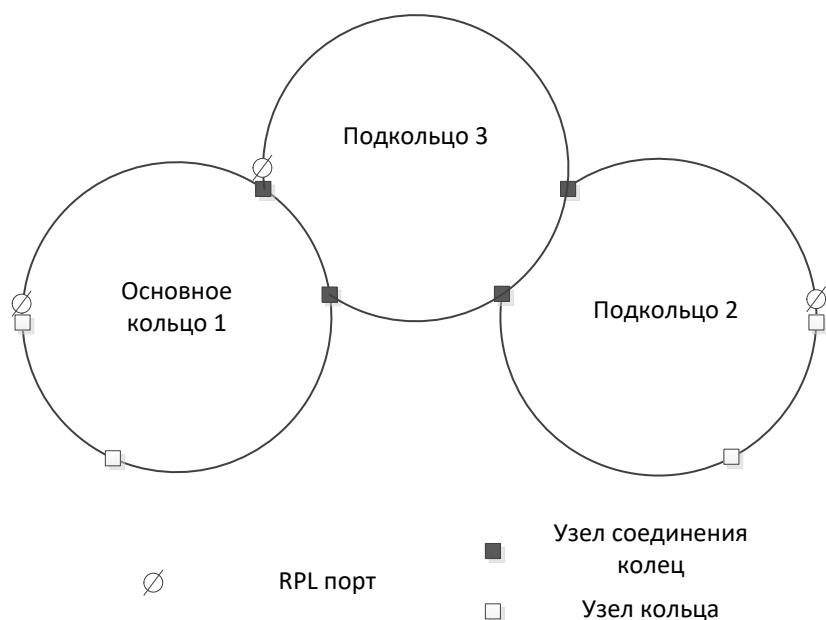


Рисунок 5. Соединение колец без виртуального канала

8 Проверки значений переменных протокола

Проверки протокола включают:

- проверки диапазона значений параметров;
- проверки конфликтов в работе кольца:
 - проверки при создании кольца;
 - проверки при включении кольца;
- проверки конфликтов соединения колец:
 - проверки управления кольцами и подкольцами в зависимости от их активности;
 - проверки при создании и удалении соединения колец;
- проверки операций пользователя:
 - проверки конфликтов при установке значений параметров;
 - проверки конфликтов при использовании команд оператора.

Проверки в режиме управления происходят при работе через CLI и через WEB интерфейс.

При сохранении конфигурации проходит аналогичный цикл проверок, за исключением проверки команд оператора.

8.1 Проверки диапазонов значений

Проверки диапазонов значений введенных параметров происходит в первую очередь. При вводе значений вне диапазона выводится ошибка, дальнейшей обработки введенного параметра не происходит.

8.2 Проверки конфликтов в работе кольца

Проверки конфликтов с другими параметрами срабатывают при включении протокола и конкретного кольца. Если кольцо включено, и протокол включен, проверки срабатывают немедленно. В случае если значения параметров разделены на admin (заданные) и oper (текущие), admin значение изменяется, oper применяется при следующем включении.

При создании кольца:

- Наличие созданной R-APS VLAN.
- Нельзя создать кольца с одинаковыми VLAN ID, RING ID.
- Нельзя создать колец больше, чем максимальное количество – 8.

При включении кольца:

- RPL порт не может виртуальным.
- Нельзя включить подкольцо, если оно не подключено к основному.
- Кольцо нельзя подключить как подкольцо к себе.
- Порты кольца должны быть заданы.
- Порты кольца объявлены tagged в R-APS VLAN.
- Восточный и западный порты должны быть разными.
- Оба порта не могут быть виртуальными.
- Для разных колец нельзя использовать повторяющиеся порты.
- RPL порт задан в случае, если включен RPL owner.
- RPL порт задан в случае, если включен RPL neighbour.
- Порты кольца не входят в link aggregation group.
- Порты колец не использованы протоколом STP и резервированным кольцом.
- R-APS VLAN не должна входить в список Protected VLAN.
- Нельзя использовать режим no virtual channel и тип кольца основной (MAJOR).
- Кольцо не может быть основным, если любой из его портов виртуальный.
- Нельзя работать в режиме совместимости ERPS (version 1) и использовать режим без восстановления исходной топологии (non revertive).

8.3 Проверки конфликтов соединения колец

Проверки управления кольцами и подкольцами в зависимости от их активности:

- Подкольцо нельзя включить, если выключено основное кольцо, и протокол глобально включен.
- Основное кольцо нельзя выключить, если включено подкольцо, и протокол глобально включен.
- Кольцо нельзя удалить, если оно включено.
- Нельзя добавить связь кольцо-подкольцо, если подкольцо включено.
- Невозможно удалить связь кольцо-подкольцо, если подкольцо включено.
- Нельзя изменить порт с виртуального, пока подкольцо подключено к основному кольцу и включено.

Проверки при создании и удалении соединения колец:

- Подкольцо должно быть выключено.
- Кольца должны существовать.
- Нельзя создать связь повторно.
- Нельзя подключить одно подкольцо к нескольким основным кольцам на одном узле.
- Нельзя подключить два кольца взаимно друг к другу.
- Нельзя создать цепочку из подключенных колец на одном узле.
- Нельзя подключить подкольцо без виртуального порта.
- Нельзя соединить два основных кольца.
- Нельзя подключить основное кольцо как подкольцо.

8.4 Проверки операций пользователя

Проверка операций пользователя включает себя:

- проверку установки параметров;
- проверку команд FS, MS, clear.

Проверки установки параметров.

Проверки для значений портов кольца и RPL порта и роли RPL owner/neighbour работают по правилам:

- если кольцо или протокол выключены, изменяются только admin значения.
- если проверка не пройдена, также изменяются только admin значения.

Для остальных значений проверки предотвращают установку неправильных значений.

Перечень проверок установки параметров:

- При установке порта и типа кольца: нельзя задать виртуальный порт и тип кольца основной (MAJOR).
- При установке параметров, связанных с RPL: если включён режим RPL owner/neighbour, RPL порт должен быть указан.
- При установке режима без виртуального канала и типа кольца: нельзя включить данный режим и тип кольца основной (MAJOR) одновременно.
- При установке версии протокола и режима revertive: нельзя установить версию 1, если кольцо находится в состояниях MS/FS и одновременно перевести кольцо в режим pop-revertive.

Команды пользователя актуальны только при включенном протоколе и кольце.

Перечень проверок команд пользователя:

- Нельзя применить команду Forced switch на виртуальном порту, при version 1.
- Нельзя применить команду Manual Switch на виртуальном порту, при version 1.
- Нельзя применить команду clear при version 1.

8.5 Проверки при сохранении конфигурации.

Проверки при сохранении конфигурации выявляют несоответствия текущих введенных данных.

В режиме управления конфигурация уже проверена при вводе параметров и сохраняется.

В режиме редактирования конфигурации проверка обеспечивает корректный запуск протокола после перезагрузки

- R-APS VLAN должна существовать
- подкольцо должно быть подключено к основному кольцу, если задан виртуальный порт.
- Подкольцо не может быть подключено к нескольким основным кольцам на одном коммутаторе.
- Нельзя собрать цепочку из подключенных друг к другу колец.
- Нельзя подключить два основных кольца нельзя подключить основное кольцо к подкольцу.
- порты кольца должны быть заданы.
- виртуальные порты не разрешены на основном кольце.
- Режим без виртуального канала (no virtual channel) не может использоваться на основном кольце.
- Режим без восстановления исходной топологии (non revertive) не может использоваться в ERPS версии 1.
- Порты кольца должны быть различны.
- Если задан owner или heighbour, то должен быть задан rpl_port.
- Оба порта должны входить в VLAN с тегом.
- Порты не должны совпадать в различных кольцах.
- Порты кольца не могут использоваться в Ring или STP.
- Таймеры должны быть кратны шагу установки.
- Порты кольца не могут использоваться в Link Aggregation.
- RAPS-VLAN не может входить в число защищаемых.
- Нельзя указать виртуальный порт в качестве RPL.

9 Администрирование протокола ERPS

Администрирование протокола включает в себя:

- Настройку топологии сети;
- Вывод информации о состоянии протокола;
- Вывод статистики о служебном трафике протокола;
- Вывод информации о событиях протокола
- Использование команд управления.

Используемые в разделе команды описаны в документе «Коммутаторы серии ESW. CLI-интерфейс».

9.1 Настройка топологии сети

Настройка топологии сети включает в себя

- создание VLAN для сервисного трафика колец;
- создание и настройку колец;
- настройку соединения колец;

Процесс настройки колец, их соединения между собой и описание параметров кольца приведены в разделах «Настройка протокола ERPS», «Варианты топологии колец».

9.2 Информация о состоянии протокола

Вывод информации о состоянии протокола показывает состояние колец, глобальных переменных протокола, а также соединение колец между собой. Вывод состояния колец и переменных протокола выполняется с помощью команды `show erps {raps_vlan <vlanid> ring_id <ringid>}`. Можно запросить как вывод всей информации, так и по конкретному кольцу.

Строка «Operational west/east port» описывает актуальное состояние порта: номер, возможность перенаправления сообщений трафика в порт (blocking/forwarding), наличие аварии (Signal Fail). Если порт обозначен как virtual, номер и состояние blocking/forwarding указывается для порта основного кольца.

Пример вывода информации по всем кольцам:

```
# show erps
  Command: show erps
Global Status : Enabled
Log Status    : Enabled
Trap Status   : Enabled
-----
R-APS VLAN           : 2
RING ID             : 2
ERPS Status         : Enabled
West Port           : 9
Operational West Port : 9 (Signal Fail, blocking)
East Port           : virtual
Operational East Port : 12 virtual (Forwarding)
Admin RPL Port      : West
Operational RPL Port : West
Admin RPL Role      : Neighbour
Oper. RPL Role      : Neighbour
Oper. Owner Status  : Disabled
Oper. Neighbour Status : Active
Protected VLANs     : 1
Ring MEL            : 1
Holdoff Time        : 0 milliseconds
Guard Time          : 500 milliseconds
WTR Time            : 5 minutes
Revertive mode       : Disabled
No Virtual Channel   : Enabled
RAPS Version        : 2
Ring type            : subring
Current Ring State   : Protection
-----
R-APS VLAN           : 3
RING ID             : 1
ERPS Status         : Enabled
West Port           : 11
```

```

Operational West Port : 11 (Forwarding)
East Port             : 12
Operational East Port : 12 (Blocking)
Admin RPL Port        : East
Operational RPL Port  : East
Admin RPL Role        : Owner
Oper. RPL Role        : Owner
Oper. Owner Status    : Active
Oper. Neighbour Status : Disabled
Protected VLANs       : 1
Ring MEL              : 1
Holdoff Time          : 0 milliseconds
Guard Time            : 500 milliseconds
WTR Time              : 5 minutes
Revertive mode        : Enabled
No Virtual Channel    : Disabled
RAPS Version          : 2
Ring type              : ring
Current Ring State    : Pending

```

Total Rings: 2

Success.

Пример вывода информации по одному кольцу с идентификатором R-APS VLAN 3, RING_ID 1:

```

#show erps raps_vlan 3 ring_id 1
    Command: show erps raps_vlan 3 ring_id 1
Global Status : Enabled
Log Status    : Enabled
Trap Status   : Enabled
-----
R-APS VLAN      : 3
RING ID         : 1
ERPS Status     : Enabled
West Port       : 11
Operational West Port : 11 (Forwarding)
East Port       : 12
Operational East Port : 12 (Blocking)
Admin RPL Port  : East
Operational RPL Port  : East
Admin RPL Role  : Owner
Oper. RPL Role  : Owner
Oper. Owner Status : Active
Oper. Neighbour Status : Disabled
Protected VLANs  : 1
Ring MEL        : 1
Holdoff Time     : 0 milliseconds
Guard Time       : 500 milliseconds
WTR Time         : 5 minutes
Revertive mode   : Enabled

```

```

No Virtual Channel      : Disabled
RAPS Version            : 2
Ring type                : ring
Current Ring State      : Pending

```

```

Total Rings: 1
Success.

```

Текущее состояние кольца отображается в поле «Current ring state».

Поля «Admin RPL role», «Oper. RPL role» отображают вариант режима RPL: owner/neighbour. Поля «Oper. Owner Status», «Oper. Neighbour Status» показывают актуальное состояние функции RPL: поле является комбинацией полей «Admin RPL role», «Oper. RPL role». Значения enabled/disabled показывают состояние функции RPL owner/neighbour – включена/выключена, inactive означает, что функция включена оператором, но фактически выключена.

Соединения колец выводятся в виде таблицы с помощью команды show erps subrings. Для каждой пары колец приводится состояние параметра TC propagation (распространение события об аварии на подкольце по узлам основного кольца с помощью Event сообщений). TC propagation устанавливается для каждого подкольца. Подкольцо подключено только к одному основному кольцу на узле, поэтому каждому подкольцу соответствует одно значение TC propagation.

```

#show erps subrings
Command: show erps subrings
Subrings info
VLAN | Ring | SubVLAN | SubRing | TC
ID   | ID   | ID      | ID      | propagation
-----
3    | 1    | 2       | 2       | disabled
Success

```

9.3 Статистика протокола

Вывод статистики протокола позволяет отслеживать по каждому кольцу количество сообщений с различными флагами, а также сообщения с ошибками. По изменению количества сообщений можно наблюдать работоспособность протокола: приходят ли сообщения с ожидаемого направления, флаги сообщений.

Поле Frames Forwarded отображает количество перенаправленных пакетов. Поля с пометкой «Out» обозначают отправленные пакеты, «In» - входящие. Обозначения SF, NR, MS и т.д. соответствуют флагам сообщений и описаны в разделе «Описание R-APS пакетов». «Discard» - отброшенные протоколом сообщения с ошибкой. Среди отброшенных: «Wrong field» – ошибка в заведомо известном поле пакета, «Wrong port» - приём сообщения кольца с портов, которые не соответствуют портам кольца, «Invalid» - ошибка проверки валидности R-APS сообщения по стандарту.

```
# show exps statistics
```

```
Command: show exps statistics
```

```
Frames Discard Total : 0
```

```
Frames Forwarded Total : 0
```

```
-----
```

```
R-APS VLAN : 2
```

```
RING ID : 2
```

		west	east
Frames Out Total	:	5	0
Frames Out SF	:	5	0
Frames Out NR	:	0	0
Frames Out RB	:	0	0
Frames Out DNF	:	5	0
Frames Out BPR	:	5	0
Frames Out FS	:	0	0
Frames Out MS	:	0	0
Frames Out Event	:	0	0
Frames Discard Wrong Field	:	0	0
Frames Discard Invalid	:	0	0
Frames Discard Wrong Port	:	0	0
Frames In Total	:	0	0
Frames In SF	:	0	0
Frames In NR	:	0	0
Frames In RB	:	0	0
Frames In DNF	:	0	0
Frames In FS	:	0	0
Frames In MS	:	0	0
Frames In Event	:	0	0

```
-----
```

```
R-APS VLAN : 3
```

```
RING ID : 1
```

```
west east
```

<i>Frames Out Total</i>	:	6	6
<i>Frames Out SF</i>	:	0	0
<i>Frames Out NR</i>	:	6	6
<i>Frames Out RB</i>	:	0	0
<i>Frames Out DNF</i>	:	0	0
<i>Frames Out BPR</i>	:	0	0
<i>Frames Out FS</i>	:	0	0
<i>Frames Out MS</i>	:	0	0
<i>Frames Out Event</i>	:	0	0
<i>Frames Discard Wrong Field</i>	:	0	0
<i>Frames Discard Invalid</i>	:	0	0
<i>Frames Discard Wrong Port</i>	:	0	0
<i>Frames In Total</i>	:	0	0
<i>Frames In SF</i>	:	0	0
<i>Frames In NR</i>	:	0	0
<i>Frames In RB</i>	:	0	0
<i>Frames In DNF</i>	:	0	0
<i>Frames In FS</i>	:	0	0
<i>Frames In MS</i>	:	0	0
<i>Frames In Event</i>	:	0	0

Success.

Для отслеживания отдельных событий в работе протокола по статистике можно сбрасывать статистику: общие параметры или сброс статистики конкретного кольца:

```
# clear erps statistics
```

```
Command: clear erps statistics
```

```
Success.
```

```
# clear erps statistics raps_vlan 3 ring_id 1
```

```
Command: clear erps statistics raps_vlan 3 ring_id 1
```

```
Success.
```

9.4 События протокола

При работе протокола ERPS могут возникнуть следующие события:

- SF (Signal Fail) – авария. В событии указываются RAPS VLAN ID, RING ID и MAC-адрес коммутатора, который обнаружил аварию. Обнаружение события SF возникает во всех коммутаторах вне зависимости от того на порту какого коммутатора произошла авария;
- Clear SF - восстановление исходной топологии (после состояния аварии). В событии указываются RAPS VLAN ID, RING ID и MAC-адрес коммутатора, который обнаружил восстановление связи на своем порту. Событие Clear SF возникает только в коммутаторе, на порту которого произошло восстановление связи;
- конфликт коммутаторов, с включенной функцией RPL owner. Конфликт обнаруживается, если RPL owner обнаруживает сообщения, которые может отправлять только он. Сообщения, позволяющие обнаружить конфликт, отправляются после перехода кольца в состояние IDLE после истечения WTR таймера 5-12 мин. Другой RPL Owner не может быть обнаружен, если кольцо работает в режиме non-revertive и может перейти в состояние IDLE только по команде оператора. Дублирование RPL neighbour нельзя обнаружить.

События протокола ERPS могут:

- регистрироваться в локальном журнале событий коммутатора;
- вызывать генерацию сообщений Syslog;
- вызывать генерацию snmp trap;

Включение логирования событий протокола выполняется командой ниже. Логирование производится в локальный журнал коммутатора и в сообщения Syslog.

```
# config erps log enable
Command: config erps log enable
Success.
```

Вывести локальный журнал событий коммутатора можно командой show log:

```
# show log
Command: show log
...
9:13:38.0 Local0.Notice 192.168.0.201 ERPS %% RAPS_VLAN 2, RING ID 2: Signal fail detected on
node 00:50:c2:b1:a0:00
Success.
```

Включить генерацию событий SNMP trap можно командой:

```
# config erps trap enable
Command: config erps trap enable
Success.
```

9.5 Использование команд оператора

Для управления работой протокола предусмотрены команды оператора, с помощью которых можно:

- блокировать не заблокированный порт и разблокировать заблокированный (переключать блокировку вручную, manual switch MS или принудительно, forced switch FS);
- переводить кольцо в состояние покоя IDLE до истечения таймеров WTR/WTB
- переводить кольцо в состояние покоя при работе в режиме non-revertive;
- для горячей замены узла сети;
- для восстановления связности кольца вручную.

Команды оператора:

- Manual Switch (MS) – команда ручного блокирования указанного порта, и разблокирования противоположного. Применяется при отсутствии аварии и других событий более высокого приоритета. Пример команды Manual Switch:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 manual_switch west
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 manual_switch west
Success.
```

- Forced Switch (FS) – команда принудительного блокирования указанного порта и разблокирования противоположного даже при наличии аварии и других событий. Может применяться для горячей замены узла сети. Пример команды Forced Switch:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch west
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch west
Success.
```

- Clear – команда сброса, используется для:
 - сброса ранее заданной команды (MS/FS);
 - перевода кольца в состояние IDLE до истечения таймеров;
 - восстановления исходной топологии (reversion), если кольцо используется в режиме non-revertive.

Команда Clear применяется без привязки к порту.

Пример команды Clear:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Success.
```

Команды оператора MS, FS соответствуют одноименным состояниям кольца. После перехода в состояние MS, FS требуются последующие события или новая команда оператора для изменения состояния.

Приоритет событий протокола показан ниже, в соответствии с таблицей 2 команда оператора будет применена или отклонена. Приоритет убывает от первой строки к последующим.

Таблица 2. Приоритет событий

Событие	Источник
Clear, очистка команды	Локальная команда
FS, принудительное переключение	Локальная команда
R-APS FS, принудительное переключение	Удалённая команда
SF, авария	Локальное событие
Clear SF, устранение аварии	Локальное событие
R-APS SF, авария	Удалённое событие
R-APS MS, ручное переключение	Удаленная команда
MS, ручное переключение	Локальная команда
WTR истекает	Локальное событие
WTR работает	Локальное состояние
WTB истекает	Локальное событие
WTB работает	Локальное состояние
R-APS NR, RB, без события, RPL блокирован	Удалённое событие
R-APS NR, без события	Удалённое событие

Замечания:

Clear – команда пользователя, Clear SF – событие в работе протокола.

Команда Clear переводит кольцо из состояния PENDING в IDLE на любом узле кольца, не обязательно RPL owner или RPL neighbour.

После смены состояния кольца с Manual Switch на другое (например, Signal Fail) действие команды MS прекращается.

Команда Manual switch не вызовет изменения состояния кольца, если оно находится в Forced switch.

Команда MS может использоваться для изменения пути следования пакетов по кольцу. MS блокирует указанный порт и разблокирует противоположный, и сообщает остальным коммутаторам об изменении маршрута. Удаленная команда MS более приоритетна, чем локальная.

Команда FS может использоваться также для изменения пути следования трафика, в т.ч. при наличии аварии на кольце.

Команда Clear, в случае наличия действующей команды FS/MS, сменяет состояние FS/MS на Pending. При повторном использовании для RPL Owner команда вызовет переход кольца в состояние Idle до истечения WTR. На узлах сети, не являющихся RPL Owner, применение команды по стандарту нецелесообразно, но возможно. Clear для таких узлов

работает при работе в non-revertive режиме, когда RPL Owner никогда не восстанавливает исходную топологию. Требуется:

- перевести узел в non-revertive режим;

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive disable
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive disable
Success.
```

- применить команду Clear;

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Success.
```

- при необходимости вернуть узел в revertive режим.

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive enable
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive enable
Success.
```

Замечание:

Если в кольце присутствует авария, и узлы находятся в Forced Switch, команда Clear, выполненная на RPL owner, не обеспечивает выхода всех узлов из состояния Forced switch. Для этого надо устранить аварию или дать команду Clear на каждом узле кольца.

Команды MS и FS должны сбрасываться на тех же узлах, где были вызваны. Команда MS может быть сброшена без участия оператора, если возникнет более приоритетное событие, например, SF. Команда FS сохраняется, пока оператор не сбросит команду вручную.

Команды MS и FS могут использоваться для удаления узла сети. Команды применяются к порту кольца. Номера узлов соответствуют рисунку 6.

При удалении узла требуется:

- выполнить команду FS на соседних к удаляемому узлу узлах на портах, к которым подключен узел;

узел 2:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch east
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch east
Success.
```

узел 4:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch west
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch west
Success.
```

- извлечь узел и соединить оставшиеся узлы;

- выполнить команду FS на оставшихся узлах;

узел 2:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch east
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch east
Success.
```

узел 4:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch west
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch west
Success.
```

- выполнить команду clear на оставшихся узлах в состоянии FS.

узел 2:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Success.
```

узел 4:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Success.
```

Поведение команды FS будет отличаться сохранением состояния кольца в Forced Switch после удаления узла (возникновения аварии). Смысл использования FS в игнорировании аварии (SF) на время проведения операций.

На рисунке 6. приведена последовательность удаления узла. Кружком обозначен заблокированный порт.

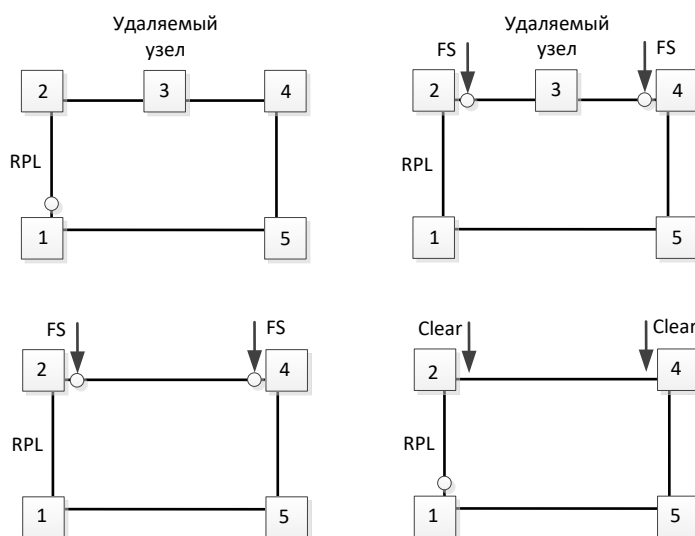


Рисунок 6. Удаление узла кольца

Замена узла аналогична удалению узла, перед выполнением команды `clear` устанавливается новый узел вместо удаленного.

Возможен сценарий аварии узла, который находится в состоянии Forced Switch таким образом, что узел недоступен по сети вообще, или же команда Forced Switch была введена по ошибке на самом узле, который удаляется из кольца.

В таком случае требуется:

- дать команду FS на соседних к аварийному коммутаторах;

узел 2:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch east
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch east
Success.
```

узел 4:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch west
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 forced_switch west
Success.
```

- дать команду Clear на тех же коммутаторах.

узел 2:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Success.
```

узел 4:

```
# config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Command: config erps raps_vlan 3 ring_id 1 clear
Success.
```

10 Варианты топологии колец

Для построения произвольной топологии сети используется соединение колец друг с другом. При соединении основным кольцом считается полностью замкнутое кольцо без виртуальных портов. Подкольцом считается кольцо, которое замкнуто через другое кольцо. При соединении колец R-APS VLAN всегда различны. Protected VLAN полезного трафика могут быть одинаковыми или различаться, например, для различных видов трафика. Protected VLAN может быть сколько угодно в пределах допустимого количества – 4094. Protected VLAN могут задаваться диапазонами.

Варианты соединения колец:

- соединение колец, используя различные порты коммутатора, с одинаковой Protected VLAN;
- соединение колец, используя различные порты коммутатора, с различными Protected VLAN;
- соединение основных колец и подколец;

10.1 Соединение колец с одинаковой Protected VLAN

Соединение колец с одинаковой Protected VLAN может приводить к нежелательному замыканию кольца. Замыкание порождает шторм широковещательных пакетов, т.к. нарушается топология шины Ethernet, пакеты могут перенаправляться циклически.

Нежелательное замыкание, циклическая связь - логически замкнутое кольцо, которое образовалось при работе протокола ERPS в Ethernet-сети с несколькими физическими кольцами.

Замечание:

Нежелательные кольца могут образоваться только при коммутации трафика Protected VLAN. Трафик R-APS VLAN изолирован в каждом физическом кольце и не может образовать нежелательное замыкание.

При построении топологии из колец необходимо придерживаться правила:

нежелательное замыкание происходит, если:

- любое кольцо имеет более одного узла, пересекающегося с любыми другими кольцами и при этом:

- у всех колец есть совпадающие Protected VLAN;
- другое кольцо не является подкольцом данного;
- есть возможный путь замыкания трафика (например, кольца соединены циклически или есть участок из двух узлов разных колец и одинаковой Protected VLAN);

Если кольцо имеет не более одного узла пересечения, возможно только однократное соединение двух колец, и такая топология не будет содержать нежелательных замыканий. На рисунке 7, два кольца объединены одним коммутатором, и нежелательной циклической связи не возникает.

Циклической связи не образуется при любом расположении узла с RPL Owner колец.

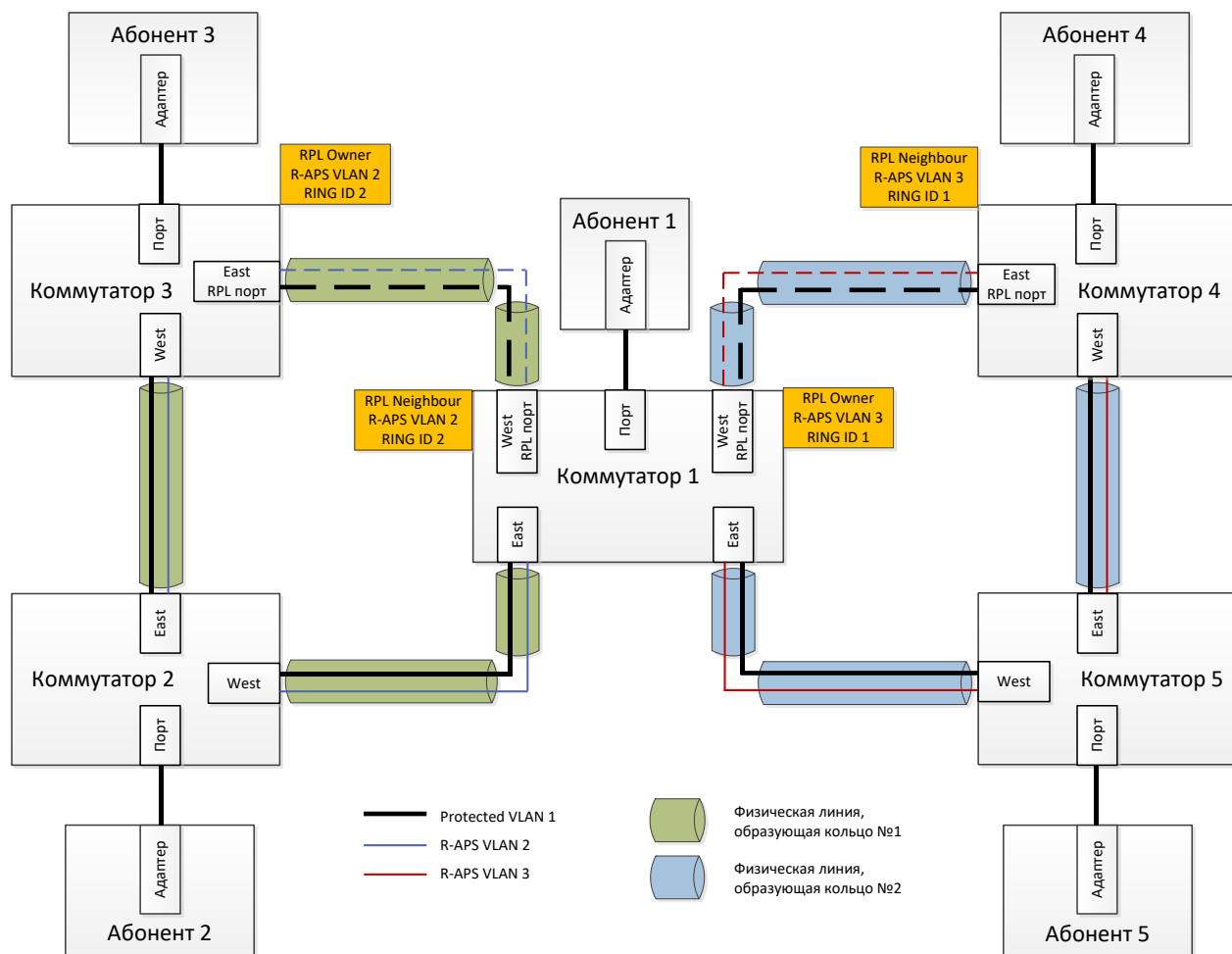


Рисунок 7. Два физических кольца с одной Protected VLAN и двумя RAPS VLAN, имеющие один общий коммутатор

На рисунке 8 кольца имеют два узла, совпадающие с другим кольцом. На рисунке 9 кольца имеют два узла, совпадающие с разными кольцами. Такие топологии приводят к формированию нежелательных циклических связей. Нежелательные связи между портами обозначены отдельным цветом.

Циклическая связь образуется при любом расположении RPL Owner колец.

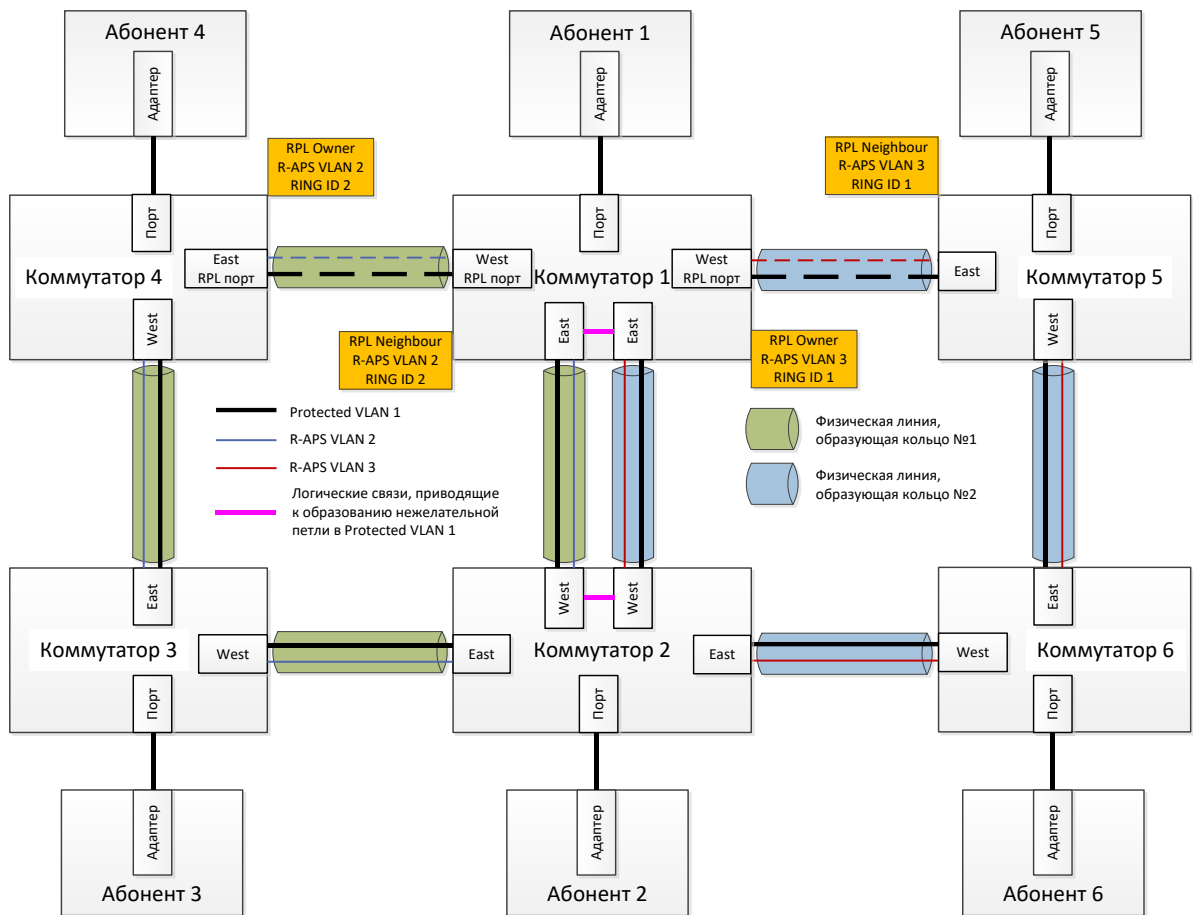


Рисунок 8. Два кольца, образующие нежелательную циклическую связь.

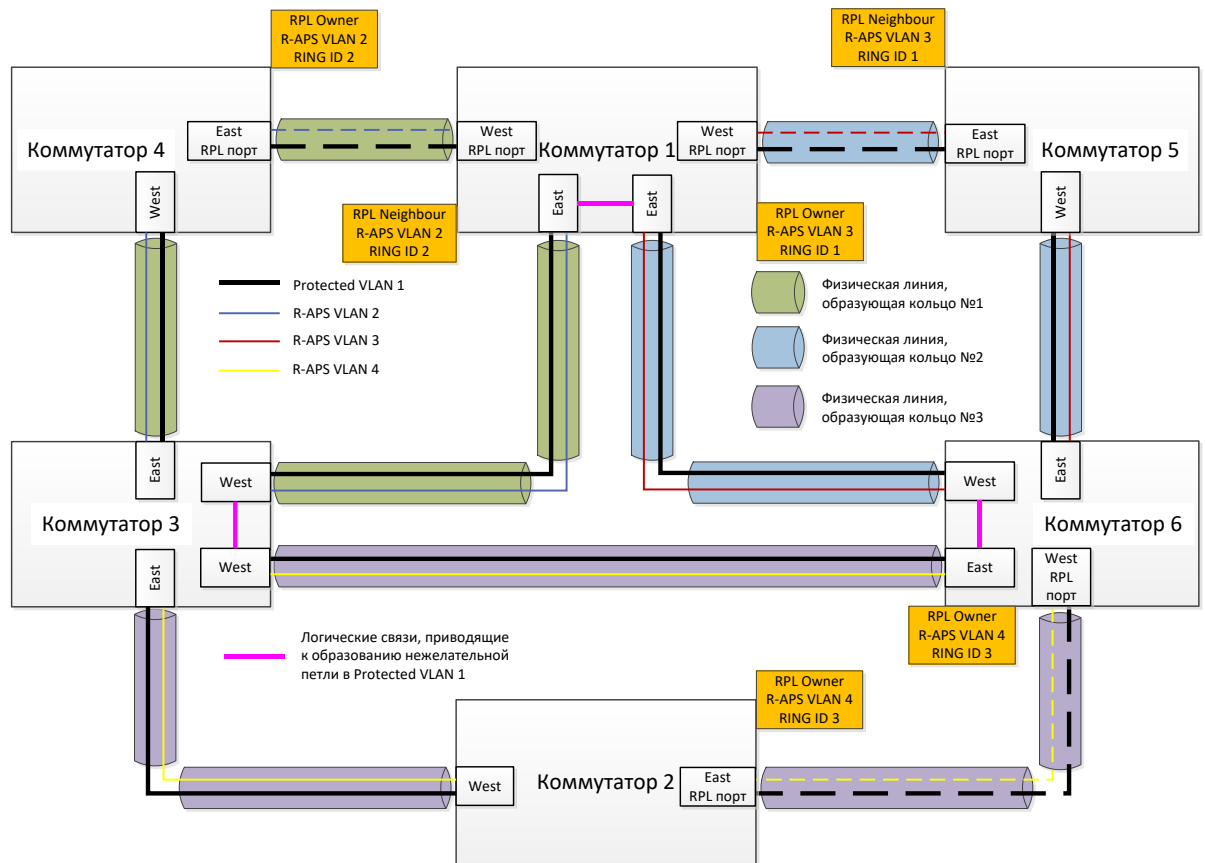


Рисунок 9. Три кольца, имеющие более одного общего коммутатора с другими кольцами. Образуется нежелательная циклическая связь.

10.2 Соединение колец с различными Protected VLAN

Соединение колец с различными Protected VLAN позволяет разбить трафик так, чтобы не возникало циклических связей. При этом действует правило соединения колец выше. Избежать образования циклических связей позволяют различные Protected VLAN, но при этом полезный трафик оказывается изолированным в разных Protected VLAN.

На рисунке 10 соединены 2 кольца с различными Protected VLAN. На рисунке 11 соединены 3 кольца с различными Protected VLAN. Отсутствие циклических связей сохранится, если Protected VLAN кольца №2 и №3 будут одинаковыми, на рисунке 12 изображен такой вариант.

Циклической связи не образуется при любом расположении узла с RPL Owner колец.

Замечание:

по умолчанию все пакеты без VLAN тэга перенаправляются во VLAN 1, что вызовет широковещательный шторм. Рекомендуется изменить VLAN, в которую перенаправляются нетегированные пакеты на одну из защищаемых или исключить порты всех кроме одного колец из VLAN 1.

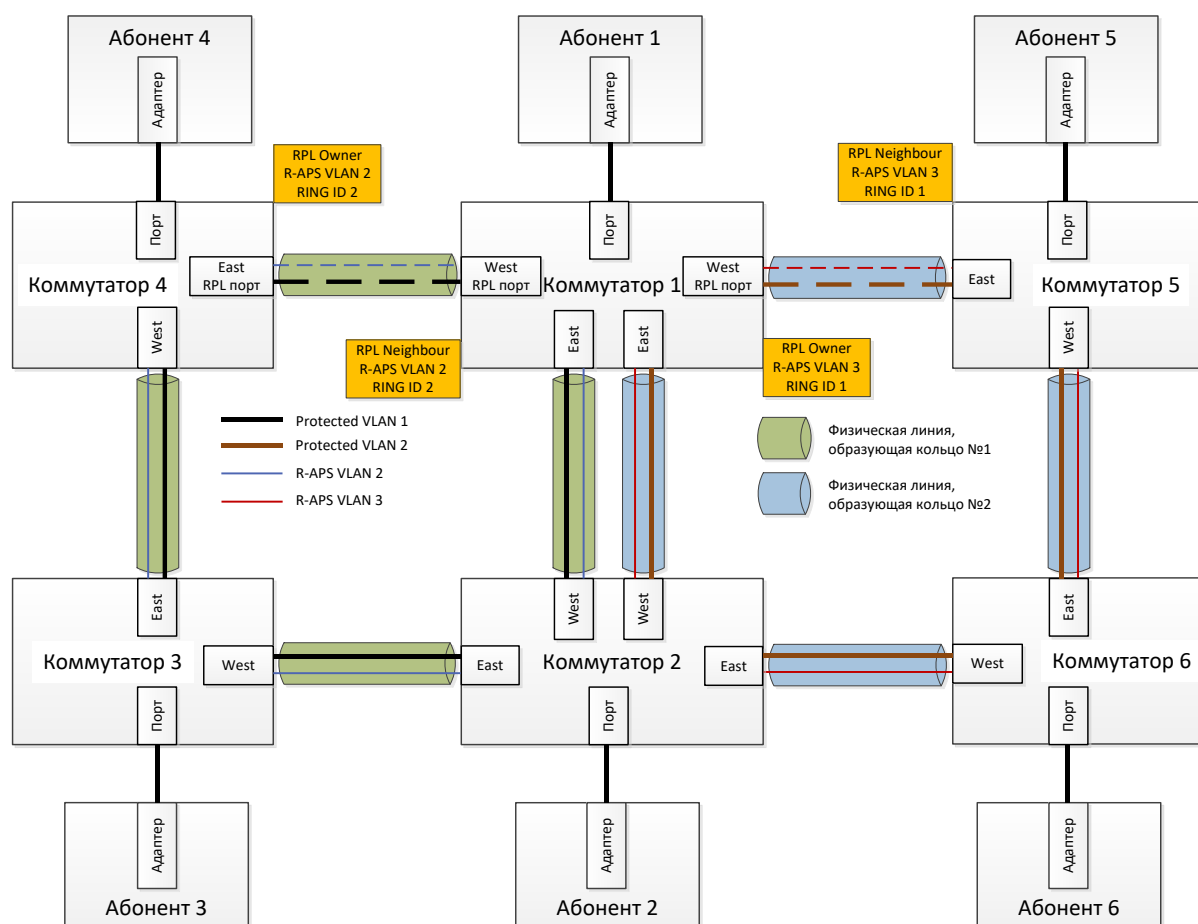


Рисунок 10. Два кольца, имеющие различные Protected VLAN. Топология не содержит нежелательных циклических связей.

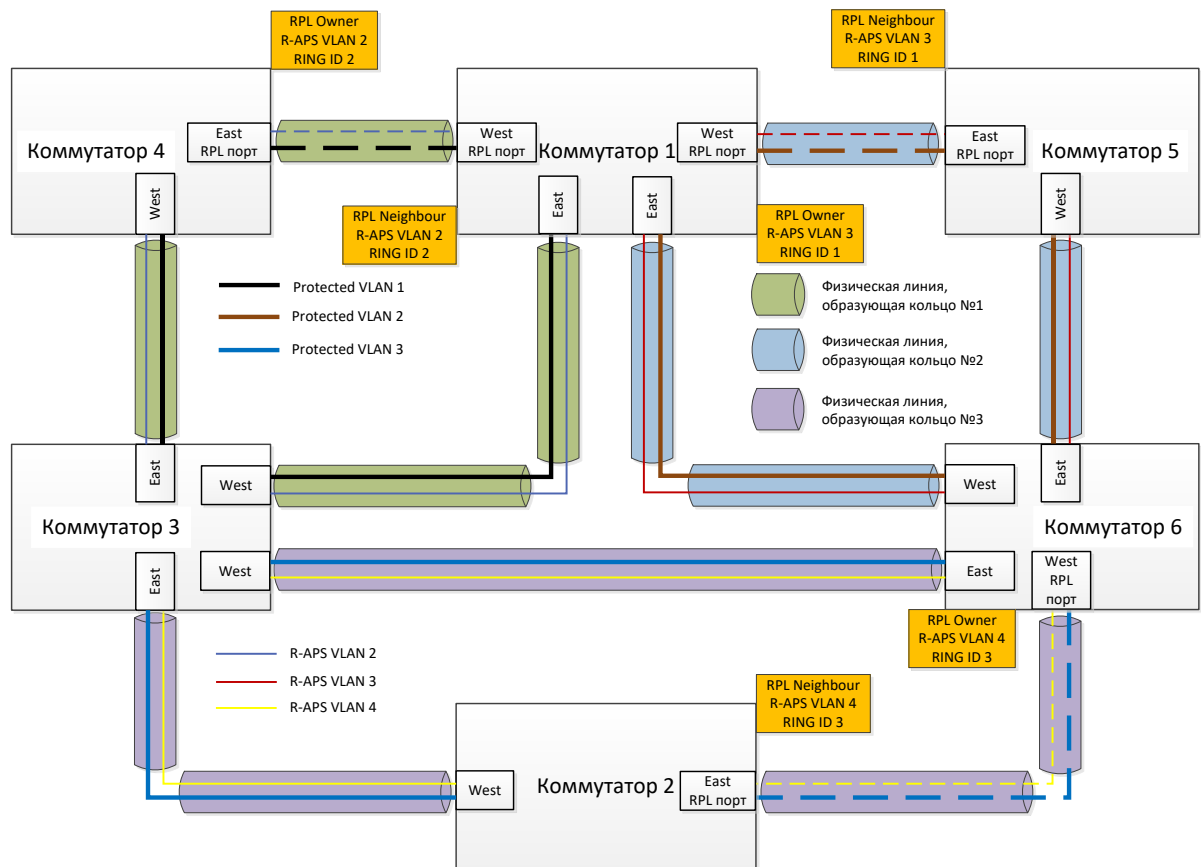


Рисунок 11. Три кольца, имеющие различные Protected VLAN.
Топология не содержит нежелательных циклических связей.

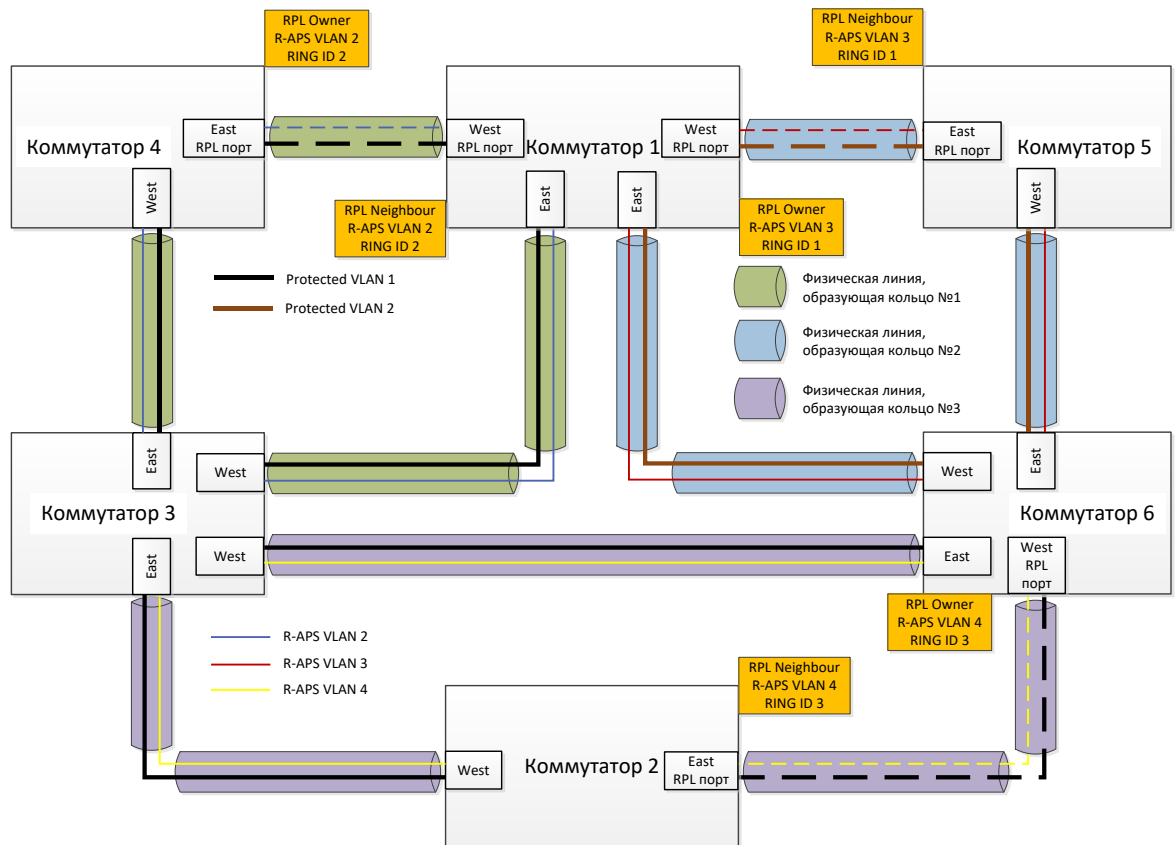


Рисунок 12. Три кольца, имеющие 2 различные Protected VLAN.
Топология не содержит нежелательных циклических связей.

10.3 Соединение основных колец и подколец

Соединение основных колец и подколец обеспечивает отсутствие циклических связей силами протокола. Такой способ построения сети является предпочтительным. Подкольцо сообщает основному кольцу об изменении топологии. Основное кольцо в свою очередь, отправляет Event сообщения, чтобы все узлы быстро среагировали на изменение топологии подкольца. Подкольцо повторно использует порт основного кольца.

Наиболее простым вариантом топологии является соединение основного кольца и подкольца. Ниже приведен пример конфигурации топологии, приведенной на рисунке 13. Основное кольцо составляют коммутаторы 1-4, подкольцо – 5-6. В данном варианте указана конфигурация с использованием виртуального канала. Подробнее см. раздел «Настройка протокола ERPS». Виртуальный канал используется для R-APS пакетов, пакеты трафика перенаправляются включением или исключением порта из Protected VLAN.

Основное кольцо RAPS VLAN 3, RING ID 1.

Подкольцо RAPS VLAN 2, RING ID 2.

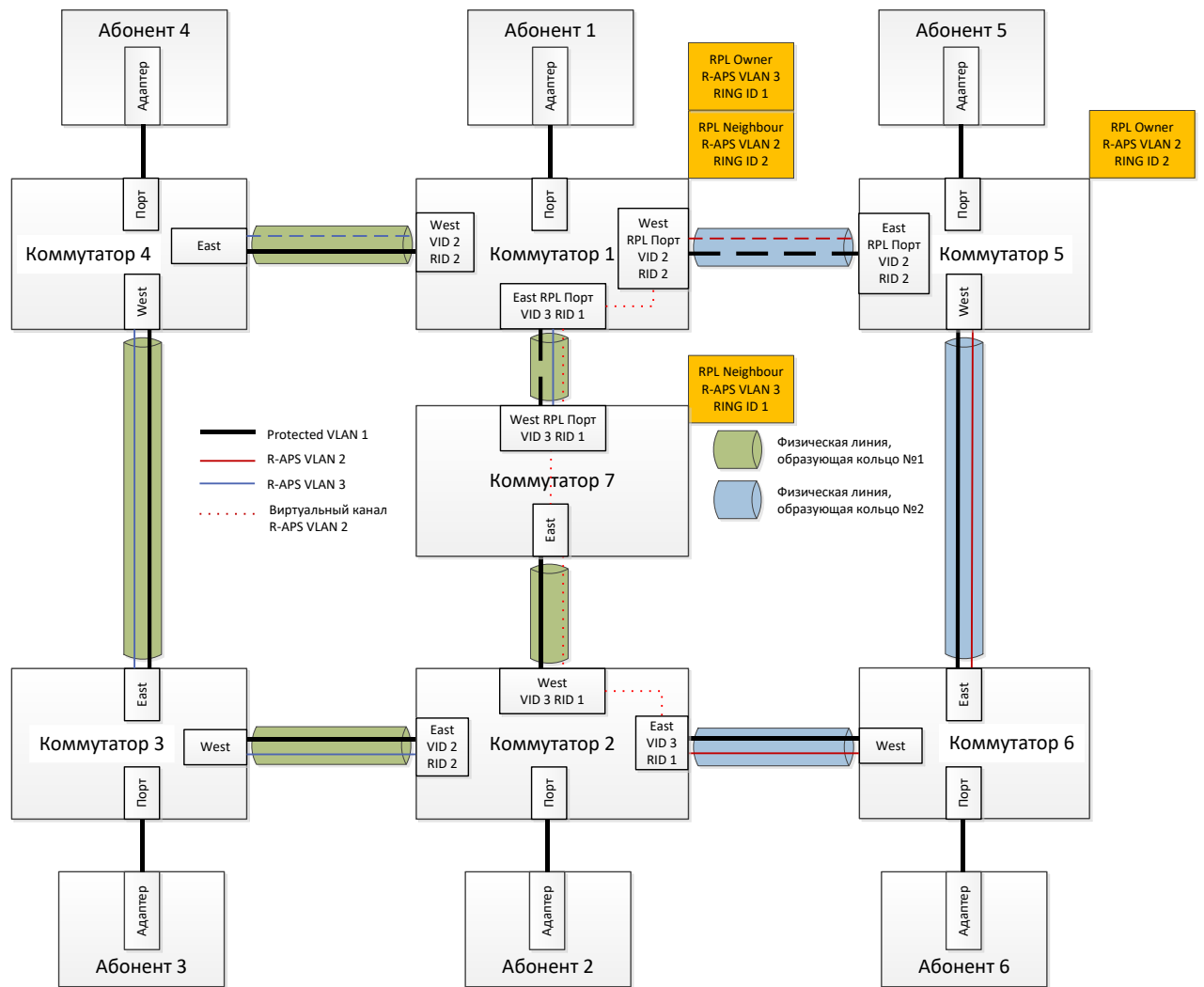


Рисунок 13. Основное кольцо и подкольцо, соединенные с использованием виртуального канала

Конфигурация 1:

- RAPS VLAN 3, RING ID 1, RPL Owner;
- RAPS VLAN 2, RING ID 2, RPL Neighbour.

```

create vlan 2 RAPS_2
create vlan 3 RAPS_3

config vlan 2 add ports 1-4 tagged
config vlan 3 add ports 3-4 tagged

create erps raps_vlan 2 ring_id 2
create erps raps_vlan 3 ring_id 1

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port west 1
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port east virtual_channel
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port west 3
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port east 4

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_port west
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_role neighbour
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_port east
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_role owner

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 protected_vlan add vlanid 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 protected_vlan add vlanid 1

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 revertive enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive enable

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 no_virtual_channel disable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 no_virtual_channel disable

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 version 2
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 version 2

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_type subring
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_type major

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_mel 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_mel 1

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer wtr_time 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer wtr_time 1

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer guard_time 500
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer guard_time 500

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer holdoff_time 0
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer holdoff_time 0

```

```

config erps raps_vlan 3 ring_id 1 add subring raps_vlan 2 ring_id 2
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 subring raps_vlan 2 ring_id 2 tc_propagation enable

config erps enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 state enable
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 state enable

```

Конфигурация 2:

- RAPS VLAN 3, RING ID 1, RPL Neighbour;
- RAPS VLAN 2, RING ID 2, RPL Owner.

```

create vlan 2 RAPS_2
create vlan 3 RAPS_3

config vlan 2 add ports 1-4 tagged
config vlan 3 add ports 3-4 tagged

create erps raps_vlan 2 ring_id 2
create erps raps_vlan 3 ring_id 1

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port west virtual_channel
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port east 2
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port west 3
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port east 4

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_port none
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_role none
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_port west
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_role neighbour

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 protected_vlan add vlanid 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 protected_vlan add vlanid 1

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 revertive enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive enable

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 no_virtual_channel disable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 no_virtual_channel disable

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 version 2
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 version 2

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_type subring
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_type major

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_mel 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_mel 1

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer wtr_time 1

```

```

config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer wtr_time 1

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer guard_time 500
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer guard_time 500

config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer holdoff_time 0
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer holdoff_time 0

config erps raps_vlan 3 ring_id 1 add subring raps_vlan 2 ring_id 2
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 subring raps_vlan 2 ring_id 2 tc_propagation enable

config erps enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 state enable
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 state enable

```

Конфигурации 3, 4:

- RAPS VLAN 3, RING ID 1, RPL none.

```

create vlan 3 RAPS_3
config vlan 3 add ports 3-4 tagged

create erps raps_vlan 3 ring_id 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port west 3
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port east 4
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_port none
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_role none
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 protected_vlan add vlanid 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 no_virtual_channel disable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 version 2
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_type major
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_mel 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer wtr_time 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer guard_time 500
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer holdoff_time 0
config erps enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 state enable

```

Конфигурация 5:

- RAPS VLAN 2, RING ID 2, RPL Owner;

- тип кольца установлен в subring.

```

create vlan 2 RAPS_2
config vlan 2 add ports 1-2 tagged

create erps raps_vlan 2 ring_id 2
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port west 1
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port east 2

```

```

config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_port east
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_role owner
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 protected_vlan add vlanid 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 no_virtual_channel disable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 version 2
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_type subring
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_mel 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer wtr_time 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer guard_time 500
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer holdoff_time 0
config erps enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 state enable

```

Конфигурация 6:

- RAPS VLAN 2, RING ID 2, RPL None;
- тип кольца установлен в subring.

```

create vlan 2 RAPS_2
config vlan 2 add ports 1-2 tagged

create erps raps_vlan 2 ring_id 2
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port west 1
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_port east 2
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_port none
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 rpl_role none
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 protected_vlan add vlanid 1
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 revertive enable
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 no_virtual_channel disable
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 version 2
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_type subring
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 ring_mel 1
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer wtr_time 1
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer guard_time 500
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 timer holdoff_time 0
config erps enable
config erps raps_vlan 2 ring_id 2 state enable

```

Конфигурация 7:

- RAPS VLAN 3, RING ID 1, RPL none;
- VLAN 2 для передачи R-APS пакетов по виртуальному каналу.

Замечание:

В случае использования режима без виртуального канала (no virtual channel) R-APS VLAN 2 подкольца (RAPS VLAN 2, RING ID 2) должна отсутствовать на узлах основного

кольца (RAPS VLAN 1, RING ID 1) или не включать в себя портов, по которым возможна коммутация, иначе возможно нежелательное замыкание.

```
create vlan 2 RAPS_2
create vlan 3 RAPS_3

config vlan 2 add ports 3-4 tagged
config vlan 3 add ports 3-4 tagged

create erps raps_vlan 3 ring_id 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port west 3
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_port east 4
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_port none
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 rpl_role none
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 protected_vlan add vlanid 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 revertive enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 no_virtual_channel disable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 version 2
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_type major
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 ring_mel 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer wtr_time 1
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer guard_time 500
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 timer holdoff_time 0

config erps enable
config erps raps_vlan 3 ring_id 1 state enable
```

10.4 Варианты соединения основных колец и подколец

Существуют типовые схемы подключения кольца к подкольцу, рекомендованные стандартом. Схемы соединения поясняют, где может находиться RPL порт кольца, возможное расположение узлов при соединении.

При выборе схемы подключения есть специфика работы топологии:

- при использовании режима с виртуальным каналом сообщения передаются через коммутаторы подкольца; надёжность доставки будет зависеть от наличия аварий на основных кольцах; следует выбирать более короткий путь R-APS пакетов по виртуальному каналу;
- при множественной аварии на различных кольцах сигнал об аварии передается только от подкольца к кольцу, но не наоборот.
 - Авария на подкольце вызовет перестройку пути соединения на основном кольце, пока есть хотя бы один вариант соединения.
 - Авария на основном кольце не вызовет перестройки топологии подкольца, и, если основное кольцо сменит узел соединения колец, то подкольцо не среагирует, и связь будет потеряна, даже при наличии варианта соединения.

Замечание:

Некоторые варианты подключения, логически возможные кроме перечисленных, запрещены в данной реализации протокола проверками соединения колец. Подробнее см. раздел «Проверки значений переменных протокола», подраздел «Проверки конфликтов соединения колец».

Приведем упрощённые схемы соединения колец.

1. Расположение RPL (связи между коммутаторами) подкольца.

RPL может быть расположена между любыми узлами подкольца. RPL подкольца не может быть расположена между узлами соединения колец на основном кольце.

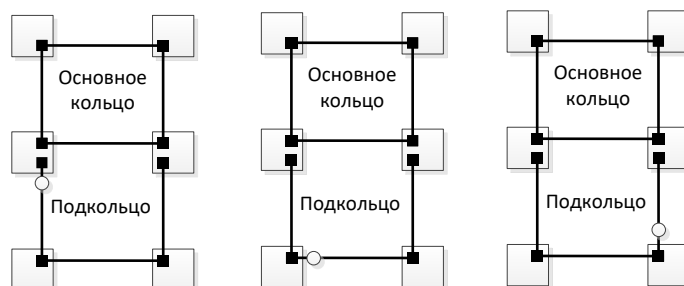


Рисунок 14. Расположение RPL подкольца

2. Промежуточный узел между узлами соединения колец.

Узлы основного кольца могут быть установлены между узлами соединения колец.

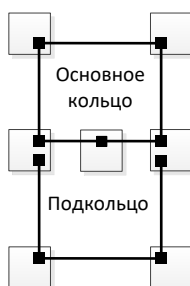


Рисунок 15. Промежуточный узел

3. Несколько подколец, подключенных к основному кольцу

Два узла соединения колец позволяют подключить несколько подколец к основному кольцу.

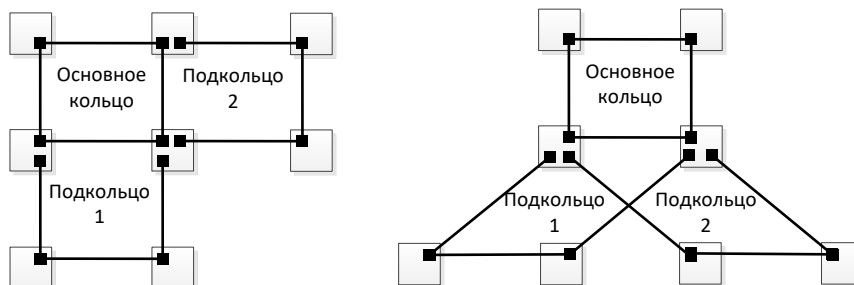


Рисунок 16. Подкольца, подключенные к одному основному кольцу

4.

Соединение подколец.

Подкольцо позволяет подключать другие подкольца. При этом применимы пункты 2 и 3.

- нельзя создать цепочку более двух колец, подключенных по очереди друг к другу.

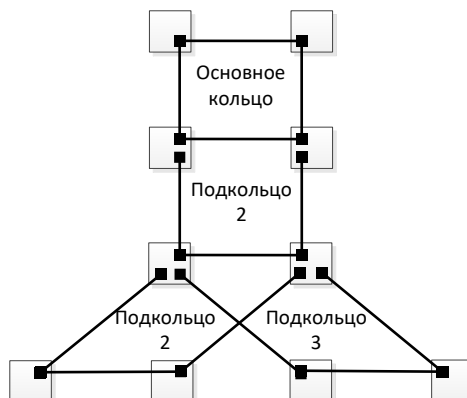


Рисунок 17. Подкольца, построенные каскадом

5. Подкольцо, подключенное к нескольким кольцам.

Подкольцо может быть подключено к основному кольцу и нескольким подкольцам. При этом действуют ограничения:

- нельзя создать цепочку более двух колец, подключенных по очереди друг к другу на одном узле;
- нельзя подключить подкольцо к нескольким кольцам на одном узле.

Подкольцо подключается к основному кольцу только на узлах соединения колец. Путь виртуального канала для R-APS сообщений задается созданием VLAN на цепочке коммутаторов, соответствующей R-APS VLAN подкольца и добавлением портов с тэгом.

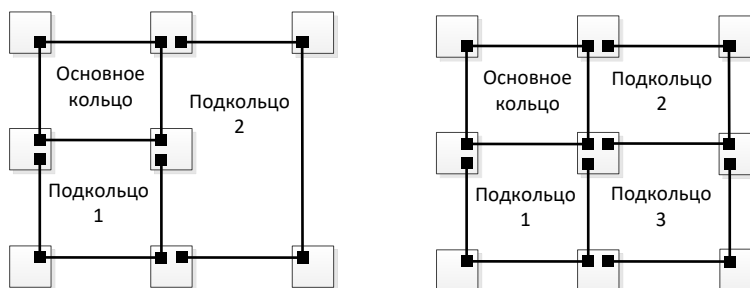


Рисунок 18. Подкольца, подключенные к нескольким кольцам

6. Подкольцо, подключенное к нескольким не соединённым друг с другом основным кольцам.

Подкольцо в этом случае состоит из двух связанных основным кольцом участков, но при потере связи в основном кольце участки работают отдельно.

- требуются несколько виртуальных каналов от основных колец;
- возможен вариант только с использованием виртуального канала.
- подкольцо изначально представляет собой два сегмента, доставка R-APS пакетов зависит от основных колец в большей степени, чем в других топологиях.



Рисунок 19. Подкольцо, подключенное к отдельным основным кольцам

10.5 Двойное резервирование

Один из вариантов соединения колец – двойное резервирование. Возможен вариант различных Protected VLAN и абонентов сети с двумя адаптерами под каждую Protected VLAN. На рисунке 20 показана такая топология сети.

Замечание:

По умолчанию все пакеты без VLAN тэга перенаправляются во VLAN 1, что вызовет широковещательный шторм. Рекомендуется изменить VLAN, в которую перенаправляются нетегированные пакеты на одну из защищаемых или исключить порты всех кроме одного колец из VLAN 1.

В случае если Protected VLAN будет одна, образуются нежелательные замыкания, такая топология приведена на рисунке 21.

Вариант двойного резервирования с использованием соединения основных колец и подколец, невозможен. ERPS обеспечивает однократное резервирование соединения. Двойное кольцо требует согласованного блокирования сразу нескольких линий связи, чего не добиться соединением колец:

- сигнал об изменении топологии проходит от подкольца к кольцу, не в обе стороны, двойная авария на основном кольце не будет исправлена подкольцом;
- дублирование соединения приводит к нежелательному замыканию, отсутствию трафика (если подкольцо расположено на двух узлах соединения колец), или самостоятельному управлению трафиком подкольцом (независимо от основного).

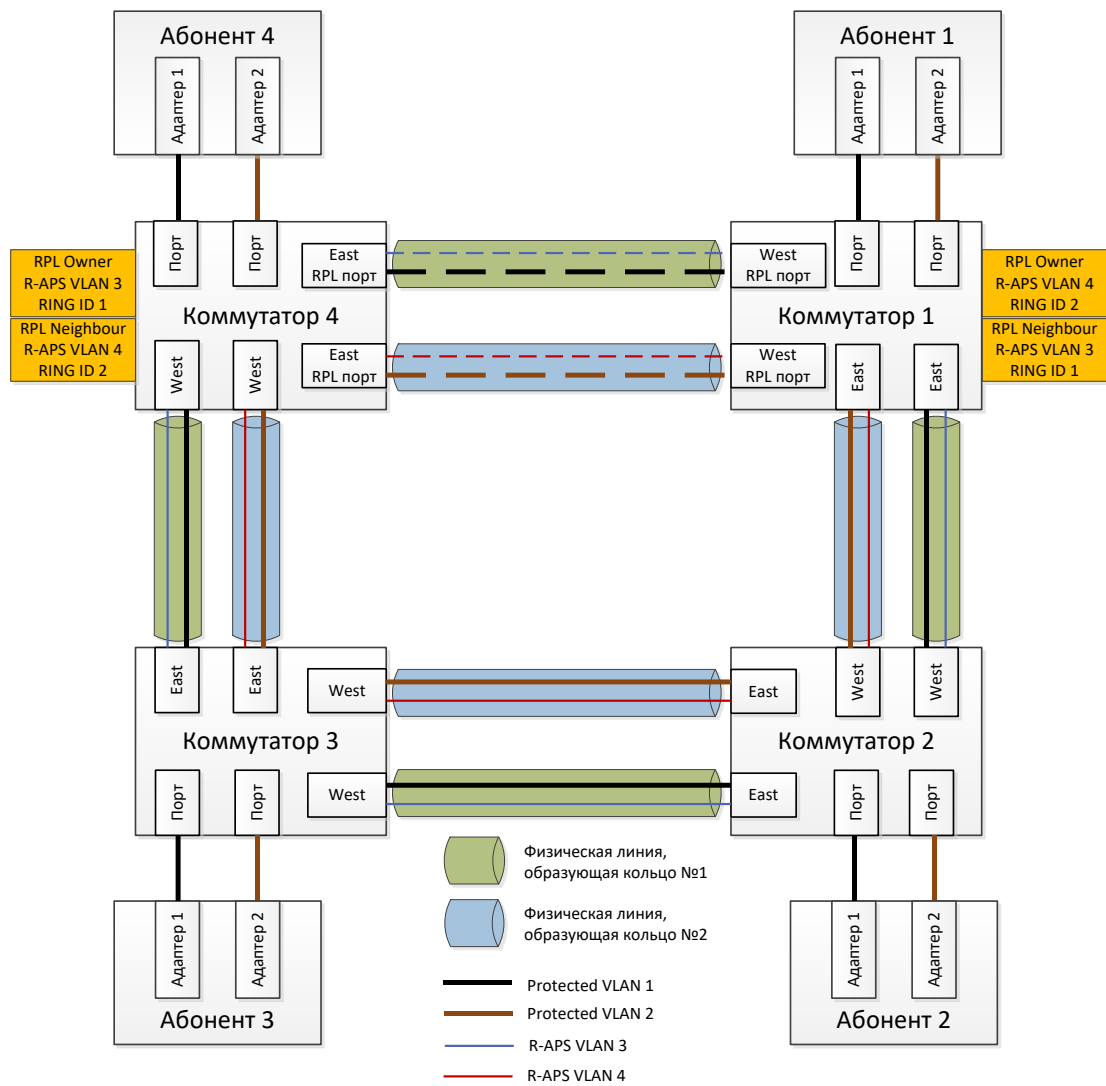


Рисунок 20. Топология двойного резервирования с различными Protected VLAN

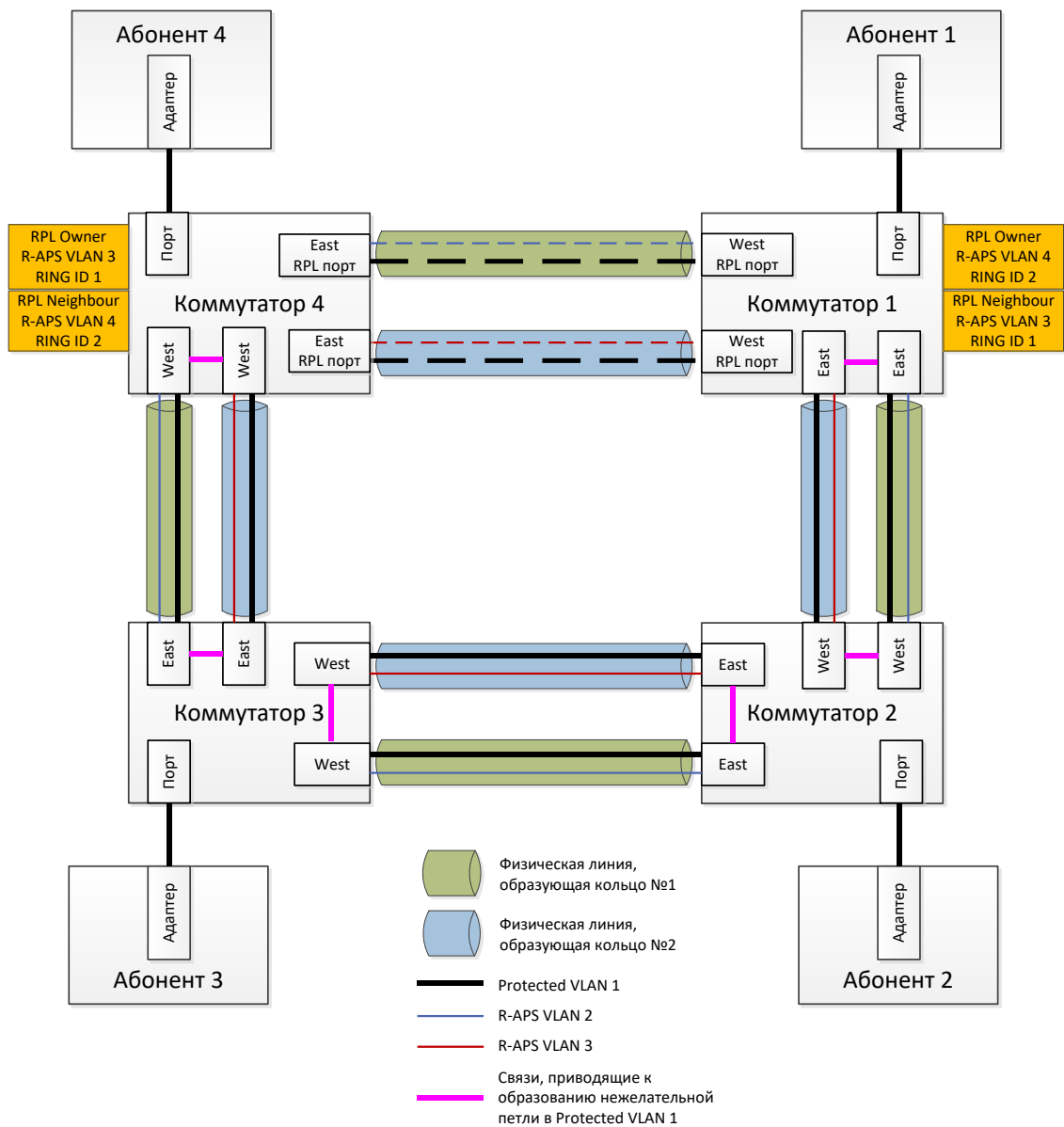


Рисунок 21. Топология двойного резервирования с одной Protected VLAN приводит к нежелательным замыканиям.

11 Особенности реализации протокола ERPS в коммутаторах производства АО

Элкус

- Возможна работа одновременно до восьми колец, работающих на разных портах (соответственно с разными R-APS VLAN, RING ID);
- Параметр настройки кольца ring_MEL (команда `config erps raps_vlan <vlanid> ring_id <ringid> ring_mel <value 0-7>`) поддерживается частично. Подробнее см. раздел «Настройка протокола ERPS».

11.1 Отличия реализации от дополнений стандарта

- Реализация протокола соответствует версии стандарта ITU-T Rec. G.8032/Y.1344 (06/2012), за исключением дополнений:
 - Multiple ERP instances: нельзя использовать одни и те же порты для разных колец при разделении Protected VLAN между кольцами. Требуется задать для портов кольца требуемый набор Protected VLAN.
 - Minimizing segmentation of interconnected rings: не удастся сохранить связь между абонентами кольца и подкольца, если на основном кольце произошла авария на двух линиях связи. В этом случае подкольцо не обнаружит отсутствие связи, хотя подходящая линия связи будет, и для её работы требуется реакция подкольца.
 - Flush optimization: частично реализована, в некоторых случаях база FDB будет сброшена, в то время как возможно избежать сброса и задержки в обслуживании на повторное обучение. Роль RPL-next-neighbour и соответствующие функции портов коммутатора не предусмотрены.
 - End-to-end service resilience: дублирование линий связи с абонентами путём сопряжения с протоколом ITU-T G.8031 не предусмотрено.