



# Формирование системного решения по применению технологии управления топологией связей в сети Ethernet на базе протоколов STP/RSTP для устройства ПЛК210

Справочное руководство

---

Редакция 1.0



Код документа: RG-KSZ8895-RSTP  
Дата сборки: 12 июля 2018 г.  
Страниц в документе: 23

© 2018, OVEN  
<http://owen.ru>

## Содержание

Перечень рисунков .....	3
Перечень таблиц .....	3
Перечень сокращений и условных обозначений .....	4
<b>1 Введение .....</b>	<b>5</b>
1.1 Протокол STP .....	6
1.1.1 Алгоритм работы протокола STP .....	6
1.1.2 Роли портов .....	7
1.1.3 Состояния портов .....	7
1.2 Протокол RSTP .....	9
1.2.1 Различия между протоколами STP и RSTP .....	10
1.2.2 Алгоритм работы протокола RSTP .....	10
1.2.3 Роли портов .....	11
1.2.4 Состояния портов .....	11
<b>2 Варианты построения топологий Ethernet-сетей с применением протоколов STP/RSTP на оборудовании компании Овен .....</b>	<b>12</b>
2.1 Используемое оборудование .....	12
2.1.1 Программируемый логический контроллер ПЛК210 .....	12
2.1.2 Модули ввода/вывода Mx210 .....	12
2.2 Принятые обозначения .....	14
2.3 Соединение ПЛК210 между собой с резервированием .....	14
2.3.1 Соединение двух ПЛК210 между собой .....	14
2.3.2 Кольцевое соединение трёх ПЛК210 между собой .....	15
2.3.3 Полносвязное соединение четырёх ПЛК210 между собой .....	16
2.4 Подключение Mx210 к ПЛК210 с резервированием .....	18
2.4.1 Подключение цепочки Mx210 к одному ПЛК210 .....	19
2.4.2 Подключение цепочки Mx210 к нескольким ПЛК210 .....	21
<b>Список литературы .....</b>	<b>23</b>

## Перечень рисунков

1-1	Диаграмма изменения состояний порта протокола <u>STP</u> .....	8
2-1	Контроллер ПЛК210 .....	12
	(а) Внешний вид .....	12
	(б) Структурная схема Ethernet соединений ПЛК210 .....	12
2-2	Модуль ввода/вывода Mx210 .....	13
	(а) Внешний вид (модификация MB210-221) .....	13
	(б) Структурная схема Ethernet соединений Mx210 .....	13
2-3	Условные обозначения .....	14
	(а) Объекты .....	14
	(б) Роли портов .....	14
	(в) Состояния портов .....	14
2-4	Соединение двух ПЛК210 между собой .....	14
2-5	Соединение двух ПЛК210 между собой (обрыв) .....	15
2-6	Схема соединения трёх ПЛК210 между собой .....	15
2-7	Схема соединения трёх ПЛК210 между собой (обрыв) .....	16
	(а) Обрыв соединения sw1p1–sw2p2 .....	16
	(б) Обрыв соединения sw1p2–sw3p1 .....	16
2-8	Полносвязное соединение четырех ПЛК210 между собой .....	16
2-9	Полносвязное соединение четырёх ПЛК210 между собой (обрыв) .....	17
2-10	Схема подключения цепочки Mx210 к ПЛК210 .....	19
	(а) Цепочка из 3-х Mx210, подключенная к ПЛК210 .....	19
	(б) Эквивалентная схема .....	19
2-11	Схема подключения цепочки Mx210 к ПЛК210 (обрыв между Mx210) .....	20
2-12	Схема подключения цепочки Mx210 к двум ПЛК210 .....	21
2-13	Эквивалентная схема подключения цепочки Mx210 к двум ПЛК210 .....	21
2-14	Схема соединения двух ПЛК210 с цепочкой из трёх Mx210 (обрыв между Mx210) .....	22

## Перечень таблиц

1-1	Значения стоимости портов для протокола <u>STP</u> .....	6
1-2	Параметры состояний портов для протокола <u>STP</u> .....	8
1-3	Значения стоимости портов для протокола <u>RSTP</u> .....	9
1-4	Различия между протоколами <u>STP</u> и <u>RSTP</u> .....	10
1-5	Параметры состояний портов для протокола <u>RSTP</u> .....	11

## Перечень сокращений и условных обозначений

<b>BPDU</b>	Bridge Protocol Data Unit	6–11, 17–20, 22
<b>CAM</b>	Content Addressable Memory	7, 17
<b>CPU</b>	Central Processing Unit	12
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers	6–9, 19, 20, 22
<b>LAN</b>	Local Area Network	10
<b>MAC</b>	Media Access Control	6–8, 11, 16, 17, 20
<b>OSI</b>	Open Systems Interconnection	6
<b>RSTP</b>	Rapid Spanning Tree Protocol	2, 3, 5, 8–12, 14, 18–21
<b>STA</b>	Spanning Tree Algorithm	6
<b>STP</b>	Spanning Tree Protocol	2, 3, 5–12, 14, 18–21
<b>TCN</b>	Topology Change Notification	6, 16, 17

## 1 Введение

Формирование системного решения заключается в приведении технологии управления множественных связей в сети Ethernet к древовидной топологии, в которой исключено зацикливание пакетов. Выполнение исключения зацикливания пакетов выполняется автоматической блокировкой резервных портов, не используемых в данный момент времени.

Основным способом повышения надежности является резервирование. Общеизвестно, что правильное использование этого способа позволяет строить достаточно надежные системы из относительно менее надежных компонентов. Широко известны различные методы резервирования оборудования и каналов передачи данных: холодное, горячее, активное и пассивное резервирование.

Очевидно, что при формировании системного решения по применению технологии управления топологией связей в сети Ethernet на базе протоколов STP/RSTP для устройства ПЛК210 более целесообразным следует считать применение различных вариантов активного резервирования, поскольку именно этот способ резервирования позволяет осуществлять быструю автоматическую реконфигурацию системы при выходе из строя хотя бы одного её компонента. Некоторые варианты реализации активного резервирования позволяют обеспечить распределение нагрузки между основным и резервными компонентами сети, что повышает эффективность использования оборудования и общую пропускную способность сети Ethernet.

На практике для обеспечения стабильности работы сети в случае проблем со связью между коммутаторами (выход порта из строя, обрыв провода), используют избыточные соединения (redundant links) — дополнительные соединения. Однако, если коммутаторы соединить между собой дополнительными соединениями, то образуется так называемая «петля». И при возникновении в такой сети любого широковещательного (broadcast) кадра, он будет пересылаться между этими коммутаторами бесконечно. Такой эффект называется широковещательным штормом (broadcast storm).

Для предотвращения широковещательного шторма при сохранении количества избыточных связей разработано множество различных протоколов устранения петель в топологии сети. Наиболее известны и распространены такие протоколы, как Spanning Tree Protocol и Rapid Spanning Tree Protocol.

## 1.1 Протокол STP

Spanning Tree Protocol (протокол остовного дерева) — сетевой протокол, работающий на втором уровне (канальном) модели OSI. Основан на одноименном алгоритме, основной задачей которого является устранение петель в топологии произвольной сети Ethernet, в которой присутствует хотя бы один сетевой мост, связанный избыточными соединениями. Для устранения петель, протокол STP автоматически блокирует избыточные соединения. Протокол STP описан в стандарте IEEE 802.1D-1998 [1].

STP использует алгоритм STA, результатом работы которого является граф в виде дерева. Для обмена информацией между собой коммутаторы используют специальные пакеты, так называемые Bridge Protocol Data Unit (BPDU). BPDU бывают двух видов: конфигурационные (configuration) и уведомляющие о изменении топологии TCN. Первые регулярно рассылаются корневым коммутатором (ретранслируются остальными) и используются для построения топологии, вторые, как понятно из названия, отправляются в случае изменения топологии сети (подключении/отключении коммутатора). Конфигурационные BPDU содержат несколько полей, самыми важными из которых являются:

- идентификатор коммутатора отправителя (Bridge ID);
- идентификатор корневого коммутатора (Root Bridge ID);
- идентификатор порта, из которого отправлен данный пакет (Port ID);
- стоимость маршрута до корневого коммутатора (Root Path Cost).

Идентификатор моста (Bridge ID) — это число размером 8 байт, которое состоит из приоритета моста (Bridge Priority) и MAC-адреса моста. Приоритет моста конфигурируется администратором в диапазоне от 0 до 65536 с шагом 4096 (по умолчанию 32768). Чем меньше значение идентификатора моста, тем выше его приоритет. Таким образом, если на всех мостах используется значение по умолчанию, то мост с самым маленьким MAC-адресом будет иметь самый высокий приоритет.

Идентификатор порта (Port ID) — это число размером 2 байта, которое состоит из приоритета порта (Port Priority) и номера порта. Значение приоритета порта конфигурируется администратором. Значение номера порта статически назначается для каждого порта. Чем меньше идентификатор порта, тем выше его приоритет относительно других портов.

Стоимость порта (Path Cost) — это целое число, определяющее стоимость соединения между двумя смежными устройствами. Стоимость порта обратно пропорциональна его скорости. Значение стоимости порта может быть сконфигурировано вручную администратором или выбрано автоматически. Стоимости маршрута, согласно стандарту IEEE 802.1D-1998 [1], приведены в таблице 1-1.

Таблица 1-1: Значения стоимости портов для протокола STP

Скорость порта	Стоимость маршрута порта для STP (согласно IEEE 802.1D-1998)	
	Рекомендуемое значение	Рекомендуемый диапазон
4 Мбит/с	250	100–1000
10 Мбит/с	100	50–600
16 Мбит/с	62	40–400
100 Мбит/с	19	10–60
1 Гбит/с	4	3–10
10 Гбит/с	2	1–5

Коммутаторы отправляют BPDU из всех работающих портов на мультикаст адрес 01:80:c2:00:00:00 каждые 2 секунды (значение по умолчанию). Данный мультикаст адрес прослушивается всеми коммутаторами с включенным STP.

### 1.1.1 Алгоритм работы протокола STP

Алгоритм формирования топологии STP состоит из следующих этапов:

- 1) Выбирается один корневой мост/коммутатор (Root Bridge). Это устройство, которое STP считает точкой отсчета, центром сети. Все дерево STP сходится к нему. Выбор базируется на значении идентификаторов мостов;
- 2) При первом просчете кратчайшего пути к корневному коммутатору, каждый коммутатор считает себя корневым, о чем обменивается с остальными при помощи BPDU, в котором представляет свой иденти-

фикатор как корневого коммутатора (Root Bridge ID). Необходимо помнить, что у любого не корневого коммутатора может быть только один корневой порт.

После того как выбран корневой коммутатор, остальные коммутаторы должны вычислить только один порт, который будет вести к корневому коммутатору. Этот порт называется корневым портом (Root port).

При выборе корневого порта каждый не корневой коммутатор определяет стоимость маршрута от каждого своего порта до корневого моста. Эта стоимость определяется суммой стоимостей всех соединений, которые нужно пройти кадру, чтобы дойти до корневого коммутатора.

Процесс определения стоимости маршрута связан с полем BPDU «Root Path Cost» и происходит по следующему алгоритму:

- а) Корневой коммутатор отправляет BPDU с полем «Root Path Cost», которое по умолчанию равно нулю.
  - б) Ближайший коммутатор смотрит на скорость своего порта, куда поступил BPDU, и добавляет к стоимости маршрута значение из таблицы 1-1.
  - в) Второй коммутатор отправляет следующим в цепочке коммутаторам тот же самый BPDU с новым значением поля «Root Path Cost» и так далее по всей цепочке. Если стоимости одинаковые, то корневым выбирается порт с меньшим идентификатором.
- 3) Для каждого сегмента сети, к которому присоединён более чем один мост (или несколько портов одного моста), просчитывается кратчайший путь к корневому мосту (порту). Мост, через который проходит этот путь, становится назначенным для этой сети (Designated Bridge), а соответствующий порт — назначенным портом (Designated Port).
  - 4) Во всех сегментах, с которыми соединено более одного порта моста, все мосты блокируют все порты, не являющиеся корневыми и назначенными. В итоге получается древовидная структура (математический граф) с вершиной в виде корневого коммутатора.
  - 5) Корневой коммутатор продолжает отправлять свои BPDU раз в 2 секунды, остальные коммутаторы ретранслируют полученные BPDU.

### 1.1.2 Роли портов

Стандартом IEEE 802.1D-1998 для STP предусмотрены следующие роли портов:

- Корневой (Root) — это порт, который имеет минимальную стоимость до любого порта корневого коммутатора.
- Назначенный (Designated) — это порт, который имеет кратчайшее расстояние от назначенного коммутатора до корневого коммутатора.
- Неназначенный (non-Designated) — в пересылке данных не участвует.
- Отключенный (Disabled) — порт, не участвующий в STP, либо выключенный административно.

### 1.1.3 Состояния портов

Стандартом IEEE 802.1D-1998 для STP предусмотрено 5 состояний портов:

- Blocking (блокирование) — заблокированный порт не отправляет никакой информации. В таком состоянии заблокированный порт прослушивает поступающие BPDU, что позволяет ему при необходимости разблокироваться и начать свою работу;
- Listening (прослушивание) — порт слушает и начинает сам отправлять BPDU, при этом кадры с данными не отправляются;
- Learning (обучение) — порт слушает и отправляет BPDU, а также вносит изменения в CAM-таблицу, но данные не перенаправляет;
- Forwarding (перенаправление/пересылка) — порт отправляет/принимает BPDU, работает с данными и участвует в поддержании таблицы MAC-адресов. Это обычное состояние рабочего порта;
- Disabled (отключен) — остояние административного отключения (administratively down), отключен командой. Не предпринимает никаких действий до момента ручного включения.

На рисунке 1-1 представлена диаграмма изменения состояний порта протокола STP.

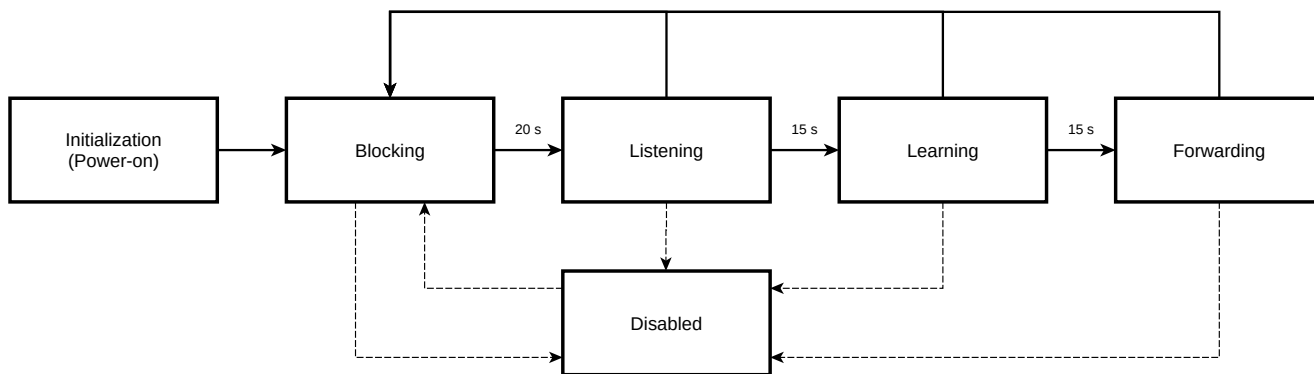


Рисунок 1-1: Диаграмма изменения состояний порта протокола STP

При включении порта или добавлении нового устройства на порту — все порты на устройстве с STP проходят вышеперечисленные состояния именно в этом порядке (кроме состояния Disabled). Такой подход позволяет протоколу STP бороться с появлением устройств, которые могут привести к петле. Поэтому порт сначала 15 секунд (по умолчанию) пребывает в состоянии Listening (прослушивания), выясняя по BPDU своё положение в сети. Потом переходит к состоянию Learning (обучение) еще на 15 секунд, выясняя какие MAC-адреса «в работе», после чего можно продолжать работу. Таким образом, время реакции коммутатора составляет 30 секунд, после чего устройство сможет обмениваться с соседями.

Основные параметры состояний портов протокола STP приведены в таблице 1-2.

Таблица 1-2: Параметры состояний портов для протокола STP

Состояние порта	Тип состояния	Приём BPDU	Отправка BPDU	Обучение MAC-адресам	Пересылка данных
Disabled	Стабильное	Нет	Нет	Нет	Нет
Blocking	Стабильное	Да	Нет	Нет	Нет
Listening	Переходное	Да	Да	Нет	Нет
Learning	Переходное	Да	Да	Да	Нет
Forwarding	Стабильное	Да	Да	Да	Да

Ряд производителей коммутаторов для ускорения работы классического протокола STP использует проприетарные доработки протокола STP. Например, компанией Cisco разработана технология Cisco PortFast, которая позволяет порту пропустить состояния Listening и Learning и сразу же перейти в состояние Forwarding. Порты, помеченные как PortFast, не участвуют в STP и поэтому не подпадают под стартовую блокировку на то время, пока выбирается корневой коммутатор в сегменте и корневой порт до этого коммутатора.



В протоколе RSTP, который рассматривается далее, такое исключение называется Edge Port и является уже частью стандарта.

Время реакции протокола STP в 30 секунд в реалиях сегодняшнего дня слишком большое, особенно в ответственных задачах промышленной автоматизации. Этот и другие недостатки протокола STP привели к появлению в 2001 году нового протокола Rapid Spanning Tree Protocol и стандарта IEEE 802.1w-2001 [2].



## 1.2 Протокол RSTP

RSTP — это версия протокола STP с ускоренной реконфигурацией дерева. По сравнению с STP уменьшилось время построения топологии, а также время восстановления работоспособности сети.

Изначально протокол RSTP описан в стандарте IEEE 802.1w-2001 [2]. В 2004 году протокол RSTP был включен в стандарт IEEE 802.1D-2004 [3].

Протокол RSTP поддерживает большее количество узлов (по сравнению с STP и может обеспечивать время восстановления связи порядка 1 секунды. Это время во многом зависит от места возникновения обрыва связи в сети, поэтому не может быть достоверно определено заранее.

Данный существенный недостаток можно обойти, если ограничить топологию сети кольцевой структурой. Тем самым можно добиться соблюдения времени восстановления сети порядка 100 мс и меньше.

Ранее, в STP, для того чтобы убедиться, что порт может участвовать в передаче данных, требовались таймеры, т. е. коммутатор пассивно ждал в течение означенного времени, слушая BPDU. Ключевой особенностью RSTP стало введение концепции типов портов, основанных на режиме работы подключения: full duplex или half duplex (типы портов p2p или shared, соответственно), а также понятия пограничный порт (Edge Port) для конечных устройств. Пограничные порты назначаются вручную и при подключении провода сразу переходят к Forwarding состоянию.

Shared-порты работают по старой схеме, с прохождением через состояния Blocking — Listening — Learning — Forwarding. А вот на p2p-портах RSTP использует процесс предложения и соглашения (Proposal and Agreement). Не вдаваясь в подробности, его можно описать так: коммутатор справедливо считает, что если подключение работает в режиме full duplex, и он не обозначен, как пограничный, значит на нем только два устройства — он и другой коммутатор. Вместо того, чтобы ждать входящих BPDU, он сам пытается связаться с коммутатором на том конце провода с помощью специальных proposal BPDU, в которых, конечно, есть информация о стоимости маршрута к корневому коммутатору. Второй коммутатор сравнивает полученную информацию со своей текущей и принимает решение, о чем извещает первый коммутатор посредством agreement BPDU. Так как весь этот процесс теперь не привязан к таймерам, происходит он очень быстро: только подключили новый коммутатор и он сразу встроился в общую топологию и приступил к работе.

Ещё одно отличие протокола RSTP заключается в изменении диапазона величины Path Cost. В классическом варианте протокола STP стоимость прохождения маршрута через порт представляется целым положительным числом в диапазоне от 0 до 65535. Для представления общей стоимости маршрута в сообщении BPDU отводилось 4 байта. Следует также учесть, что величина стоимости передачи трафика через порт прозрачного моста обратно пропорциональна скорости передачи данных через него, и большим значениям скорости передачи данных соответствуют меньшие значения стоимости.

Скорости передачи данных в современных сетях неуклонно растут и возможность появления более высоких скоростей должна также учитываться в алгоритме. В таблице 1-3 приведены значения Port Path Cost согласно стандарту IEEE 802.1D-2004.

Таблица 1-3: Значения стоимости портов для протокола RSTP

Скорость порта	Стоимость маршрута порта для RSTP (согласно IEEE 802.1D-2004)	
	Рекомендуемое значение	Рекомендуемый диапазон
менее 100 Кбит/с	200 000 000	20 000 000–200 000 000
1 Мбит/с	20 000 000	2 000 000–200 000 000
10 Мбит/с	2 000 000	200 000–20 000 000
100 Мбит/с	200 000	20 000–2 000 000
1 Гбит/с	20 000	2 000–200 000
10 Гбит/с	2 000	200–20 000
100 Гбит/с	200	20–2 000
1 Тбит/с	20	2–200
10 Тбит/с	2	1–20

### 1.2.1 Различия между протоколами STP и RSTP

Основные различия между протоколами STP и RSTP приведены в таблице 1-4.

Таблица 1-4: Различия между протоколами STP и RSTP

STP	RSTP
При условии уже сформированной топологии корневой коммутатор отправляет BPDU, остальные ретранслируют.	Все коммутаторы отправляют BPDU в соответствии с hello-таймером (2 секунды по умолчанию).
<b>Состояния портов</b>	
Блокирование (Blocking). Прослушивание (Listening). Обучение (Learning). Перенаправление (Forwarding). Отключен (Disabled).	Отбрасывание (Discarding), заменяет сразу три состояния: Disabled, Blocking и Listening.  Обучение (Learning).  Перенаправление (Forwarding).
<b>Роли портов</b>	
Корневой (Root) — порт для передачи трафика корневому коммутатору. Каждый некорневой коммутатор имеет только один корневой порт, выбранный из соображений минимальной стоимости пути.  Назначенный (Designated) — некорневой порт моста между сегментами сети, принимающий трафик из соответствующего сегмента. Сам мост также называется назначенным. В каждом сегменте сети может быть только один назначенный порт. У корневого коммутатора все порты — назначенные.  Неназначенный (non-Designated) — порт, не являющийся корневым, или назначенным. Передача фреймов данных через такой порт запрещена.  Отключенный (Disabled) — порт, не участвующий в STP, либо выключенный административно.	Корневой (Root) — беспрепятственная коммуникация не корневого коммутатора по порту, имеющему наименьшую стоимость соединения к корневому коммутатору.  Назначенный (Designated) — беспрепятственная коммуникация по порту на весь LAN сегмент, не содержащий корневой коммутатор.  Альтернативный (Alternate) — альтернативное соединение к корневому коммутатору, отличное от используемого корневого порта. Регулярный трафик на порту блокируется.  Резервный (Backup) — запасное/резервное соединение к LAN сегменту предоставляющее соединение к корневому коммутатору, большей стоимости, чем «Designated» порт. Регулярный трафик на порту блокируется.  Отключенный (Disabled) — строго не определён стандартом, администратор может отключить порт вручную.
<b>Механизм работы</b>	
Использует таймеры: Hello (2 секунды), Max Age (20 секунд) и Forward delay timer (15 секунд).	Использует процесс предложения и соглашения (proposal and agreement).
Коммутатор, обнаруживший изменение топологии, извещает корневой коммутатор, который, в свою очередь, требует от всех остальных очистить их записи о текущей топологии в течение forward delay timer.	Обнаружение изменений в топологии влечет немедленную очистку записей.
Если некорневой коммутатор не получает hello-пакеты от корневого в течение Max Age, он начинает новые выборы.	Начинает действовать, если не получает BPDU в течение 3-х hello-интервалов.
Время последовательного прохождения порта через состояния: Blocking (20 секунд) — Listening (15 секунд) — Learning (15 секунд) — Forwarding.	Быстрый переход к Forwarding для p2p и Edge-портов.

### 1.2.2 Алгоритм работы протокола RSTP

Алгоритм работы протокола RSTP состоит из следующих этапов:

- 1) Выбирается корневой коммутатор (Root Bridge).
- 2) Каждый коммутатор, участвующий в построении дерева, ищет кратчайший маршрут (с учётом пропускной способности канала) к корневому коммутатору через соседние коммутаторы (или напрямую).

- 3) Линии, не попавшие в маршрут, переводятся в режим ожидания и не используются для передачи данных, пока работают основные линии.
- 4) В случае выхода из строя основных линий, ожидающие линии используются для построения альтернативной топологии, после чего одна из линий становится активной, а остальные продолжают находиться в режиме ожидания.

### 1.2.3 Роли портов

В RSTP остались такие роли портов, как корневой и назначенный, а роль заблокированного разделили на две новых роли: Alternate и Backup. Alternate — это резервный корневой порт, а backup — резервный назначенный порт. Как раз в этой концепции резервных портов и кроется одна из причин быстрого переключения в случае отказа.

Такая концепция меняет поведение системы в целом: вместо реактивной (которая начинает искать решение проблемы только после того, как она случилась) система становится проактивной, заранее просчитывающей «пути отхода» еще до появления проблемы. Смысл простой: для того, чтобы в случае отказа основного переключиться на резервное подключение, RSTP не нужно заново просчитывать топологию, он просто переключится на запасное, заранее просчитанное.

### 1.2.4 Состояния портов

В алгоритме протокола RSTP различается только 3 независимых, по отношению к процедурам обработки кадров, режима, в которых может использоваться порт коммутатора:

- Discarding (изоляция);
- Learning (обучение);
- Forwarding (перенаправление).

Отличие вызвано отказом от использования временных задержек при переходе порта из одного состояния в другое.

Функции, выполняемые портом в состояниях Learning и Forwarding алгоритма протокола RSTP, соответствуют функциям одноименных состояний классического алгоритма STP.

Порт моста, находящийся в состоянии Discarding, уничтожает принимаемые кадры и не формирует записи в таблице фильтрации MAC адресов. В это состояние переводятся порты, получившие при выполнении алгоритма протокола RSTP роль альтернативного или резервного. Отсутствие промежуточного состояния аналогичного состоянию Listening, имеющегося в алгоритме STP, объясняется использованием нового принципа формирования активной топологии.

Основные параметры состояний портов протокола RSTP приведены в таблице 1-5.

Таблица 1-5: Параметры состояний портов для протокола RSTP

Состояние порта	Тип состояния	Приём BPDU	Отправка BPDU	Обучение MAC-адресам	Пересылка данных
Disabled	Стабильное	Нет	Нет	Нет	Нет
Discarding	Стабильное	Да	Нет	Нет	Нет
Learning	Переходное	Да	Да	Да	Нет
Forwarding	Стабильное	Да	Да	Да	Да

## 2 Варианты построения топологий Ethernet-сетей с применением протоколов STP/RSTP на оборудовании компании Овен

### 2.1 Используемое оборудование

В качестве основных элементов, рассматриваемых в данном документе топологий, используются следующие устройства производства компании Овен:

- программируемый логический контроллер ПЛК210 (PLC210);
- модули удаленного ввода/вывода Mx210.

#### 2.1.1 Программируемый логический контроллер ПЛК210

Внешний вид ПЛК210 представлен на рисунке 2-1(а). Упрощенная структурная схема Ethernet соединений ПЛК210 приведена на рисунке 2-1(б).

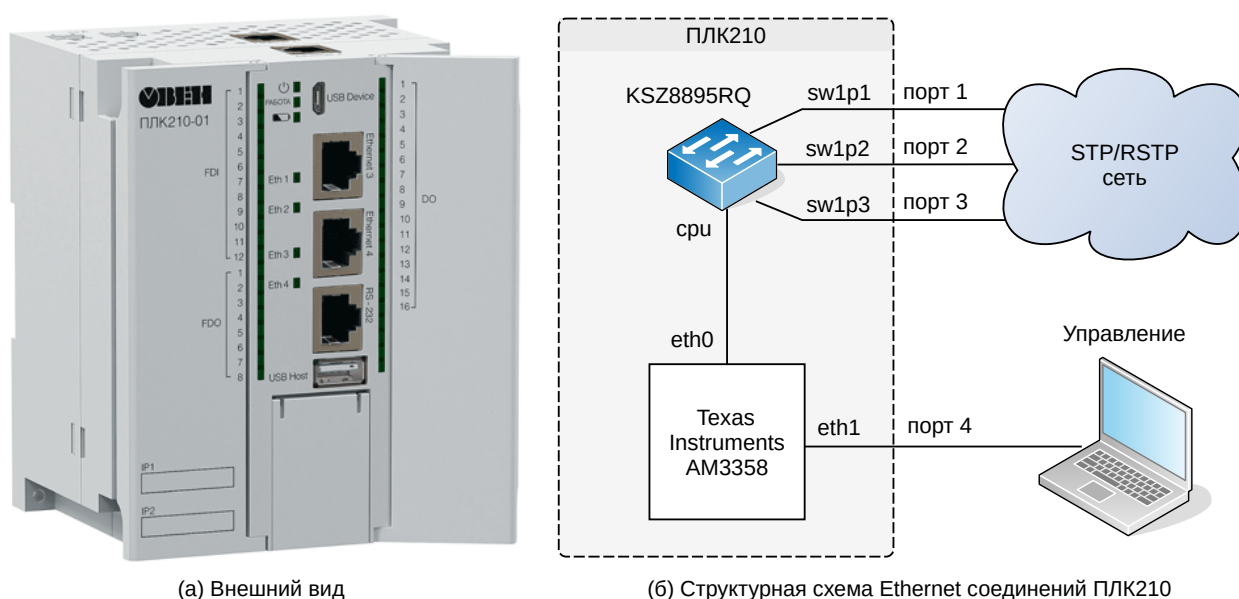


Рисунок 2-1: Контроллер ПЛК210

ПЛК210 имеет 4 внешних Ethernet порта, 3 из которых подключены к чипу коммутатора KSZ8895RQ, который в свою очередь подключен к одному из внутренних портов CPU. Второй внутренний порт CPU выведен напрямую. В качестве CPU в ПЛК210 используется система на кристалле AM3358 компании Texas Instruments<sup>1</sup>.

Коммутатор KSZ8895RQ имеет аппаратную поддержку протоколов STP/RSTP на уровне установки режимов работы портов. Для обеспечения полноценной поддержки STP/RSTP для чипа коммутатора KSZ8895RQ разработано соответствующее программное обеспечение, которое подробно описано в документах [4] и [5]. Результатом работы данного программного обеспечения является то, что 3 порта ПЛК210, которые подключены к коммутатору KSZ8895RQ, представляют собой полноценный RSTP коммутатор 2-го уровня.

#### 2.1.2 Модули ввода/вывода Mx210

На рисунке 2-2(а) показан внешний вид модификации MB210-221. Упрощенная структурная схема внутренних Ethernet соединений модулей Mx210 приведена на рисунке 2-2(б). Схема внутренних Ethernet соединений для различных модификаций модулей Mx210 не отличается.

В модулях применена технология Ethernet-bypass. Данные из одного порта устройства могут быть переданы во второй порт даже при снятом с модуля питания.

<sup>1</sup> <http://www.ti.com/product/AM3358>

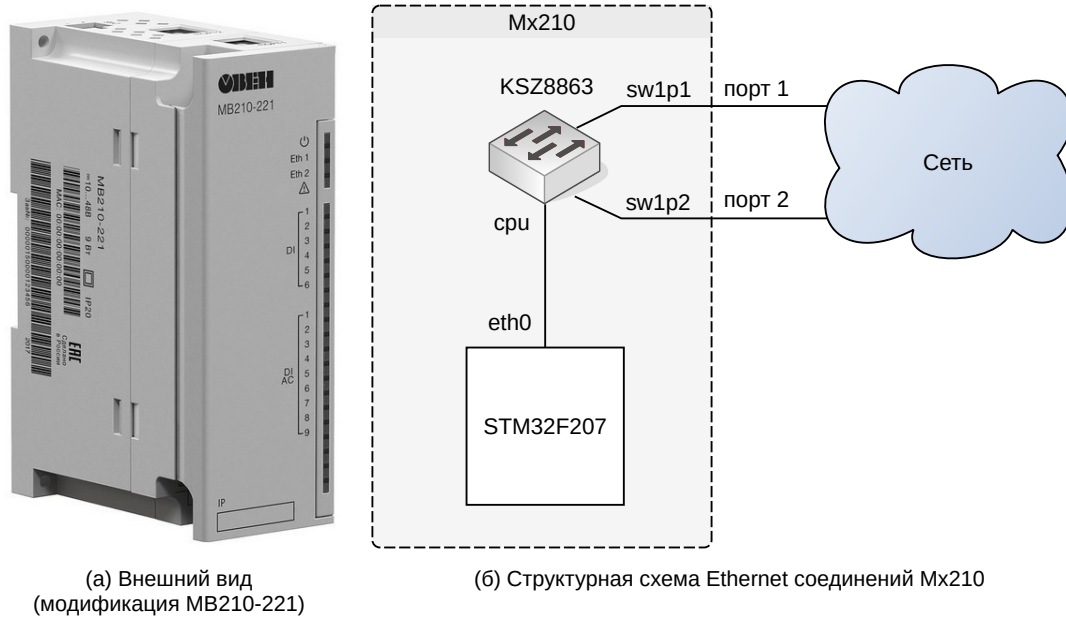


Рисунок 2-2: Модуль ввода/вывода Mx210

## 2.2 Принятые обозначения

На схемах топологий Ethernet сетей, в данном руководстве, используются обозначения приведенные на рисунке 2-3.

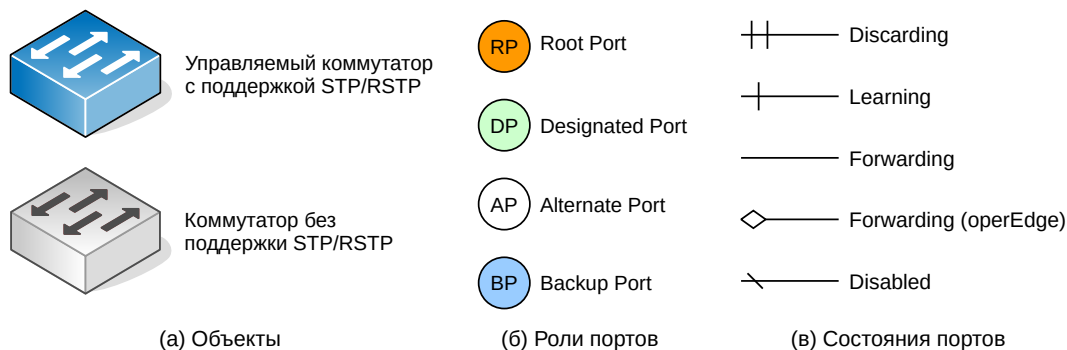


Рисунок 2-3: Условные обозначения

## 2.3 Соединение ПЛК210 между собой с резервированием

### 2.3.1 Соединение двух ПЛК210 между собой

На рисунке 2-4 приведена схема соединения двух ПЛК210 тремя проводами, в которой задействованы все STP/RSTP порты коммутатора KSZ8895RQ устройств.

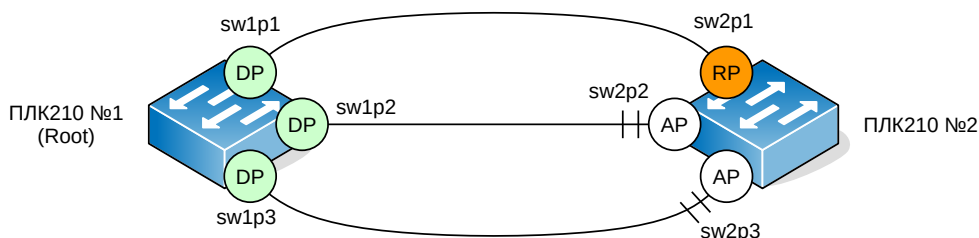


Рисунок 2-4: Соединение двух ПЛК210 между собой

Роль корневого коммутатора (Root Switch) выполняет ПЛК210 №1. Все порты ПЛК210 №1 имеют роль Designated Port и находятся в состоянии Forwarding.

Порт sw2p1 контроллера ПЛК210 №2 выполняет роль корневого порта (Root Port).

Оставшиеся порты ПЛК210 №2 (sw2p2 и sw2p3) выполняют роль Alternate Port, так как являются альтернативными соединениями к корневому коммутатору. Передача данных на этих портах отключена, они имеют состояние Discarding.

На схеме 2-4 соединение sw1p1–sw2p1 резервируется двумя дополнительными соединениями: sw1p2–sw2p2 и sw1p3–sw2p3

В случае обрыва соединения sw1p1–sw2p1, один из альтернативных портов ПЛК210 №2 примет на себя роль корневого порта. Так как оба альтернативных соединения имеют одинаковую стоимость, роль корневого порта примет на себя порт имеющий меньший идентификатор, а соответственно и меньший приоритет. В данном случае, это будет порт sw2p2 (см. рисунок 2-5).

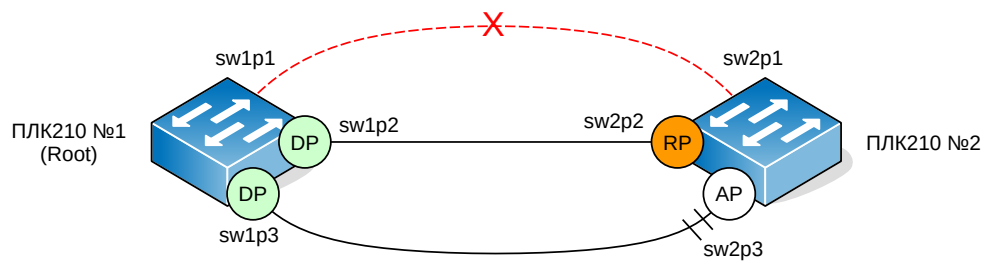


Рисунок 2-5: Соединение двух ПЛК210 между собой (обрыв)

Если в дальнейшем соединение sw1p1–sw2p1 будет восстановлено, то роль корневого порта перейдет обратно к порту sw2p1, а порт sw2p2 станет снова альтернативным портом. Т.е. роли портов и их состояние примет исходный вид, как на схеме 2-4.

### 2.3.2 Кольцевое соединение трёх ПЛК210 между собой

Схема кольцевого соединения трёх ПЛК210 между собой приведена на рисунке 2-6. На каждом ПЛК210 задействованы по два порта (р1 и р2).

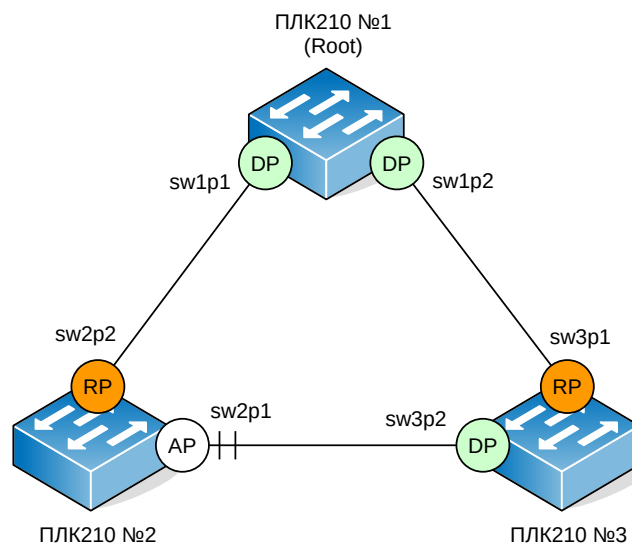


Рисунок 2-6: Схема соединения трёх ПЛК210 между собой

Роль корневого коммутатора (Root Switch) выполняет ПЛК210 №1. Порты sw1p1 и sw1p2 ПЛК210 №1 имеют роль Designated Port и находятся в состоянии Forwarding.

Порты sw2p2 контроллера ПЛК210 №2 и sw3p1 контроллера ПЛК210 №3 выполняют роль корневых портов (Root Port) для соответствующих коммутаторов (контроллеров).

Порт sw2p1 контроллера ПЛК210 №2 выполняет роль Alternate Port, и является резервным соединением к корневному коммутатору. Передача данных на этом порту отключена, он имеет состояние Discarding. Именно в этом месте происходит разрыв кольцевой топологии для предотвращения бесконечной передачи данных по кольцу.

На рисунке 2-7 показаны схемы кольцевого соединения в случаях обрыва соединений sw1p1–sw2p2 или sw1p2–sw3p1.



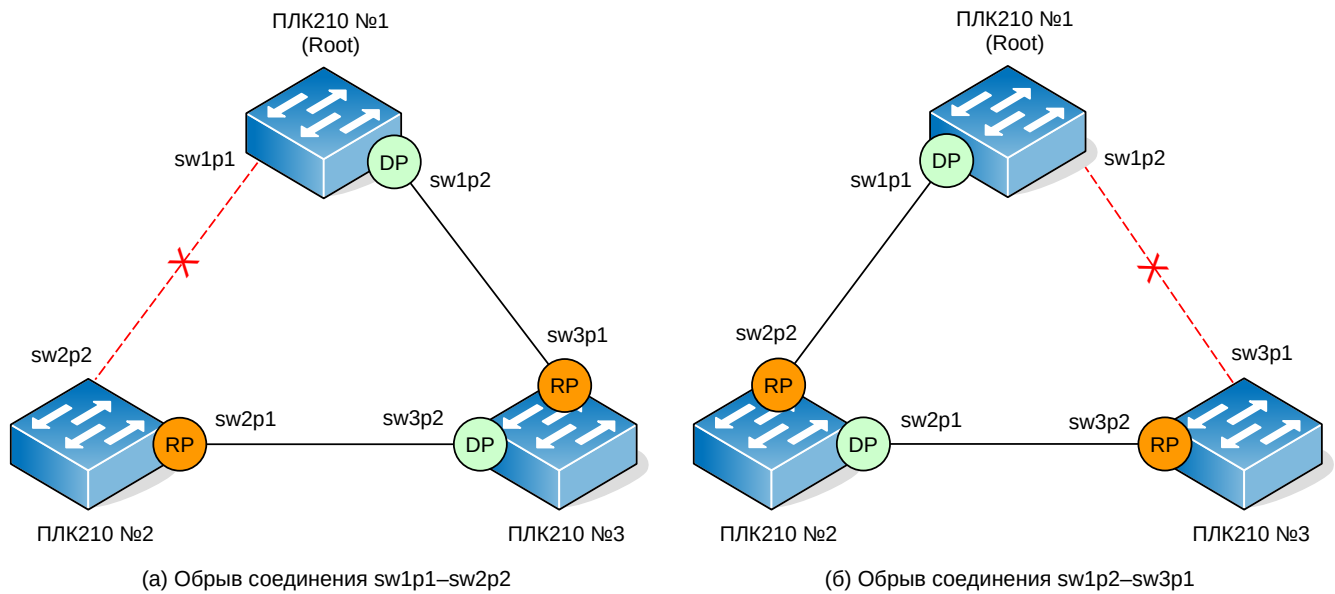


Рисунок 2-7: Схема соединения трёх ПЛК210 между собой (обрыв)

### 2.3.3 Полносвязное соединение четырёх ПЛК210 между собой

На рисунке 2-8 приведена схема полносвязного соединения (каждый с каждым) четырёх ПЛК210 с задействованием всех 3-х портов каждого ПЛК210.

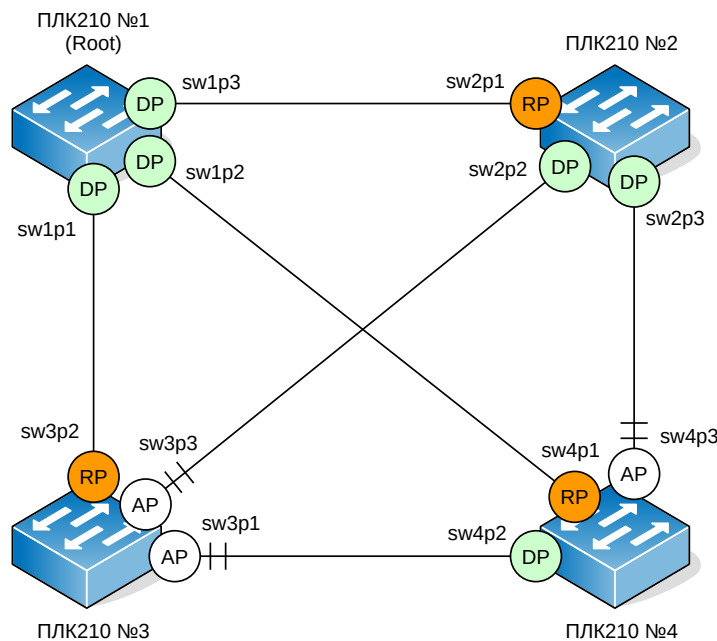


Рисунок 2-8: Полносвязное соединение четырёх ПЛК210 между собой

Роль корневого коммутатора (Root Switch) выполняет ПЛК210 №1. Состояния и роли портов всех остальных контроллеров ПЛК210 данной схемы приведены на рисунке 2-8.

Для примера, на рисунке 2-9 приведена схема при разрыве соединения sw1p2–sw4p1. Дополнительно, на данной схеме, приведена последовательность распространения пакетов события изменения топологии (TCN) после разрыва соединения sw1p2–sw4p1.

Событие изменения топологии вызывается только в одном случае — переход любого не граничного (non-Edge) порта в состояние Forwarding из любого другого состояния (non-Forwarding). Это связано с тем, что этот новый порт может обеспечить лучший маршрут к заданному MAC-адресу назначения, чем это было



раньше. В этом случае таблица MAC-адресов коммутатора (CAM-таблица) должна быть обновлена для предотвращения отображения одного MAC-адреса на нескольких портах.

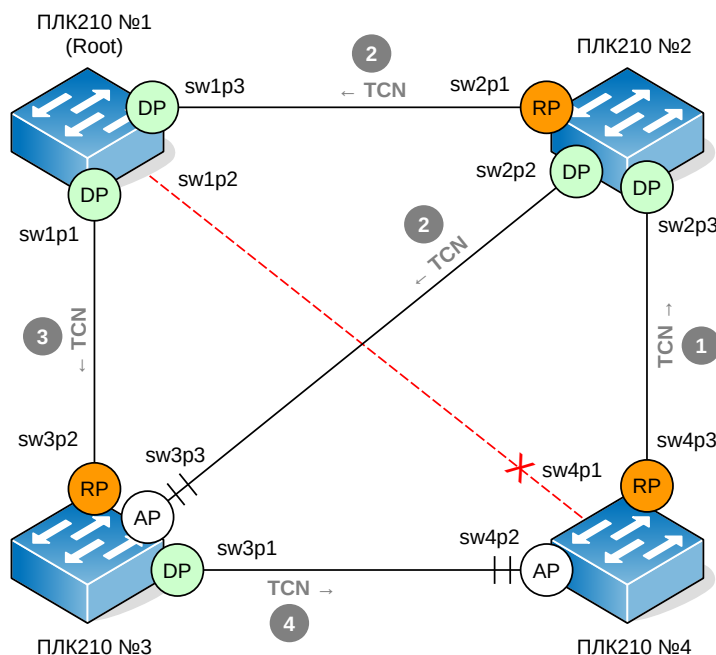


Рисунок 2-9: Полносвязное соединение четырёх ПЛК210 между собой (обрыв)

Перестроение топологии сети, при разрыве соединения sw1p2–sw4p1 происходит следующим образом:

- 1) При разрыве соединения sw1p2–sw4p1, первым этот разрыв обнаруживается на контроллере ПЛК210 №4. Так как порт sw4p1 был корневым портом, то альтернативный корневой порт sw4p3 в этот же момент становится новым корневым портом и переходит в состояние Forwarding. Переход порта sw4p3 вызывает очистку таблицы MAC-адресов для данного порта и вызывает отправку TCN в этот порт.  
В то же время, на порт sw4p2 начинают приходиться BPDUs от ПЛК210 №3, что приводит к тому, что порт sw4p2 меняет роль с Designated на Alternate.
- 2) Контроллер ПЛК210 №2 получает пакет TCN на порту sw2p3, что вызывает очистку таблицы MAC-адресов для данного порта и отправку TCN пакетов на корневом (sw2p1) и активных Designated портах (sw2p2). В конечном счете, TCN пакеты, отправляемые через порт sw2p2, будут отброшены контроллером ПЛК210 №3 при его достижении.
- 3) Контроллер ПЛК210 №1 получает TCN на порту sw1p3, что вызывает очистку таблицы MAC-адресов для данного порта и отправку TCN пакетов на оставшихся активных Designated портах (sw1p1).
- 4) После того, как интерфейс sw4p1 на ПЛК210 №4 был отключен, ПЛК210 №3 начал получать BPDUs, согласно которым, ПЛК210 №4 теперь имеет более высокую стоимость корневой пути, что приводит к тому, что порт sw3p1 меняет свою роль с Alternate на Designated. Затем ПЛК210 №3 получает TCN на порту sw3p2, что вызывает очистку таблицы MAC-адресов для данного порта и отправку TCN пакетов на единственном Designated порту (sw3p1), которые в итоге будут отброшены контроллером ПЛК210 №4.
- 5) На данном этапе, все коммутаторы (контроллеры) в сети были оповещены об изменениях топологии и выполнили соответствующую реконфигурацию.

## 2.4 Подключение Mx210 к ПЛК210 с резервированием

В данном разделе приводятся различные варианты подключения модулей ввода/вывода Mx210 к одному или нескольким контроллерам ПЛК210.

Так как модули ввода/вывода Mx210 не поддерживают работу протоколов STP/RSTP, то во всех рассматриваемых схемах этого раздела, вместо модулей ввода/вывода Mx210 могут использоваться любые другие управляемые или не управляемые коммутаторы без поддержки протоколов STP/RSTP при условии соответствия нижеуказанным требованиям.

В первую очередь, подключаемые коммутаторы не должны блокировать прохождение через себя BPDU пакетов. Например, в схеме на рисунке 2-10(a), BPDU отправляемые ПЛК210 на порт sw1p1 должны свободно приниматься на порту sw1p2, проходя через всю цепочку. В противном случае, сегменты сети, подключенные к портам sw1p1 и sw1p2, будут восприняты как не связанные между собой, и оба порта будут иметь роль Designated и состояние Forwarding, что неизбежно приведет к образованию петли.



Некоторые управляемые коммутаторы имеют специальные настройки, управляющие блокировкой BPDU. В случае использования таких коммутаторов, необходимо убедиться в том, что данная настройка включена в состояние не блокирующее прохождение BPDU.

Кроме того, все подключаемые коммутаторы имеют свою таблицу коммутации и время жизни записей в этой таблице, которое может достигать 300 секунд и более. При изменении топологии сети, таблицы коммутации должны быть очищены, но так как подключаемые коммутаторы не имеют поддержки STP/RSTP, выполнить сброс таблиц коммутации в них не представляется возможным на уровне протоколов STP/RSTP. Многие коммутаторы имеют специальный режим ускоренного устаревания записей в таблице коммутации, так называемый режим Fast Aging, при котором время жизни записей сокращается до величин менее 1 мс.

Таким образом, к подключаемым коммутаторам без поддержки протоколов STP/RSTP предъявляются следующие требования:

- 1) Коммутаторы не должны блокировать прохождение BPDU пакетов через них.
- 2) Коммутаторы должны быть включены в режим Fast Aging для предотвращения сохранения неверных данных в таблицах коммутации при изменении топологии сети.



При несоблюдении вышеуказанных требований, работоспособность схем, приведенных в данном разделе, а также любых других схем с использованием не управляемых или управляемых коммутаторов без поддержки протоколов STP/RSTP, не гарантируется.

### 2.4.1 Подключение цепочки Mx210 к одному ПЛК210

Простейшая схема подключения цепочки модулей ввода/вывода Mx210 к контроллеру ПЛК210 приведена на рисунке 2-10(a)

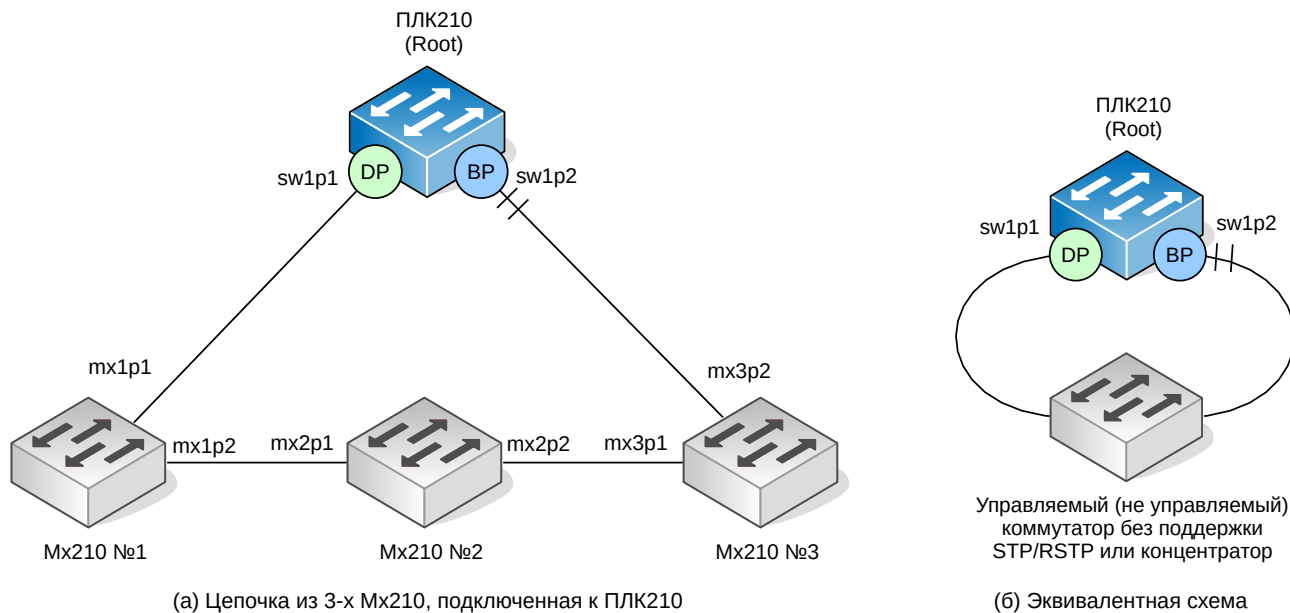


Рисунок 2-10: Схема подключения цепочки Mx210 к ПЛК210

Количество модулей ввода/вывода Mx210 в подключаемой цепочке не имеет значения. В данном примере, подключена цепочка из трех модулей Mx210. По сути, с точки зрения протоколов STP/RSTP, подключенная цепочка модулей Mx210 является простым соединением портов sw1p1 и sw1p2 между собой через коммутатор, и схема, приведенная на рисунке 2-10(a), полностью эквивалентна схеме 2-10(б) независимо от количества Mx210 в цепочке.

При обрыве соединения sw1p1–mx1p1 или sw1p2–mx3p2 данная схема будет вести себя следующим образом:

- при обрыве соединения sw1p1–mx1p1 порт sw1p2 примет роль Designated и перейдет в состояние Forwarding;
- при обрыве соединения sw1p2–mx3p2 порт sw1p2 просто перейдет в состояние Disabled.

В случае же обрыва соединения где-нибудь между модулями ввода/вывода Mx210 (соединения mx1p2–mx2p1 или mx2p2–mx3p1), реакция схемы будет более сложной. На рисунке 2-11, для примера, приведена схема с обрывом соединения mx2p2–mx3p1 в стабилизированном состоянии.

После обрыва соединения mx2p2–mx3p1, на порту sw1p2 ПЛК210 перестанут приниматься BPDU, которые отправляются ПЛК210 в порт sw1p1 каждые 2 секунды (параметр «Bridge Hello Time» стандарта IEEE 802.1D-2004).

После того, как на порту sw1p2 будет пропущено определенное количество (параметр «Transmit Hold Count» стандарта IEEE 802.1D-2004) BPDU пакетов, порт sw1p2 будет переведен в состояние Listening на 15 секунд. Если за это время на порту не появятся BPDU, то порт будет переведен в состояние Learning еще на 15 секунд. После чего, порт будет переведен в состояние Forwarding и примет роль Designated, как для отдельного сегмента сети.

В том случае, если порт sw1p2 настроен в режиме автоматического определения граничного порта (Edge Port), то после обнаружения отсутствия BPDU на порту, порт будет сразу переведен в состояние Forwarding и примет роль Designated. Состояние Listening и Learning при этом будут пропущены.

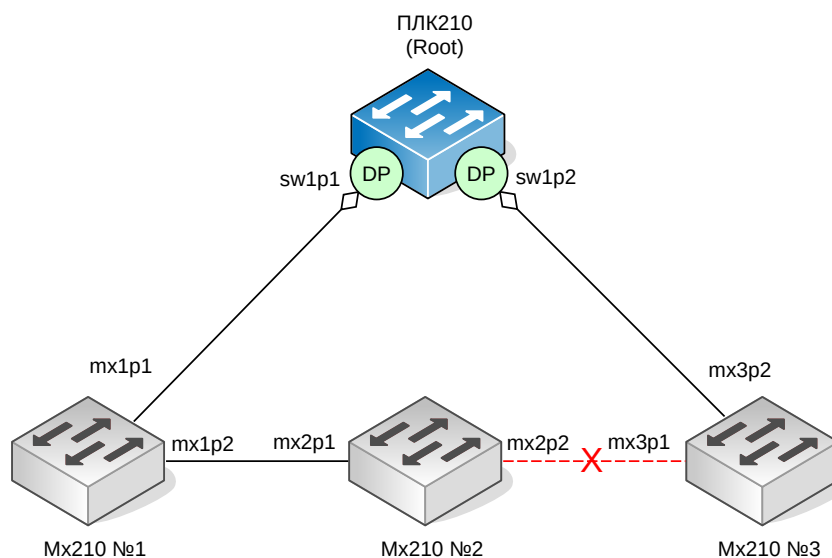


Рисунок 2-11: Схема подключения цепочки Mx210 к ПЛК210 (обрыв между Mx210)



В обоих случаях, при переходе порта sw1p2 в состояние Forwarding, выполняется очистка динамической MAC-таблицы для всех портов коммутатора ПЛК210, а не только для порта sw1p2. Такое поведение не соответствует стандарту IEEE 802.1D-2004, однако позволяет обеспечивать работоспособность подобного подключения цепочки коммутаторов без поддержки STP/RSTP к контроллеру ПЛК210.

Управление режимом сброса динамической таблицы MAC-адресов коммутатора ПЛК210 при переходе порта в состояние Forwarding управляется специальным параметром драйвера ядра `dsa_b21rn_flush_all` (см. документ [4]).

Если в сети используются только коммутаторы с поддержкой STP/RSTP, параметр `dsa_b21rn_flush_all` рекомендуется отключить.

В случае восстановления оборванного соединения sw1p2–mx3p2, после того, как на порт sw1p2 снова начнут приходить BPDUs, отправляемые ПЛК210 на порт sw1p1, порт sw1p2 снова примет роль резервного порта (Backup Port) и перейдет в состояние Discarding.



В подобной схеме, при восстановлении соединения между Mx210 существует вероятность кратковременного шторма в сети. Происходит это по той причине, что после восстановления оборванного соединения, оба порта ПЛК210 sw1p1 и sw1p2 находятся в состоянии Forwarding, что приводит к образованию петли. Петля будет разорвана только тогда, когда на порту sw1p2 будет получен BPDUs пакет, отправленный ПЛК210 через порт sw1p1. Соответственно, время возможного шторма в сети будет составлять не более hello секунд.

## 2.4.2 Подключение цепочки Mx210 к нескольким ПЛК210

Возможная схема подключения цепочки модулей ввода/вывода Mx210 к двум контроллерам ПЛК210 приведена на рисунке 2-12

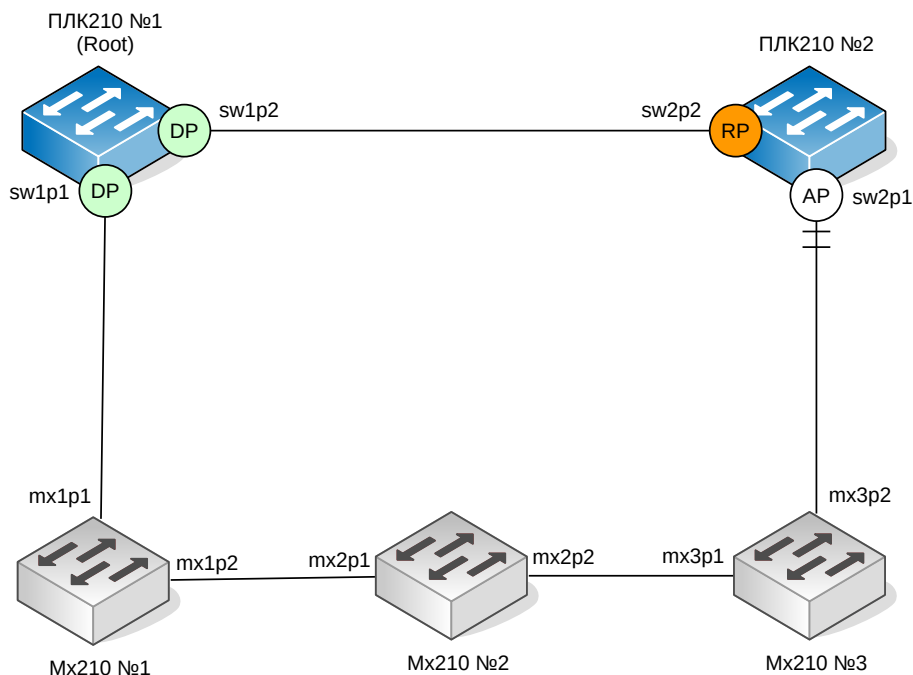


Рисунок 2-12: Схема подключения цепочки Mx210 к двум ПЛК210

Также как и в схеме с подключением цепочки Mx210 к одному ПЛК210 (см. раздел 2.4.1), в данной схеме количество Mx210 в цепочке не имеет значения. Эквивалентная схема, с точки зрения протоколов STP/RSTP, для данного подключения показана на рисунке 2-13.

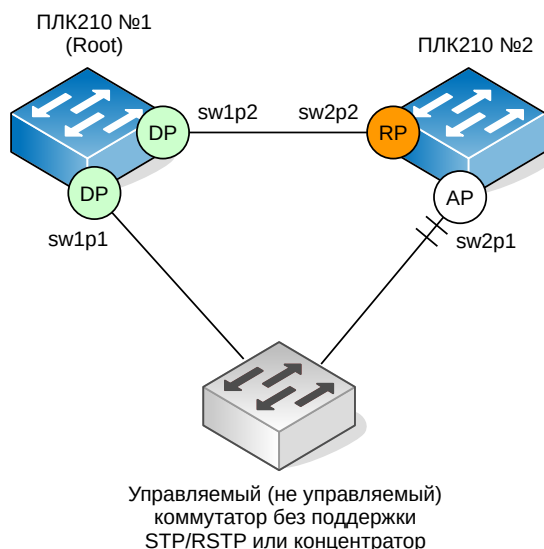


Рисунок 2-13: Эквивалентная схема подключения цепочки Mx210 к двум ПЛК210

Роль корневого коммутатора (Root Switch) выполняет ПЛК210 №1. Порты sw1p1 и sw1p2 ПЛК210 №1 имеют роль Designated Port и находятся в состоянии Forwarding.

Порт sw2p2 контроллера ПЛК210 №2 выполняет роль корневого порта (Root Port). Оставшийся порт ПЛК210 №2 (sw2p1) выполняет роль Alternate Port, являясь альтернативным соединением к корневому коммутатору. Передача данных на этом порте отключена, он находится в состоянии Discarding.

При обрыве соединений sw1p2–sw2p2, sw1p1–mx1p1 или sw2p1–mx3p2 данная схема будет вести себя следующим образом:

- В случае обрыва соединения sw1p2–sw2p2, альтернативный порт ПЛК210 №2 примет на себя роль корневого порта;
- при обрыве соединения sw1p1–mx1p1 порт sw2p1 примет роль Designated и перейдет в состояние Forwarding;
- при обрыве соединения sw2p1–mx3p2 порт sw2p2 просто перейдет в состояние Disabled.

В случае же обрыва соединения где-нибудь между модулями ввода/вывода Mx210 (соединения mx1p2–mx2p1 или mx2p2–mx3p1), реакция схемы будет более сложной. На рисунке 2-14, для примера, приведена схема с обрывом соединения mx1p2–mx2p1 в стабилизированном состоянии.

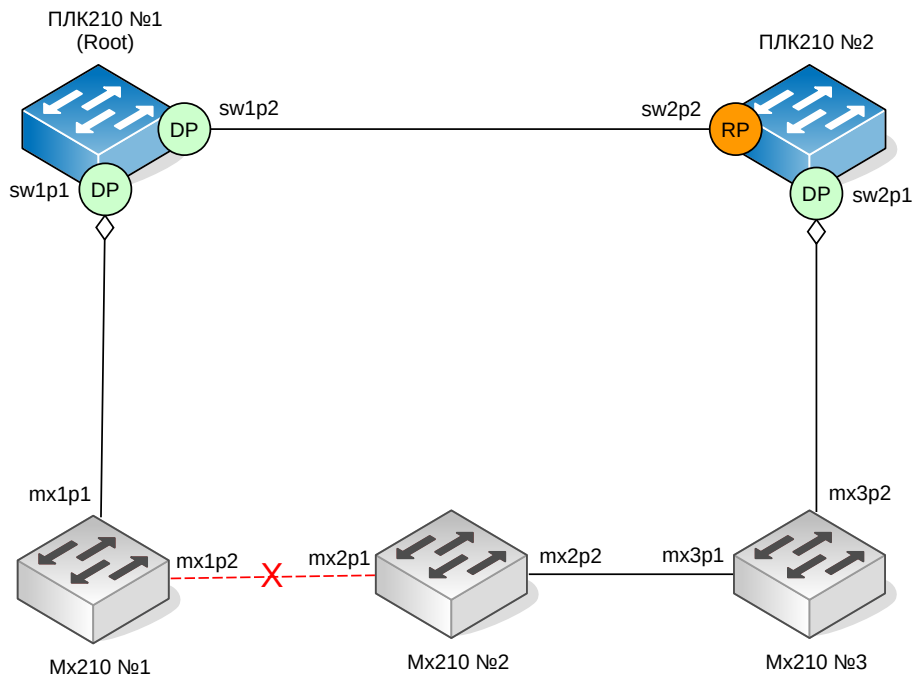


Рисунок 2-14: Схема соединения двух ПЛК210 с цепочкой из трёх Mx210 (обрыв между Mx210)

После обрыва соединения mx1p2–mx2p1, на порту sw2p1 ПЛК210 №2 перестанут приниматься BPDU, которые отправляются ПЛК210 №2 в порт sw1p1 каждые 2 секунды (параметр «Bridge Hello Time» стандарта IEEE 802.1D-2004).

После того, как на порту sw2p1 будет пропущено определенное количество BPDU пакетов (параметр «Transmit Hold Count» стандарта IEEE 802.1D-2004), порт sw2p1 будет переведен в состояние Listening на 15 секунд. Если за это время на порту не появятся BPDU, то порт будет переведен в состояние Learning еще на 15 секунд. После чего, порт будет переведен в состояние Forwarding и примет роль Designated, как для отдельного сегмента сети.

В том случае, если порт sw2p1 настроен в режиме автоматического определения граничного порта (Edge Port), то после обнаружения отсутствия BPDU на порту, порт будет сразу переведен в состояние Forwarding и примет роль Designated. Состояние Listening и Learning при этом будут пропущены.

В случае восстановления оборванного соединения mx1p2–mx2p1, после того, как на порт sw2p1 снова начнут приходить BPDU, отправляемые ПЛК210 №2 на порт sw1p1, он снова примет роль Alternate Port и перейдет в состояние Discarding.

## Список литературы

1. IEEE Std 802.1D-1998 - IEEE Standard for Local Area Network MAC (Media Access Control) Bridges. Standard. Institution of Electrical и Electronic Incorporated Engineers (IEEE).  
URL: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.1D-1998.html> (цит. на с. 6).
2. IEEE Std 802.1w-2001 - IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Common Specifications - Part 3: Media Access Control (MAC) Bridges: Amendment 2 - Rapid Reconfiguration. Standard. SS94939. Institution of Electrical и Electronic Incorporated Engineers (IEEE).  
URL: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.1w-2001.html> (цит. на с. 8, 9).
3. IEEE Std 802.1D-2004 (Revision of IEEE Std 802.1D-1998) - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Media Access Control (MAC) Bridges. Standard. SS95213. Institution of Electrical и Electronic Incorporated Engineers (IEEE).  
URL: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.1D-2004.html> (цит. на с. 9).
4. Linux драйвер 5-портового 10/100 Мбит/с управляемого Ethernet коммутатора Micrel (Microchip) KSZ8895. Руководство пользователя. UG-KSZ8895. ОВЕН (цит. на с. 12, 20).
5. Использование устройства ПЛК210 в сетях Ethernet с поддержкой протоколов STP/RSTP. Руководство пользователя. UG-KSZ8895-RSTP. ОВЕН (цит. на с. 12).