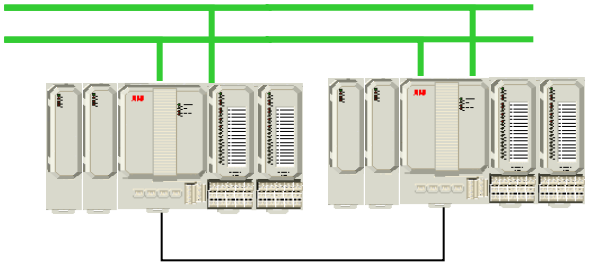
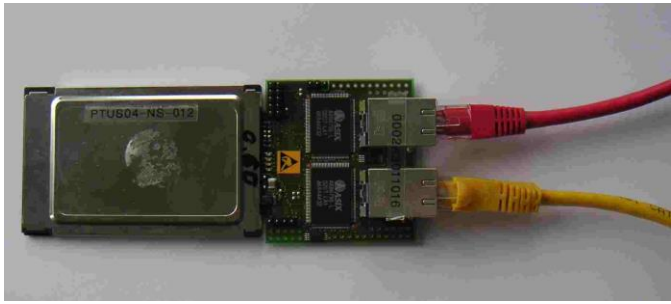
«High Availability Automation Networks»
Сети автоматизации высокой готовности

Стандартные методы резервирования

Объяснение стандартов IEC 62439

По материалам
Hubert Kirrmann
ABB Switzerland Ltd,
Corporate Research





Масич Г.Ф. доцент каф. ИТАС ПНИПУ, Пермь, февраль 2026

Цели IEC

Промышленная сеть — сеть передачи данных, используемая в промышленной для соединения различных датчиков, исполнительных механизмов, промышленных контроллеров.

Термин употребляется преимущественно в автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУТП). Описывается стандартом IEC 61158

Преимущество стандартов Industrial Ethernet (Промышленных сетей) заключается в том, что существует широкий выбор из стандартов (IEC 61784) и можно создать что-то свое.

Необходимо только доказать, что новые сети более надежны чем существующие промышленные сети, которые они заменяют.

Клиенты требуют, чтобы новая технология была, «по крайней мере, так же надежна как та, которую она заменяет»

Не все “Промышленные сети Ethernet” используют резервирование.

Представленный обзор – это предлагаемые IEC 62439 решения для резервирование в сети автоматизации

IEC 62439 включает 7 подразделов

IEC 62439-1 определяет термины
определяет как вычислять надежность и доступность
определяет, как вычисляется время восстановления **RSTP** (IEEE 802.2d)

IEC 62439-2 **MRP** (Media Redundancy Protocol -), кольцевой протокол Profinet, поддерживаемый PNO, Siemens, Hirschmann, Phoenix-Contact.

IEC 62439-3 Два связанных протокола (**нулевое время восстановления**)
PRP (Parallel Redundancy Protocol)
HSR (High-availability, Seamless Redundancy)
поддерживается ABB, Siemens, Hirschmann, ZHAW, Flexibilis

IEC 62439-4 **CRP** (coupled redundancy protocol) используется при поддержки Fieldbus Foundation, Honeywell

IEC 62439-5 **BRP** Beacon Redundancy Protocol (BRP), похожий на CRP..Протокол сигнальной избыточности, поддерживается Rockwell & ODVA.

IEC 62439-6 **DRP** (Distributed Redundancy Protocol), похожий на MRP и включает время синхронизации, поддерживается SupCon (China)

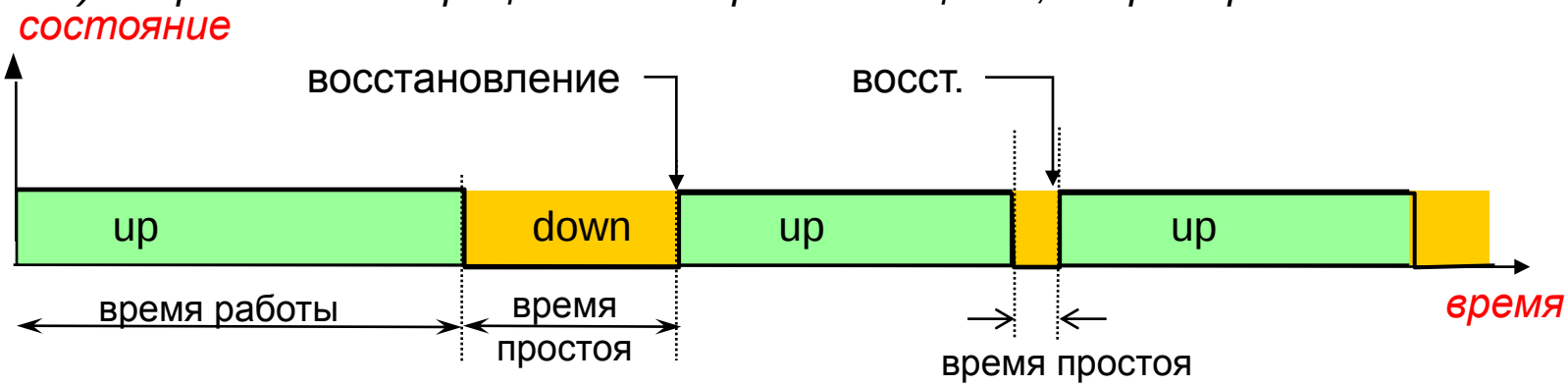
IEC 62439-7 **RRP** (Ring-based Redundancy Protocol) другой кольцевой протокол с резервированием поддерживается RAPIEnet, LS Industrial Systems Co (Korea).

1. Термины: Готовность и резервирование
2. Классификация требований
3. Уровни резервирования устройства и резервирование сети
4. Основанные на Ethernet сети автоматизации
5. Параллельное (статическое) и последовательное (динамическое) резервирование
6. Решения IEC 62439
7. Заключение

Некоторые термины

Готовность (Availability) относится к *восстанавливаемым* системам (*repairable* systems)

Готовность – это доля времени, когда система находится в состоянии "up" (рабочее состояние). Выражается в процентах от рабочего цикла, например 99.99%.



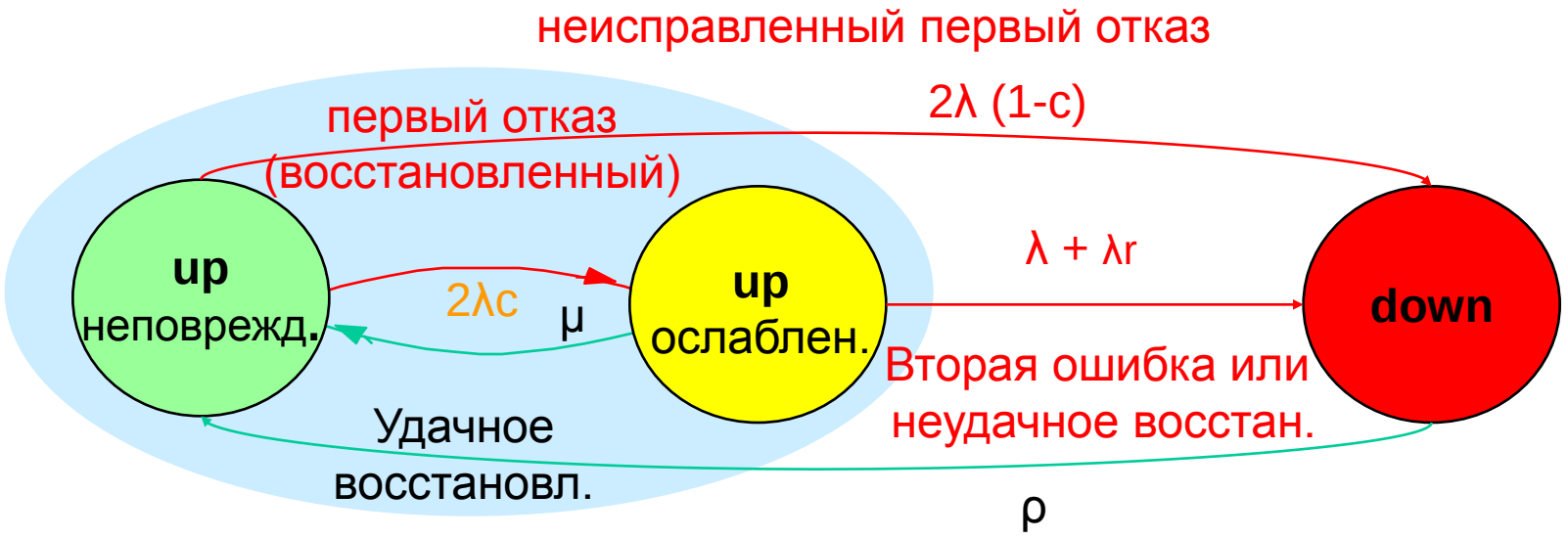
Мы рассматриваем систему, в которой готовность увеличивается с появлением резервирования (готовность может быть также увеличена за счет лучших составляющих, тех. обслуживания)

Резервирование *(Redundancy) – это любой ресурс, который не понадобится (не используется) при отсутствии отказа (failure)*

Мы рассматриваем автоматически подключаемый резерв в случае отказа (*отказоустойчивая система - fault-tolerant systems*) и автоматическое реинтеграция (переключение) после восстановления

$$A = \text{availability} = \lim_{t \to \infty} \frac{\Sigma \text{ up times}}{\Sigma (\text{up times} + \text{down times})} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Состояния готовности (Availability states)



Оборудование (механизмы) восстановления здесь не рассматривается

Мы должны рассматривать все состояние, не только то, которое наступает в случае отказа

Безотказность (Reliability) (1/2)

- Безотказность элемента есть вероятность того, что этот элемент обеспечивает требуемую услугу в данных условиях в течение установленного периода времени” (По определению Международной электротехнической комиссии)
- Безотказность есть вероятность того, что данная миссия будет выполнена
- Безотказность зависит от многих факторов, таких как производство, тестирование, стресс окружающей среды, и, в частности, в отношении продолжительности миссии
- Безотказность, как правило, зависит от времени нахождения объекта в рабочем состоянии, а вероятность обеспечения требуемого сервиса уменьшается со временем
- Самым важным фактором окружающей среды является температура, второе механические колебания (рис 1-1).

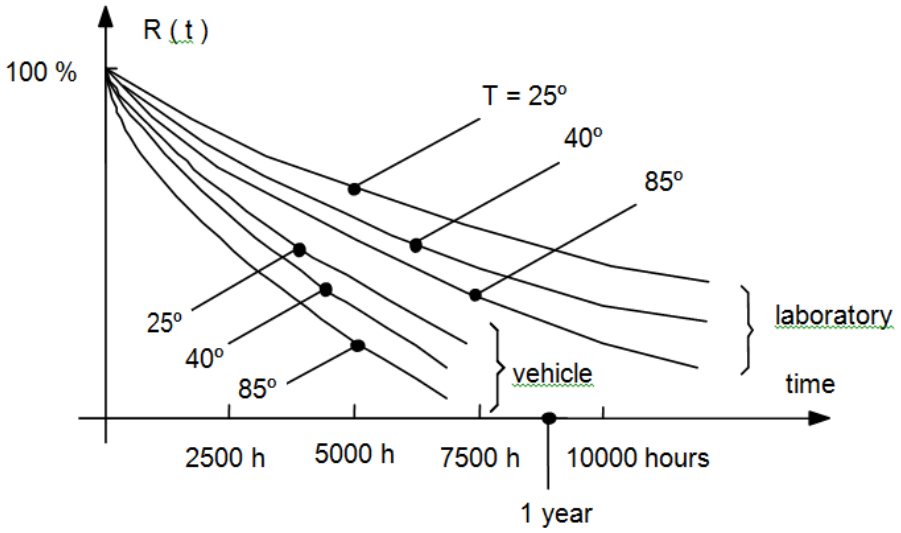
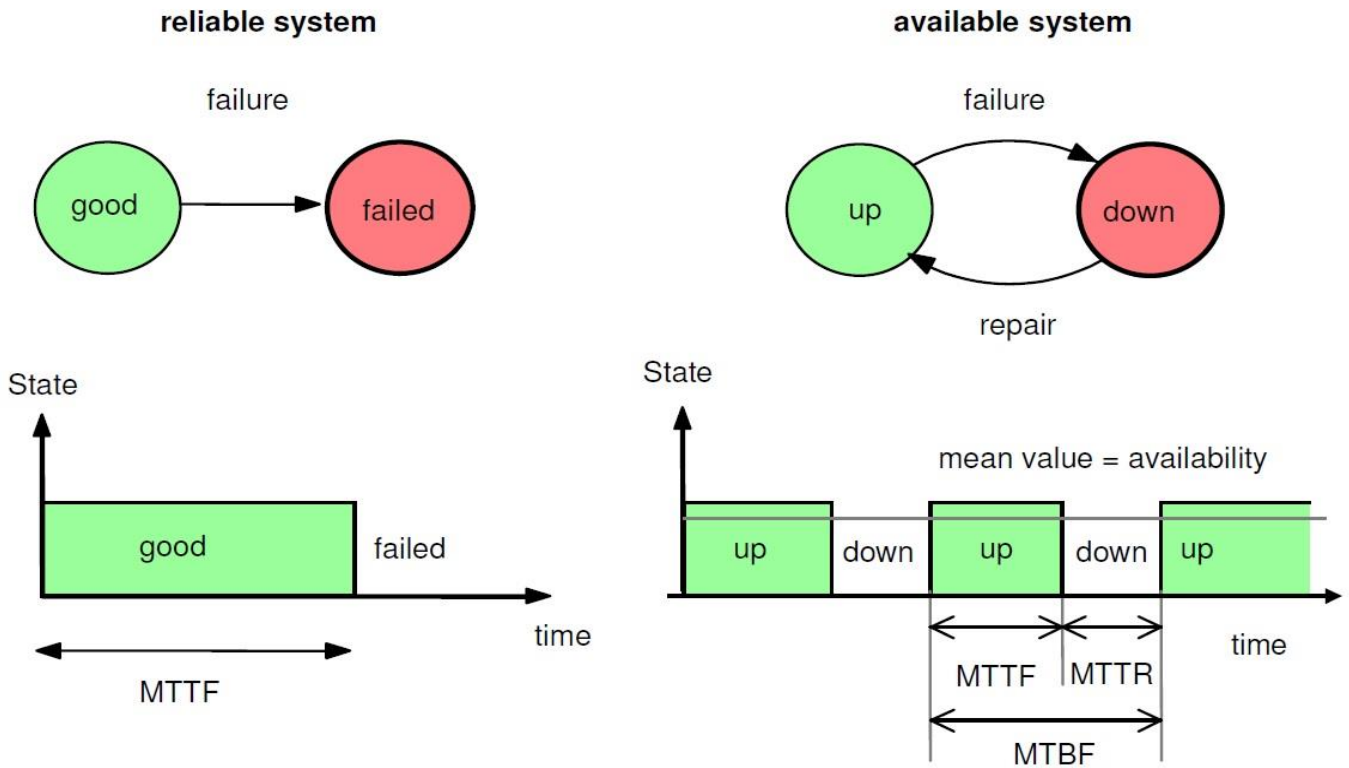


Fig. 1-1: Reliability in Function of time for one Item, with temperature as parameter.

Безотказность (2/2)

Безотказность может быть выражена аналитической функцией времени и других факторов. Для практических целей ее предпочитают выражать одним числом, например, “среднее время безотказной работы” MTTF (Mean Time To Failure)

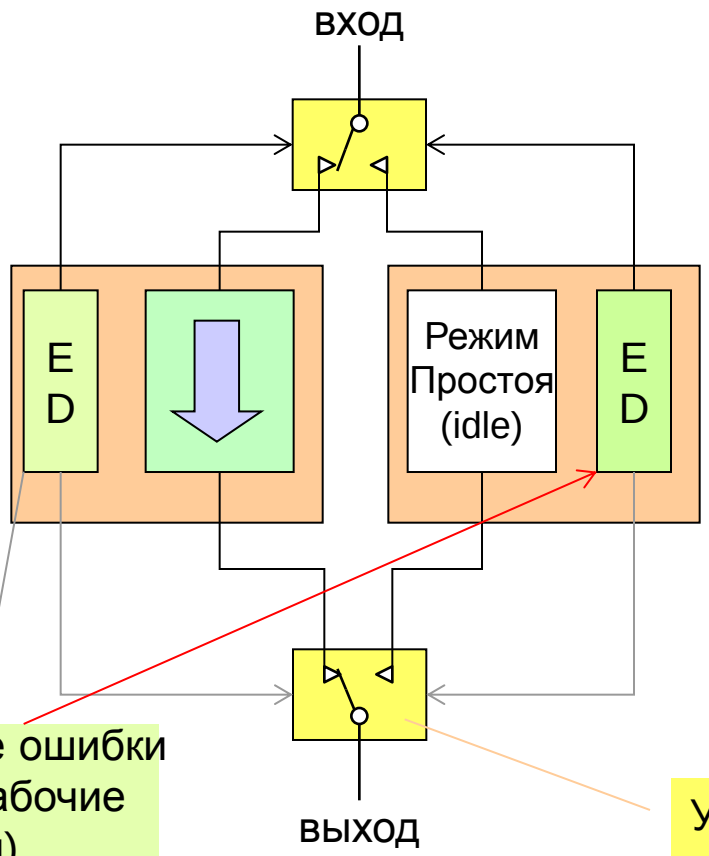
Интенсивность отказов элемента есть вероятность того, что элемент может произойти сбой в следующем небольшом временном интервале. MTTF есть ожидаемое среднее время, в течение которого элемент будет работать без ошибок.



Пример:
MTTF лампочки составляет 10000 часов. Ее частота отказов составляет 1 на 10000 часов, или 10^{-4} , а это означает, что есть один шанс в 10'000, что он терпит неудачу в течение следующего часа

Классификация методов резервирования (1)
Classification of redundancy methods

Динамическое резервирование (Дежурный, последовательный)



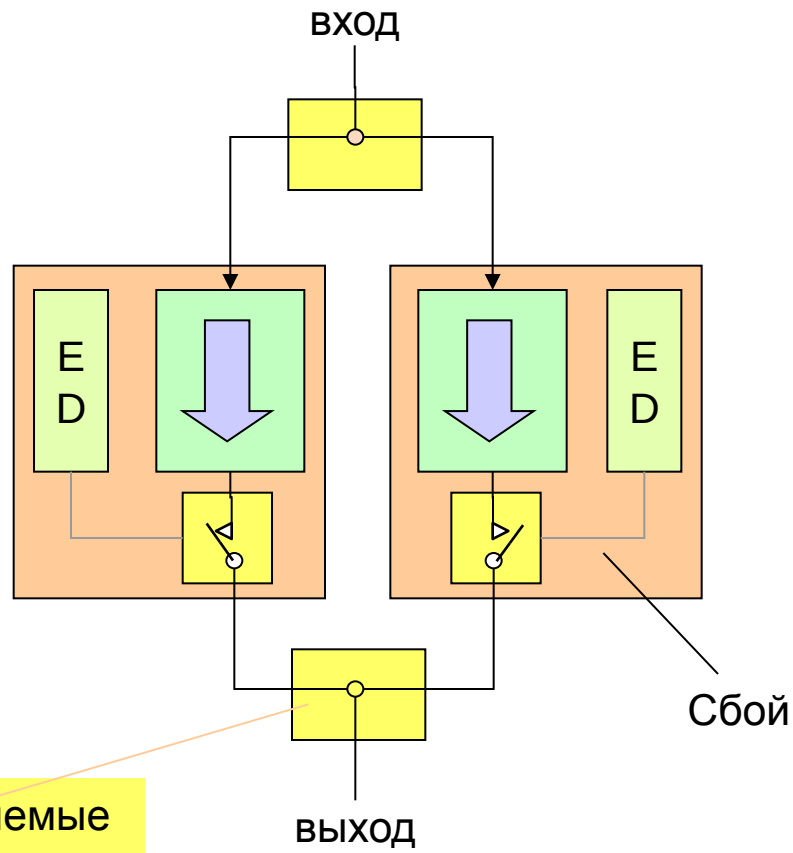
Автоматич. системы

Обнаружение ошибки (также нерабочие части)

Управляемые элементы

Парадигма: запасное колесо

Статичное резервирование (рабочий, параллельный, массивный)



Парадигма: двойные шины грузовиков

Классификация методов резервирования(2)

Динамическое резервирование (резервный, последовательный)	Статичное резервирование (параллельный, массив)
Резервирование не всегда активно. Переключение логики позволяет использовать резерв, перекладывая на него основные функции.	Резервирование всегда активно, система выбирает рабочую управляемую единицу.
Это позволяет:	Это позволяет:
+ разделить резервирование и нагрузку	+ обеспечивать мгновенное переключение
+внедрить частичное резервирование	+ постоянно осуществлять резервирование и увеличить охват обнаружения неисправностей
+уменьшить ошибки резервирования	+ обеспечивает отказоустойчивость
+ уменьшить общее количество ошибок	
- но переключение занимает время	- но полное дублирование дорогостоящее

1. Термины: доступность и избыточность
2. Классификация требований
3. Уровни устройства и резервирование сети
4. Основанные на Ethernet сети автоматизации
5. Параллельное (статическое) и последовательное (динамическое) резервирование
6. Решения IEC 62439
7. Заключение

Требования к отказоустойчивым *(fault-tolerance)* системам

1. Степень резервирования (полное, частичное дублирование)

"Расстояние Хеминга": минимальное количество компонентов, которые при ошибке не должны остановить систему.

2. Гарантированное поведение при отказе:

отказоустойчивое или нет

3. Время переключения на резерв

длительность прерывания обслуживания в случае отказа

4. Время переключения из резерва

продолжительность отказа для восстановления избыточности после ремонта
[живой (без выключения) восстановление резерва]

5. Стратегия восстановления

система 365/24, плановое техобслуживание, ежедневные остановки,…

6. Наблюдение

обнаружение и сообщение о перебоях (например счетчики).
наблюдение резервирования (против скрытых ошибок)

7. Последствия неудачи

частичная/полная потеря, постепенная/грациозная деградация, изоляция отказа

8. Экономические затраты на резервирование

дополнительные ресурсы, среднее время между ремонтом, среднее время между системным отказом

Время переключения и “льготное” время
switchover time and grace time

Задержка переключения – основное ограничение в отказоустойчивых системах.

Задержку переключения определяет “**льготное время”**, т.е. время, которое система допускает на восстановление прежде, чем принять чрезвычайные меры (например, аварийная остановка).

Например, время восстановления после сбоя связи должно быть короче, чем льготное время, чтобы это прошло незаметно для приложений.

Льготное время бывает:

Некритичное	< 10 s (не реального времени - ***not real time***) Планирование ресурсов предприятия
Общей автоматизации:	< 1 s (мягкого реального времени - ***soft real-time***) интерфейс пользователя, SCADA
Мягкое (Benign)	< 100 ms (реального времени - ***real-time***) обрабатывающая промышленность, электростанции
Критичное (Critical)	< 10 ms (жесткого реального времени - ***hard real time***) синхронизированные двигатели, контроль за роботом

Требования к задержке восстановления в IEC 61850-5 Ed. 2

Общающиеся системы	Служба	Максимальное время задержки	Необходимое коммуникационное время восстановления
SCADA to DAN, клиент - сервер	IEC 61850-8-1	800 ms	400 ms
DAN to DAN interlocking взаимоблокировка	IEC 61850-8-1	12 ms	4 ms
DAN to DAN, reverse blocking обратное блокирование	IEC 61850-8-1	12 ms	4 ms
Protection trip excluding Bus Bar protection Защищенный канал, исключая защиту шины	IEC 61850-8-1	8 ms	4 ms
Bus Bar protection Защищенная шина	IEC 61850-9-2 на шине станции	< 1 ms	плавное
Sampled Values Выборочные значения	IEC 61850-9-2 на шине процесса	Менее двух последовательных выборок	плавное

Для выполнения этих требований IEC 61850-8-1 и -9-2 используют решения резервирования, стандартизированные для Industrial Ethernet по IEC 62439-3.

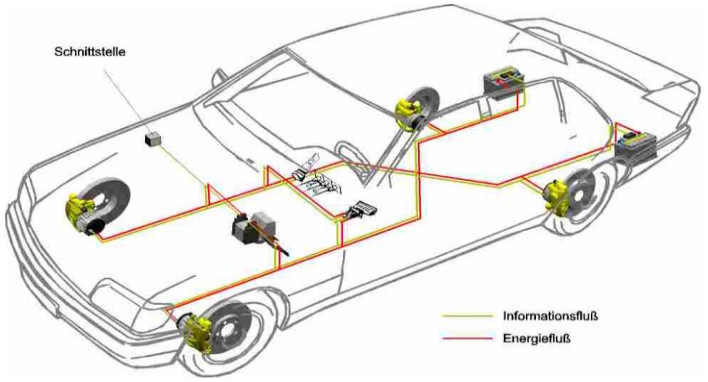
Льготное время зависит от системы (типичные числа)

цемент: 10s

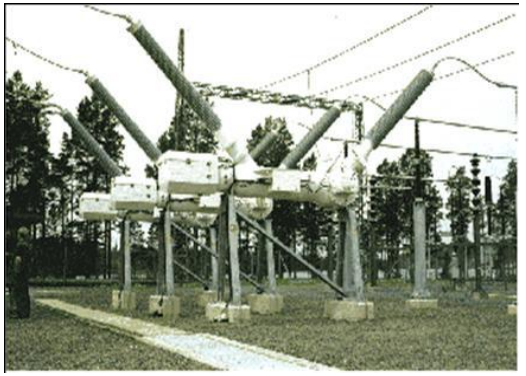
Химпром: 1s

печать: 20 ms

поезд: 100ms



X-образный провод: 10ms



Подстанции: 5 ms

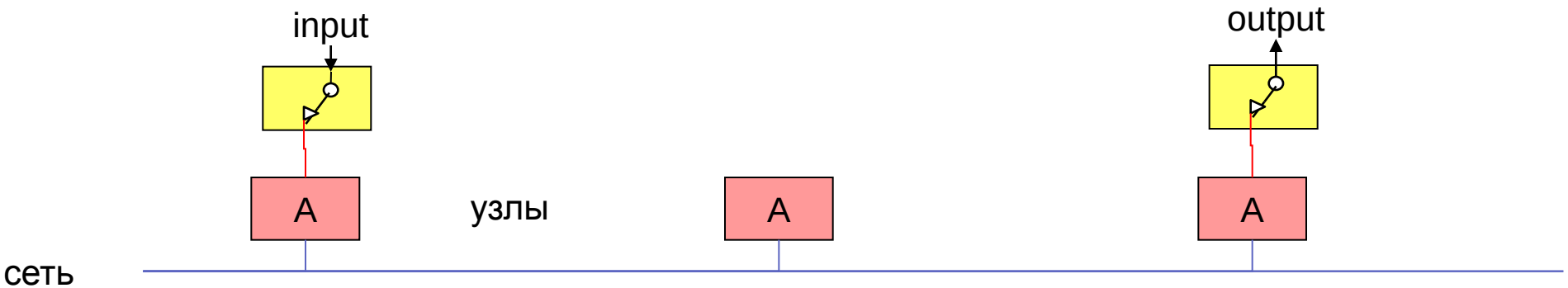
1. Термины: доступность и избыточность
2. Классификация требований
3. Уровни устройства и резервирование сети
4. Основанные на Ethernet сети автоматизации
5. Параллельное (статическое) и последовательное (динамическое) резервирование
6. Решения IEC 62439
7. Заключение

Сети автоматизации: архитектура полного дублирования

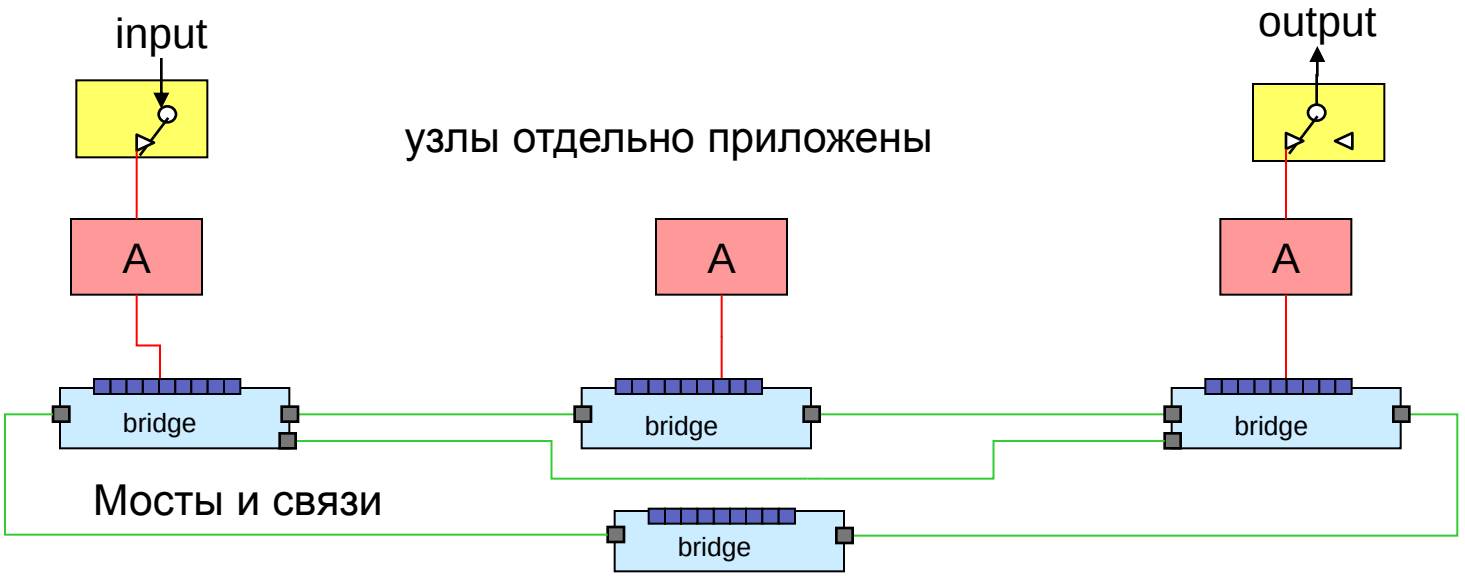
Мы рассматриваем сети для систем автоматизации, состоящих из узлов, мостов и связей.

Устройства и сети резервирования(1)

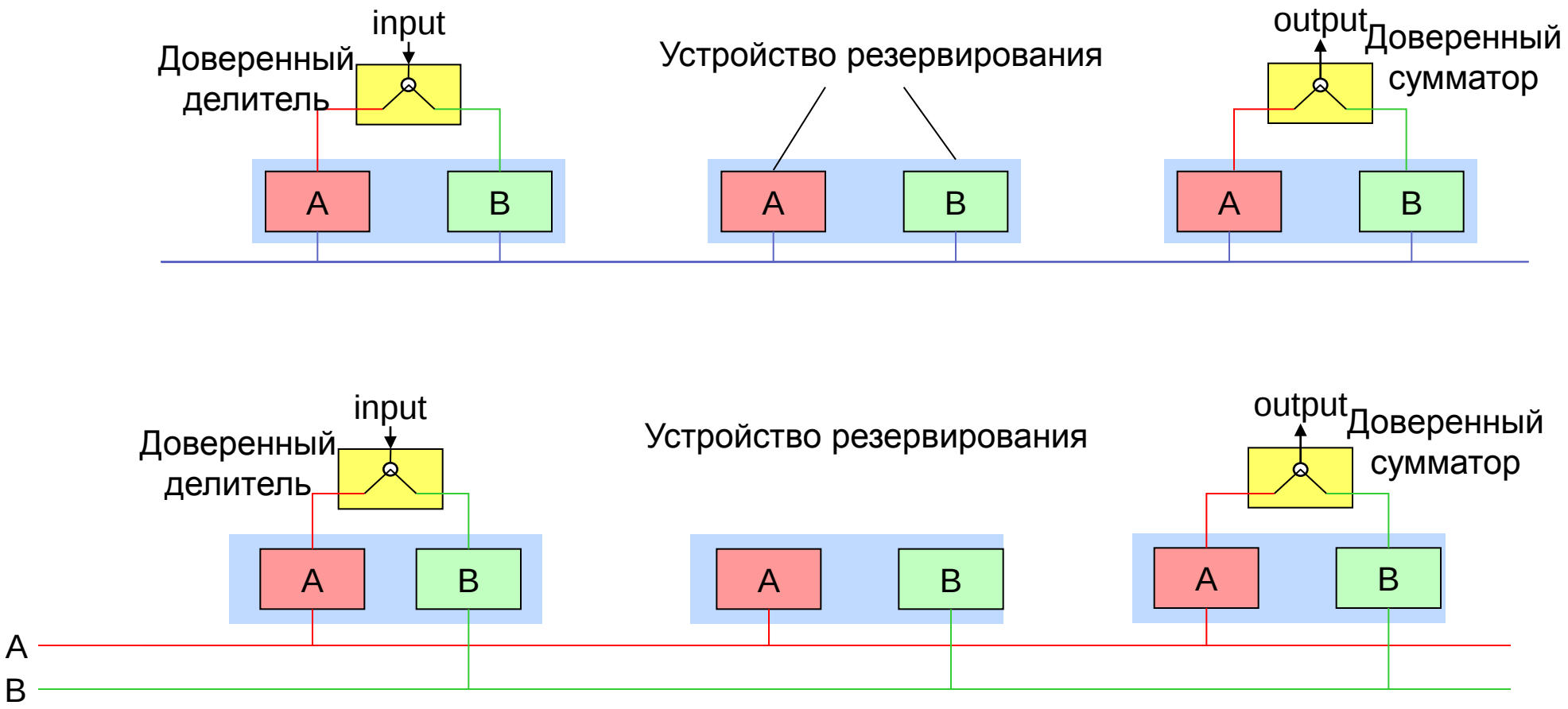
1) Без резервирования (кроме логики не оповещающей об ошибках)



2) Резервирование в сети: защиту от сбоев сетевых компонентов

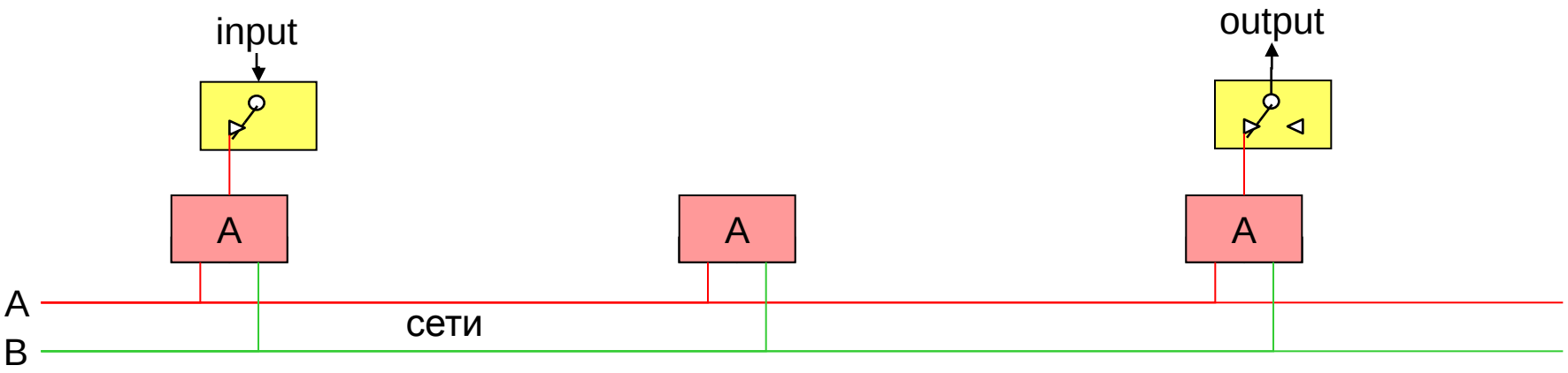


Устройства резервирования и сети резервирования (1)

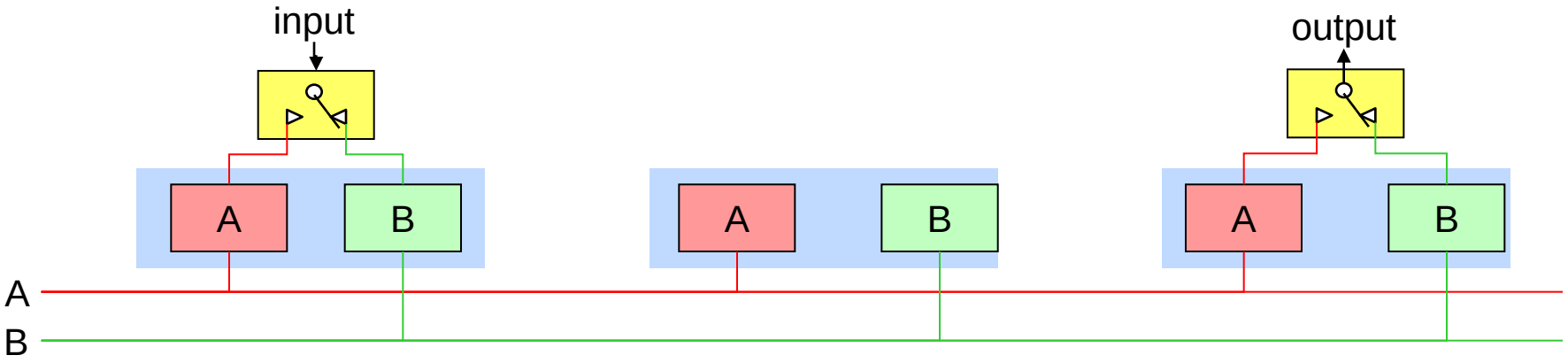


Устройства и сети резервирования (2)

3) Вдвойне приложенные узлы защищают, кроме того, от отказов сетевого адаптера

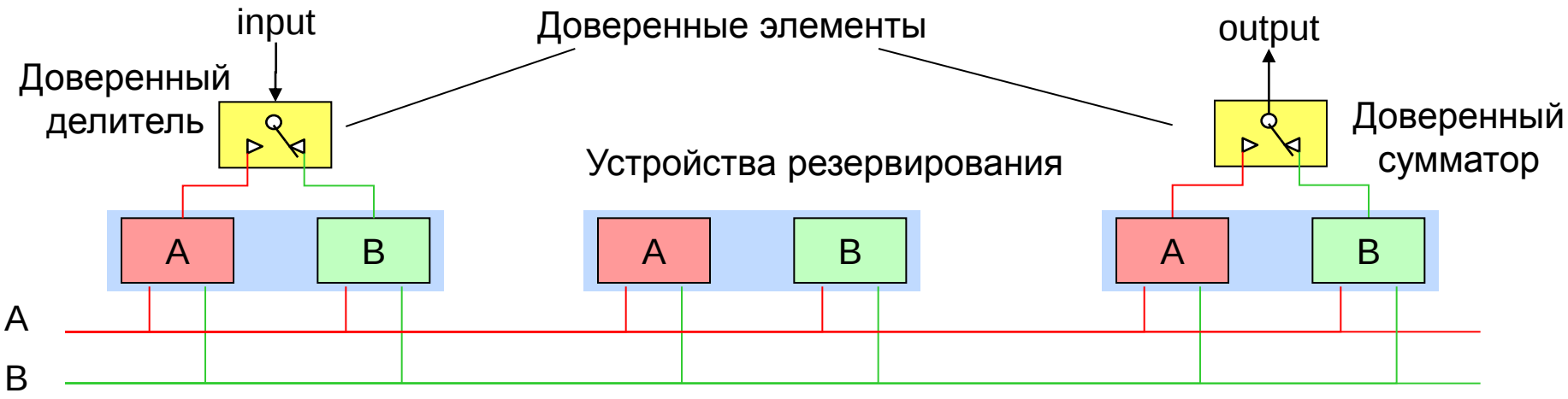


4) Избыточные, отдельно приложенные узлы защищают от отказов узла или сети



Устройства и сети резервирования (3)

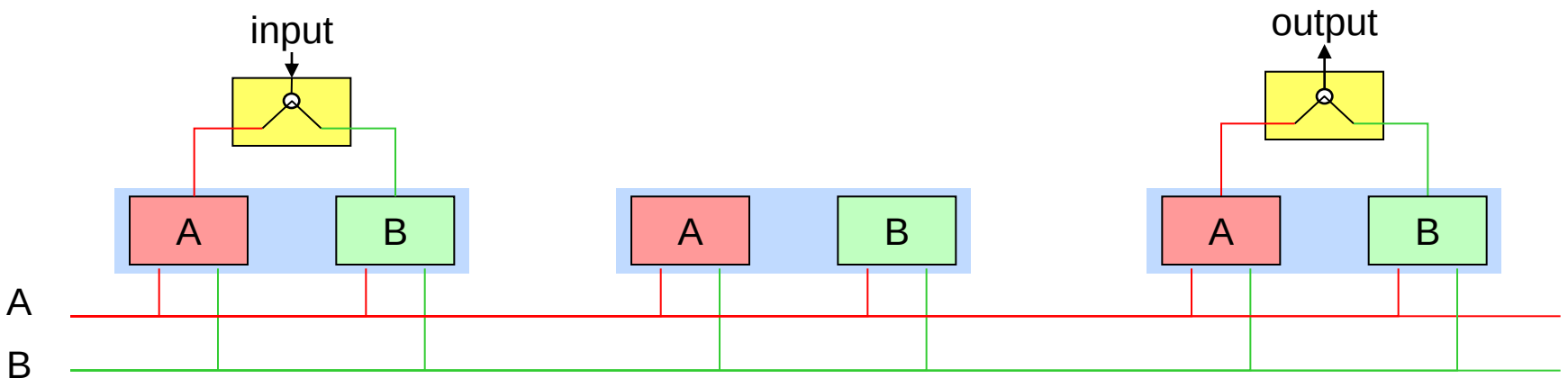
5) Вдвойне приложенные узлы и сетевой переход защищают от отказа сети и узла



Перекрестное резервирования позволяет преодолеть двойные сбои (устройства и сети). Однако использование перекрестного резервирования требует осторожность, так как он полагается на элементы, которые могут представлять одиночные точки ошибок и должны быть очень надежными, чтобы получить пользу.

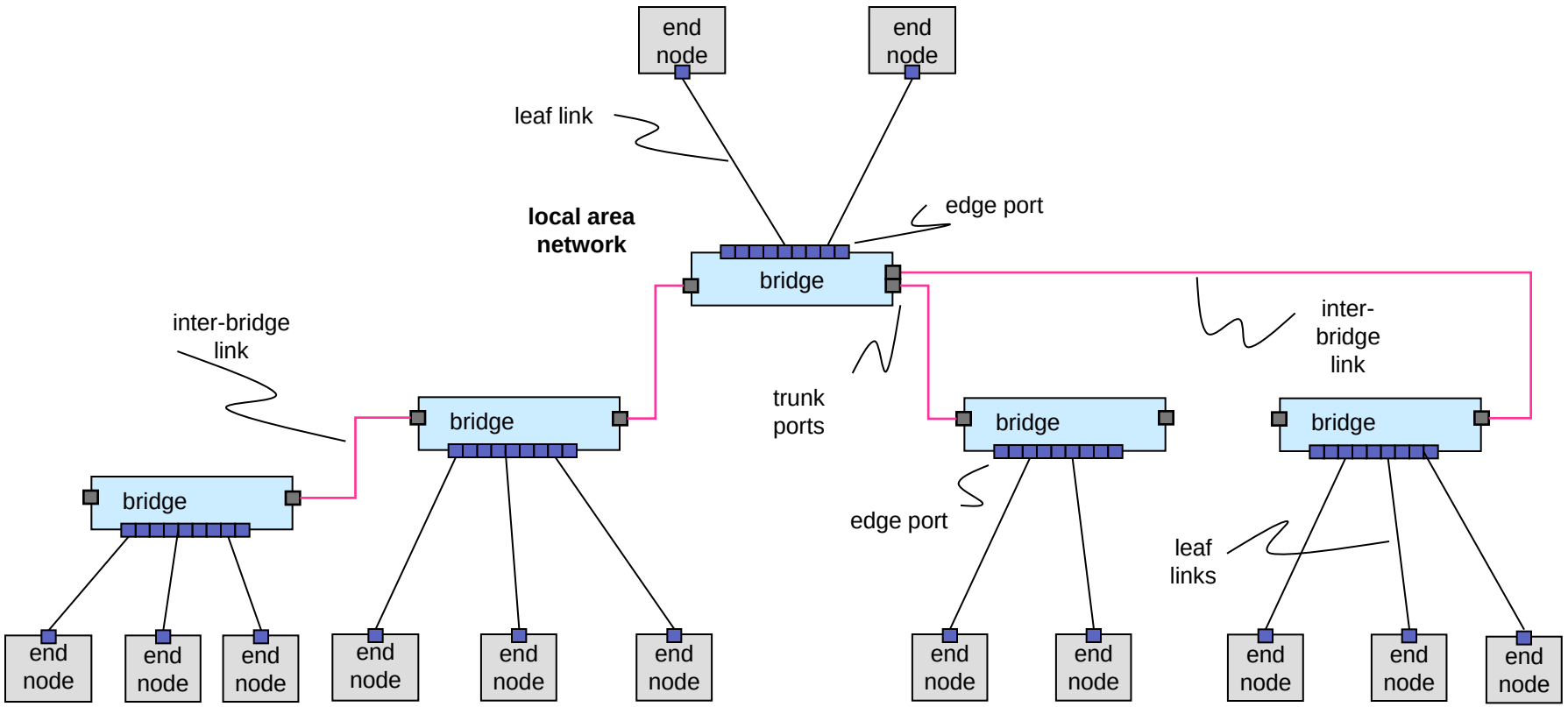
IEC SC65C обращается к типам резервирования 2 и 3 –
типы 4 и 5 могут быть построены из решений 2 и 3

Деятельность Workby



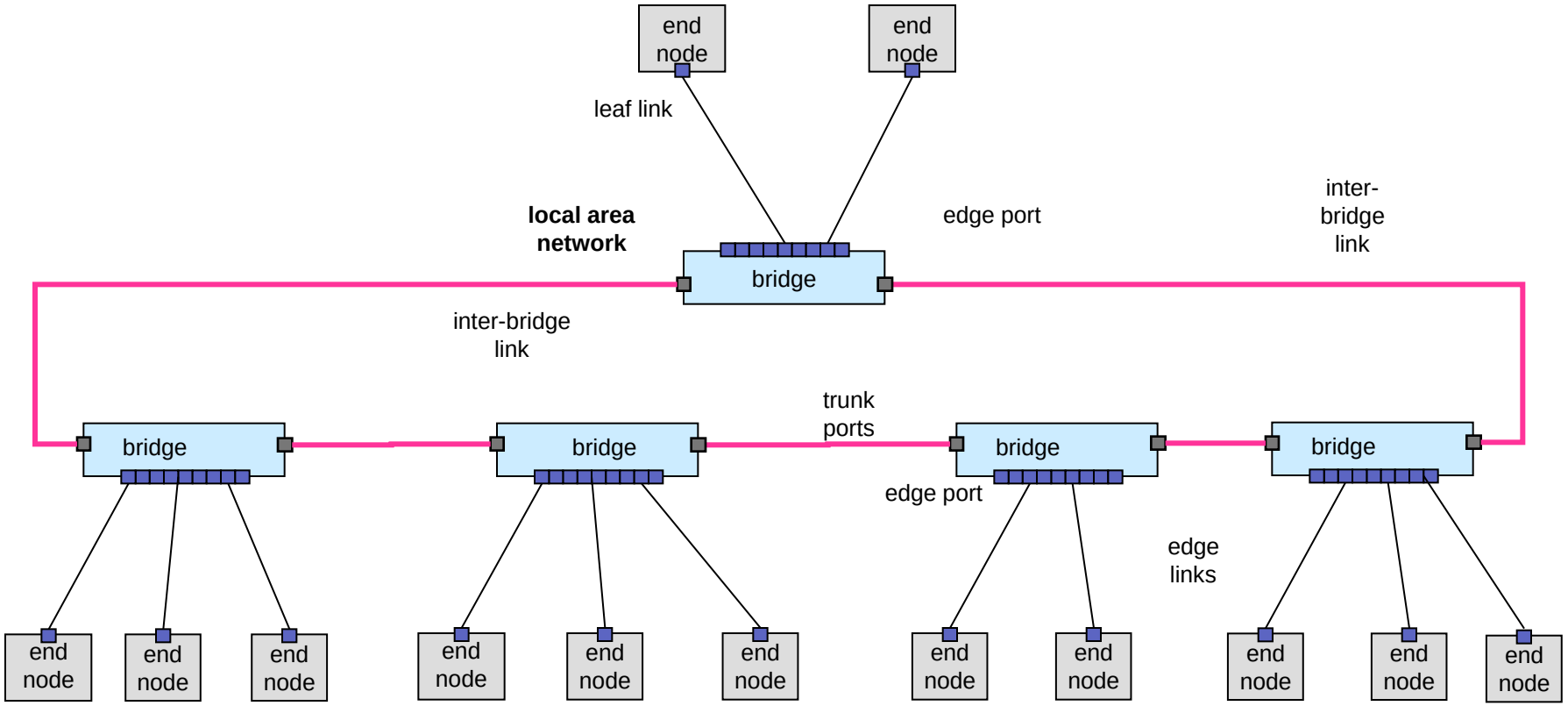
1. Термины: доступность и избыточность
2. Классификация требований
3. Уровни устройства и резервирование сети
4. Основанные на Ethernet сети автоматизации
5. Параллельное (статическое) и последовательное (динамическое) резервирование
6. Решения IEC 62439
7. Заключение

Основанные на Ethernet сети автоматизации (топология дерево)



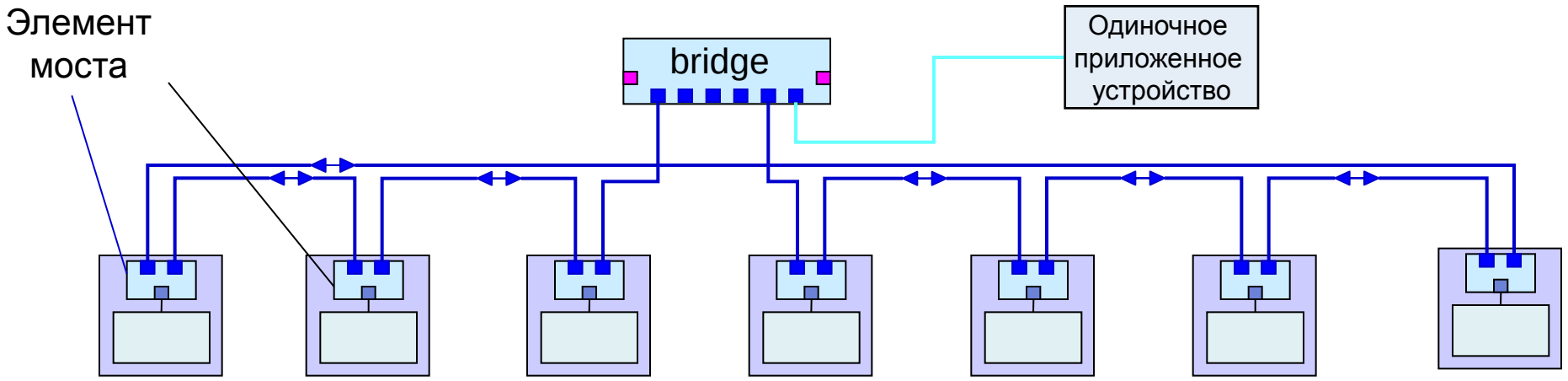
В принципе, без резервирования

Основанные на Ethernet сети автоматизации (кольцевая топология)



Длительная задержка, но есть некоторое резервирование

Основанные на Ethernet сети автоматизации (кольцо узлов)



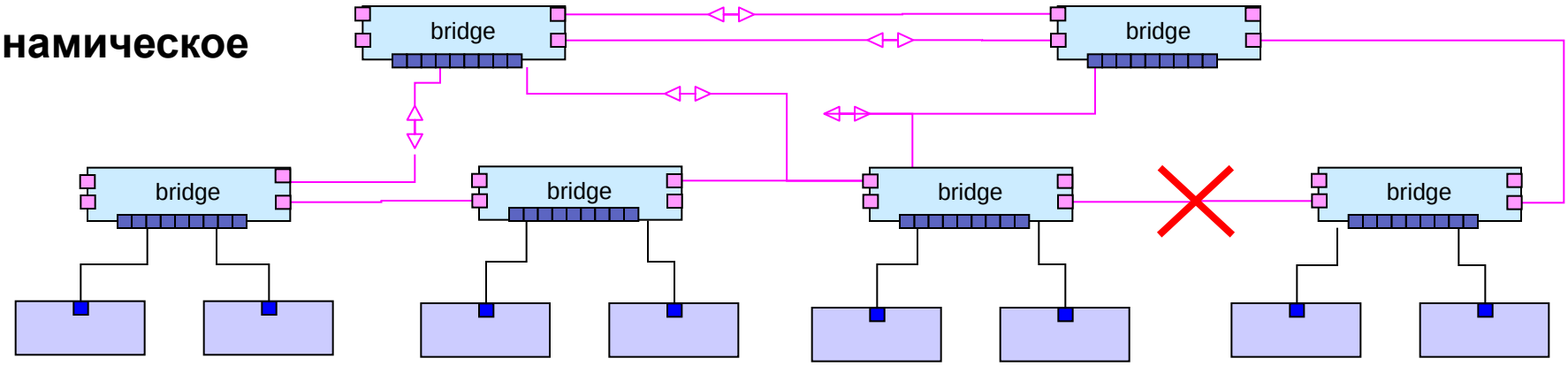
Эта топология становится популярной, так как она уменьшает кол-во дорогостоящих мостов(bridges) и позволяет построить простую линейную схему кабельного соединения, давая устройствам резервирующую связь.

Тем не менее, это является последовательным резервированием, т.е. требует определенного времени чтобы изменить направление.

Устройства имеют двойную связь, но управляются параллельно.

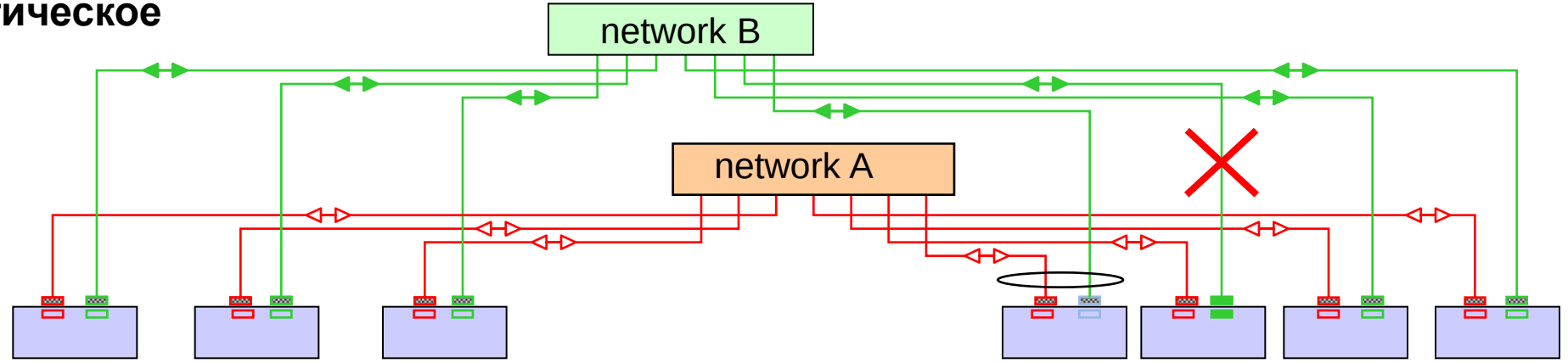
Динамическое и статическое резервирование в сетях

Динамическое



В случае разрыва, маршрут движения трафика идет через другой порт моста

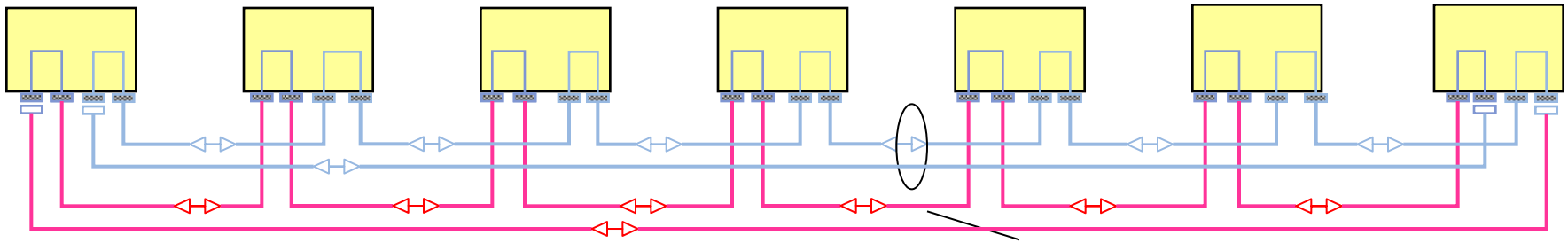
Статическое



В случае ошибки устройства работают с оставшимся каналом.
Известен в мире как fieldbus

Расположение резервирования

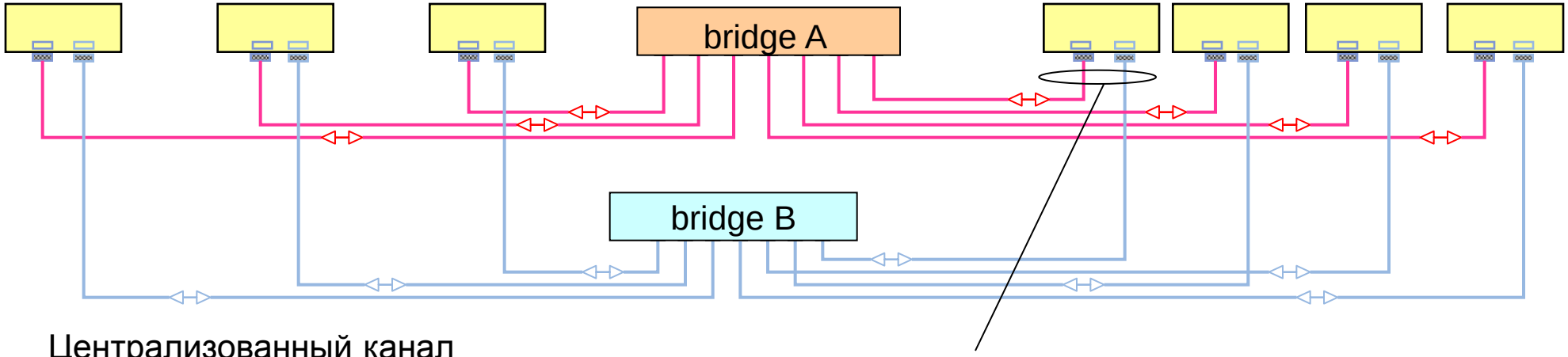
Частично линейная (смесь B и C)



Оба кабеля могут передавать в одинаковом направлении, если общий режим ошибки приемлем

Топология звезда (C)

мосты должны быть отдельно приведены в действие



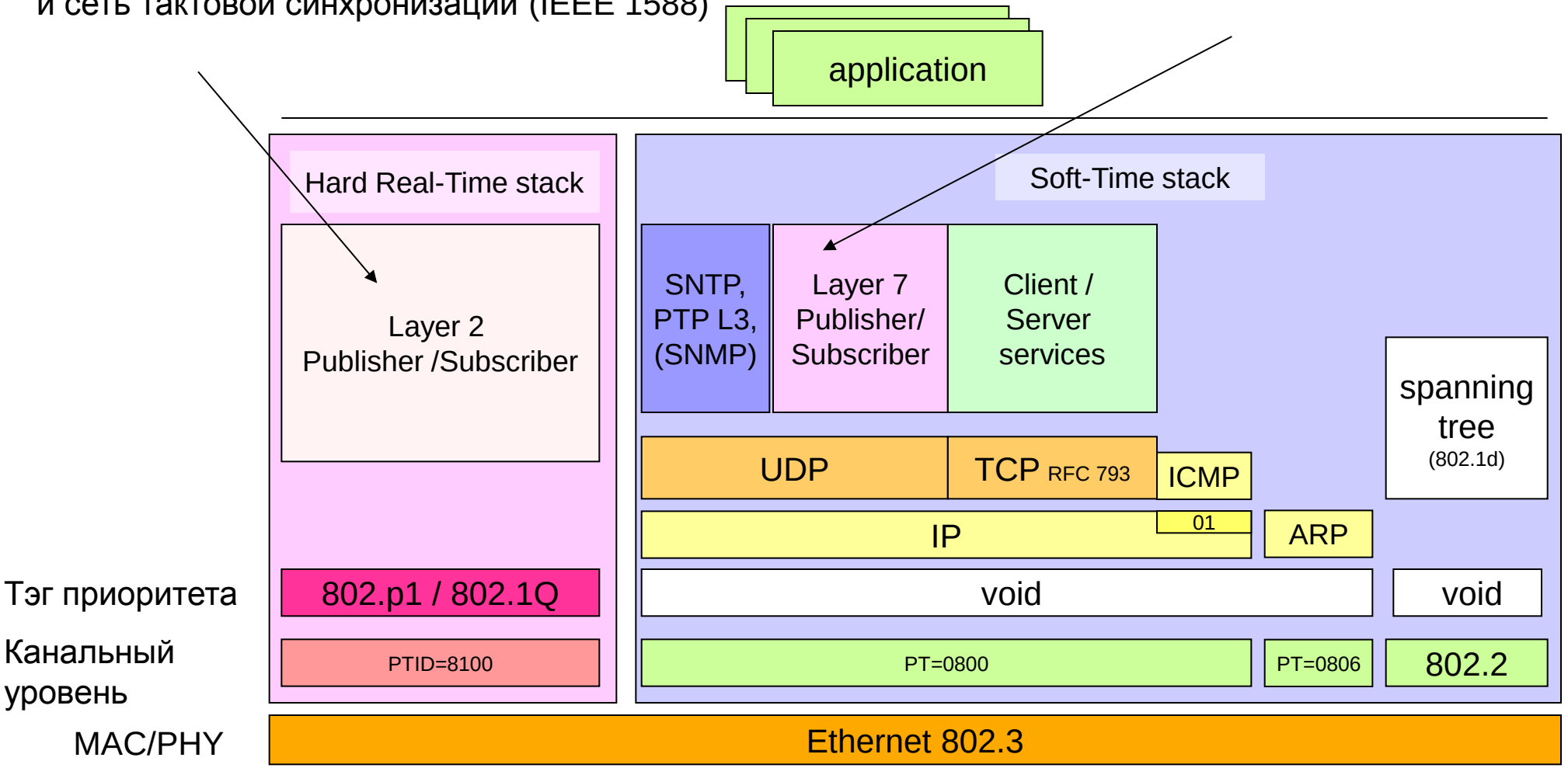
Централизованный канал

Общий режим ошибки не может быть исключен, т.к. каналы становится ближе друг к другу в каждом устройстве

1. Термины: доступность и избыточность
2. Классификация требований
3. Уровни устройства и резервирование сети
4. Основанные на Ethernet сети автоматизации
5. Параллельное (статическое) и последовательное (динамическое) резервирование
6. Решения IEC 62439
7. Заключение

Что делает Промышленный Ethernet особенным

Большинство «Промышленных сетей» использует классический TCP-UDP-IP стэк и в дополнении канальный уровень для передачи данных в реальном времени(используя UDP) и сеть тактовой синхронизации (IEEE 1588)



Поэтому, Промышленная резервирование Ethernet должно работать на уровне 2

Коммуникационный стек и резервирование

Решения резервирования отличаются:

- уровень OSI, на котором выполнены переключение или выбор.

- работают ли они с динамическим или статическим резервированием

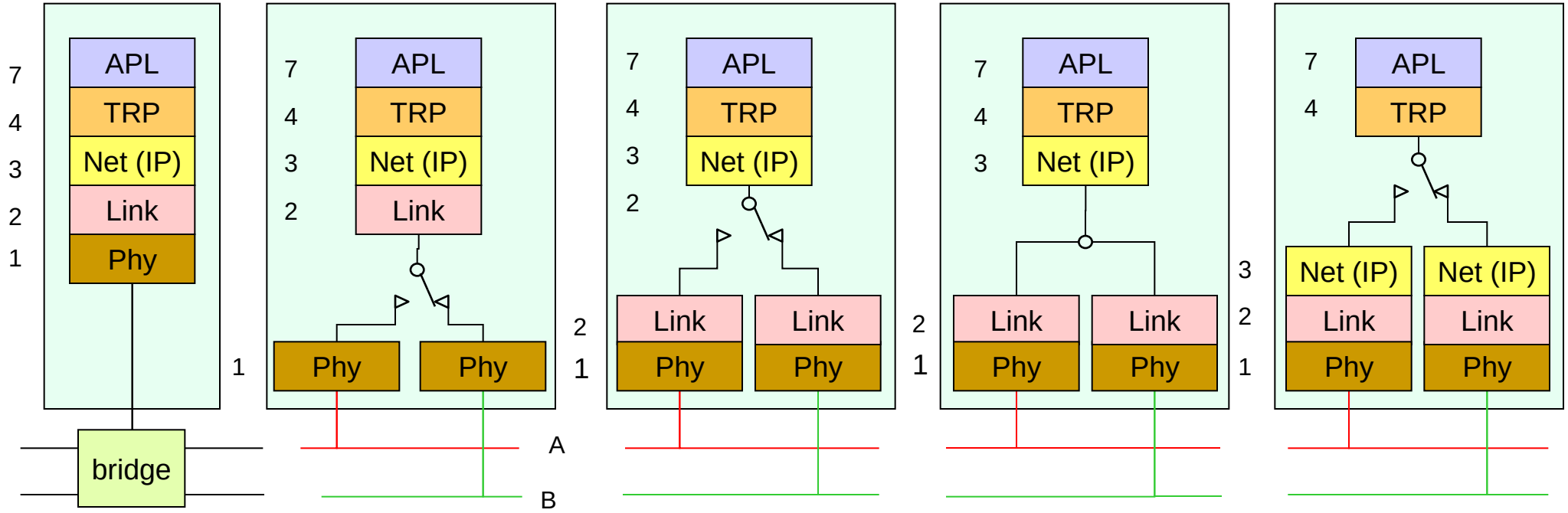
Промышленные протоколы работают и в сетевом слое (IP) и в слое связи (например, движение в реальном времени, синхронизация движения часов)

Резервирование только на сетевом уровне не достаточно, это должно быть осуществлено на канальном уровне, чтобы оценки промышленной сети Ethernet, которая используют эти слои.

Так как стандартные методы обращаются эффективно с резервированием в сетевом уровне(TCP / IP), сетевое резервирование уровня отделено от резервирования уровня устройства.

Коммерческие решения резервирования в узлах

(без дублирования узлов)



только резервирование в пределах сети	Физический уровень (drivers)	канальный уровень (drivers and controller)	канальный уровень (drivers and controller)	Сетевой уровень (drivers, controller and network routing)
1N	1 Ethernet controller	2 MAC Addresses	1 MAC Addresses	2 IP Addresses

уровень резервирования может быть определен используемыми адресами

Методы динамического резервирования в сетях

-IP protocol	Уровень3 (сетевой)	10s или более - неподходящий для Промышленного Ethernet
-RSTP (IEEE 802.1D)	Уровень 2 (bridges):	1 s, меньше в фиксированной топографии
-HyperRing	Уровень 2 (кольцо)	50 ms (зависит от размера кольца)
-CRP	Уровень 2	400 ms (зависит от размера LAN)
-BRP	Уровень 2	10 ms (зависит от частоты передачи)
-DRP	Уровень 2	?
-RRP	Уровень 2	?

-Время переключения динамического резерва ограничено временем обнаружения неудачи. (или скорее интервалом, в котором проверена не неудача, так как на неудачи нельзя положиться).

1. Термины: доступность и избыточность
2. Классификация требований
3. Уровни устройства и резервирование сети
4. Основанные на Ethernet сети автоматизации
5. Параллельное (статическое) и последовательное (динамическое) резервирование
6. Решения IEC 62439
7. Заключение

Правила WG15

1) стандартное решение для резервирования независимо от более высоких используемых протоколов

2) стандарт должен быть совместим с существующим оборудованием, особенно коммерческими PC и мостами, где никакое резервирование не используется

3) стандарт должен определить правила расположения и особенно интеграцию разных уровней резервирования

4) стандарт должен определить средства контролировать резервирование, например, использовать SNMP

5) стандарт должен определить сценарии для жизненной вставки и реинтеграции восстановленных компонентов

6) стандарт должен определить измеримые исполнительные цели, такие как время переключения и время реинтеграции

7) если несколько решений появятся, то стандарт должен определить их прикладные области и рекомендации для их использования

WG15 не должен рассматривать проблемы безопасности или вопросы безопасности – для этого есть другие стандарты.

Решения IEC 62439

WG15 удовлетворяет отдельным требованиям

A) общие системы автоматизации, льготное время - < 500 ms
стандарт рекомендует использовать **RSTP**
(основа: стандарты IEEE, RSTP) – нет потребности в новом стандарте

B) мягкие системы реального времени, которые являются чувствительным к стоимости, льготное время - < 200 ms
стандарт должен определить соответствующую схему отключения моста и резервирование устройств.
(основа: RSTP и дальнейшее развитие – решение: **MRP, DRP, RRP**)

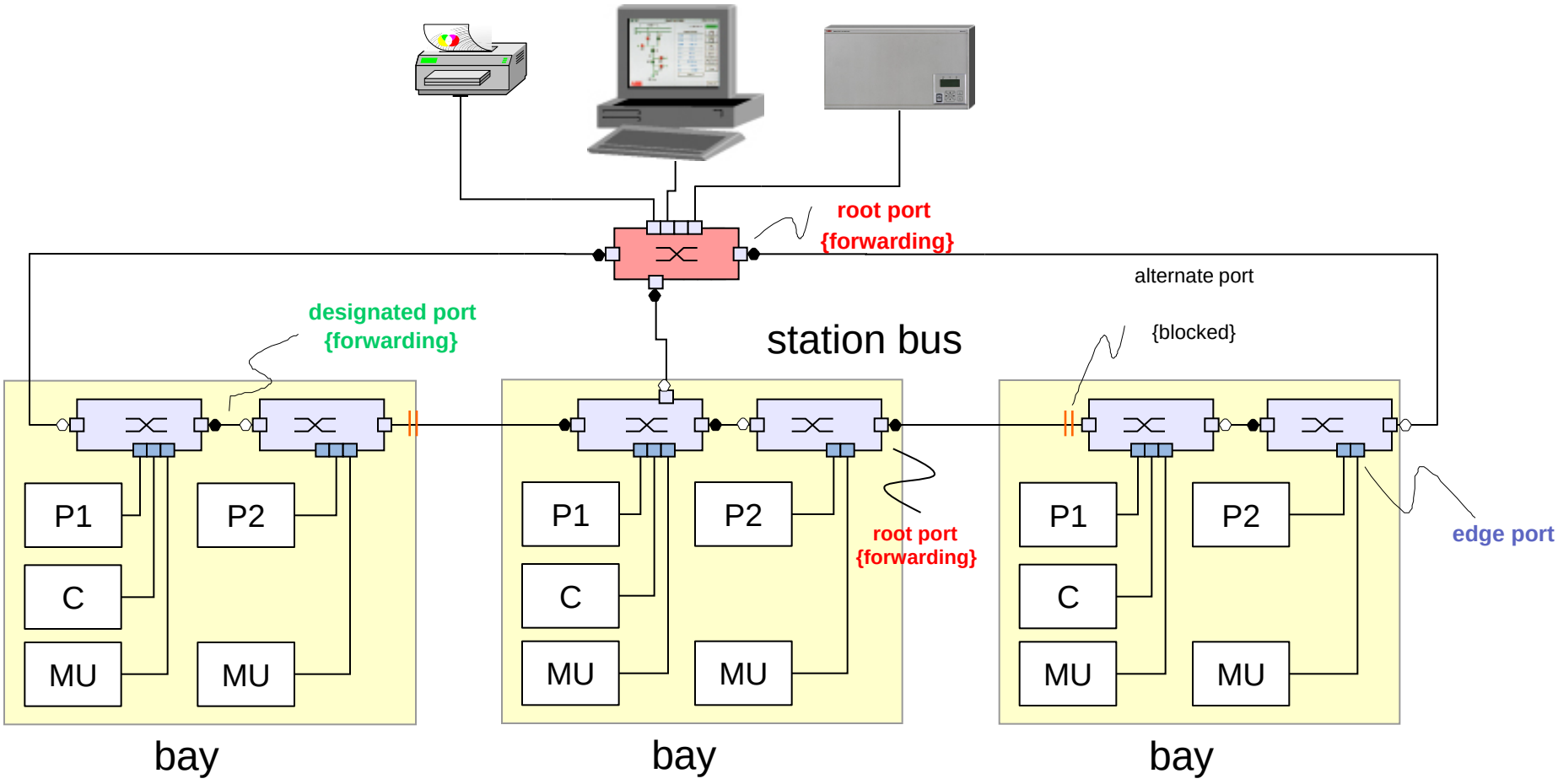
- MRP (Media Redundancy Protocol)
- DRP (Distributed Redundancy Protocol
- RRP (in preparation) another ring redundancy protocol supported by RAPIEnet

C)) критические системы реального времени, которые требуют более высокие требования, льготное время - 0 ms
стандарт должен определить параллельные сетевые решения и резервные каналы устройства.
(основа: ARINC AFDX и подобный – решение **PRP, HSR**)

D) устаревшие решения, основанные на Fieldbus Foundation

62439-1 RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol, IEEE 801.2D)

62439-1 не определяет RSTP, но показывает как вычислить его время восстановления.



Производительность RSTP

+: IEEE стандарт, проверенная на практике, большой рынок, дешево

+: не влияет на конечные узлы

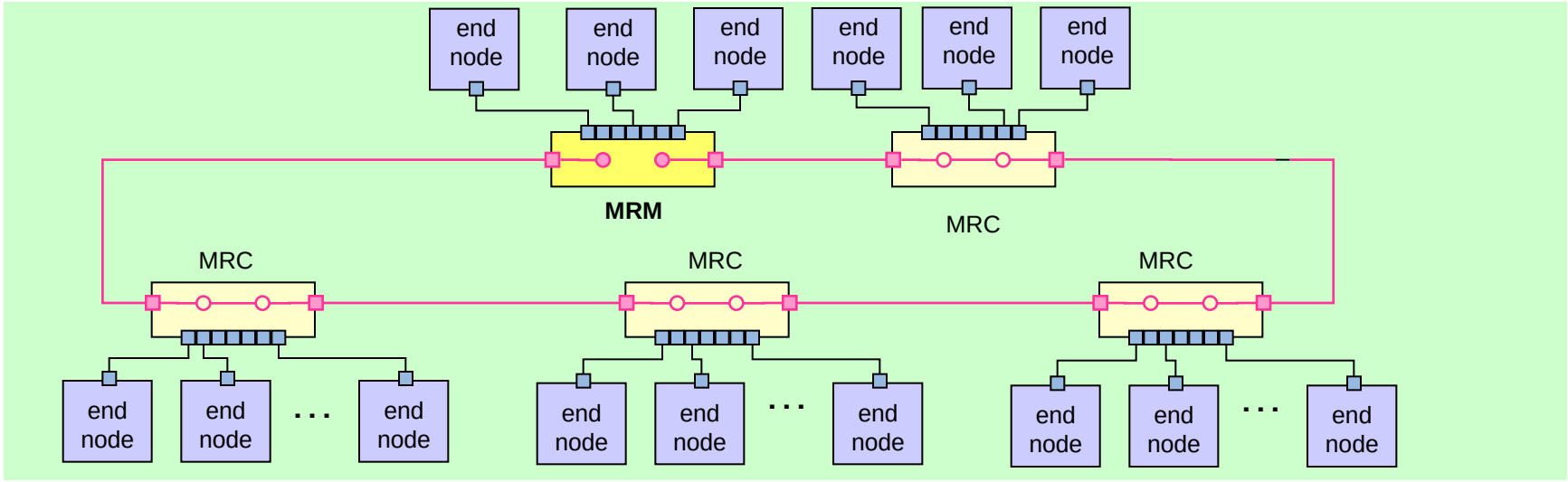
+: могут быть реализованы в узлах, если узлы содержат элемент моста

-: RSTP Носит славу довольно медленного переключения(несколько секунд).
Однако, если его топология фиксирована, мосты RSTP могут изучить топографию и вычислить дополнительные пути в случае, если случится неудачу.
Некоторые изготовители требуют задержек восстановления <100 мс для выбранных конфигураций

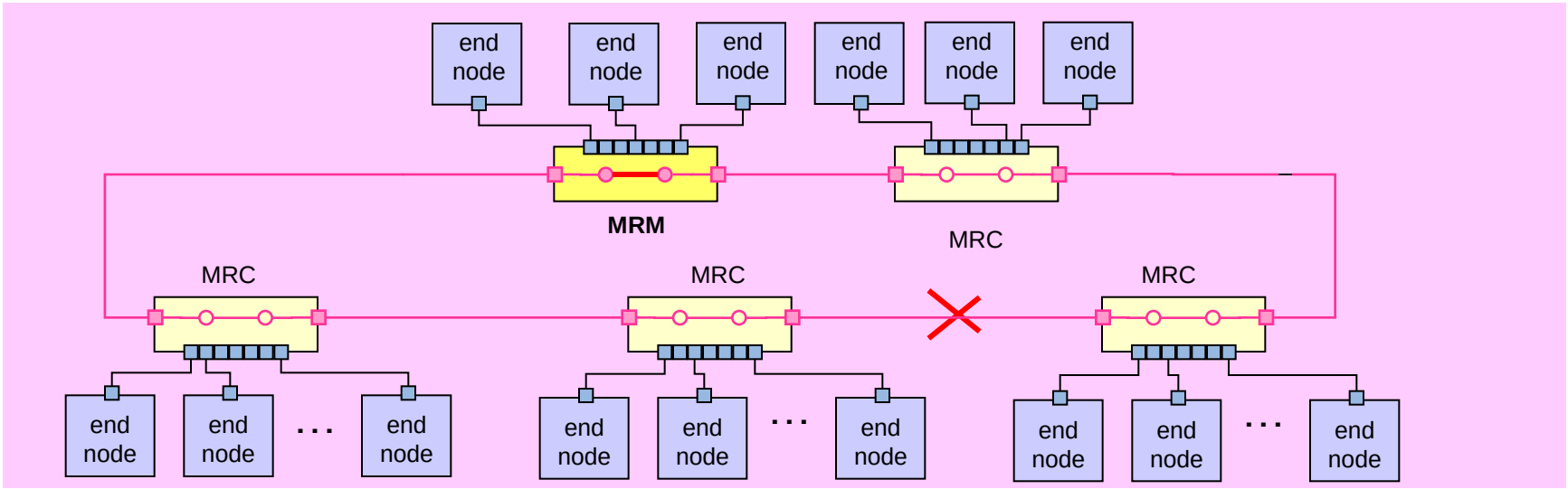
- Однако протокол RSTP не гарантирует поведение определенного характера при возникновении нарушений исправности связи в сети. Реакция зависит от места, где возникает нарушение, и от каждого конкретного случая. По этой причине предпринимаются некоторые попытки по оптимизации протокола RSTP ограничением его использования в кольцевых сетях и использованием предварительно устанавливаемых параметров определенного значения. При такой оптимизации достигается время переключения с одной цепи передачи данных на другую порядка 100 мс.-

62439-2 MRP (Siemens-Hirschmann hyperring)

Неповрежденное кольцо



Сломанное кольцо



Medium Redundancy Master (MRM) менеджер управляет кольцом
Medium Redundancy Clients (MRC) закрывает кольцо

62439-2 MRP (Media Redundancy Protocol)

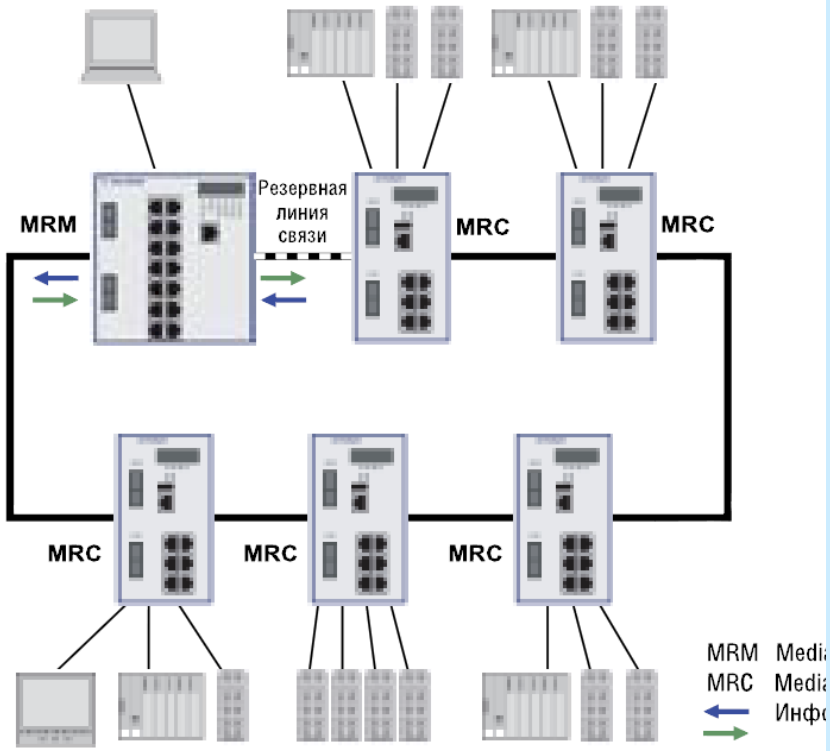


Рис. 2. Пример конфигурации сети при использовании проток

NRM - Media Redundancy ***Manager***
MRCs - Media Redundancy ***Clients***

MRP работает на MAC уровне промышленных сетей Ethernet. Поддерживает только кольцевую топологию с количеством коммутаторов ~50. Время восстановления от 10мс, 200мс, 500 мс

Идея: Один из улов кольца, менеджер (MRM), контролирует целостность кольца, передавая тестовые кадры в одну сторону и получая их с другой стороны. Все другие узлы в системе выполняют функцию клиента (MRC), реагируют на получаемые пакеты данных реконфигурации от MRM и обладают способностью обнаруживать изменения на своих портах и сигнализировать о них

Менеджер контролирует целостность кольца, передавая по кольцу в одну сторону тестовые кадры и получая их по кольцу с другой стороны.

Во время нормальной работы сети (состояние Ring-Closed, рис1) один из портовых портов MRM заблокирован, а другой - передача. И оба кольцевых порта всех MRC в состоянии передача. Цикла нет, избегают, поскольку топология физического кольца сводится к логической линейной топологии

Статусы портов: отключены (disabled), заблокированы (blocked) и передача (forwarding)

- Отключенные кольцевые порты отбрасывать все принятые кадры.
- Заблокированные кольцевые порты отбрасывать все принятые кадры, кроме кадров управления
- Forwarding кольцевые порты передают все принятые кадры

62439-2 MRP (Media Redundancy Protocol)

Во время нормальной работы сети (состояние Ring-Closed, рис1) один из портов MRM заблокирован, а другой в состоянии передача. И оба кольцевых порта всех MRC в состоянии передача. Цикла нет, их избегают, поскольку топология физического кольца сводится к логической топологии заглушки.

Протокол MRP разработан исключительно для использования в сетях с кольцевой топологией, но гарантирует определенное время переключения с одной цепи передачи данных на другую

В зависимости от выбранных параметров время переключения может составлять 500 мс, 200 мс или 10 мс, даже в тех сетях, где в кольцевой схеме объединены 50 или более Ethernet-коммутаторов

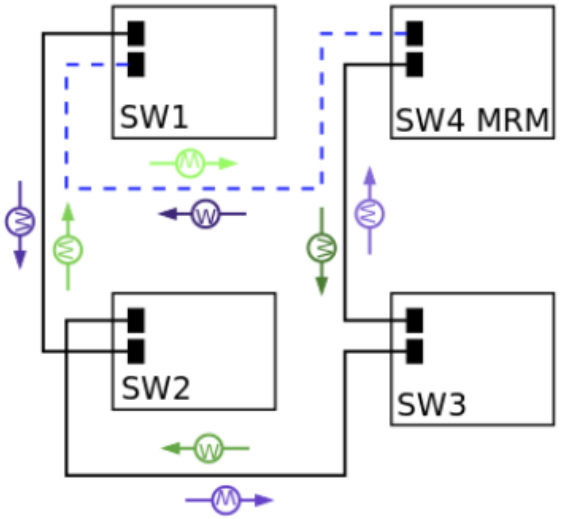


Figure 1: MRP ring in Ring-Closed status

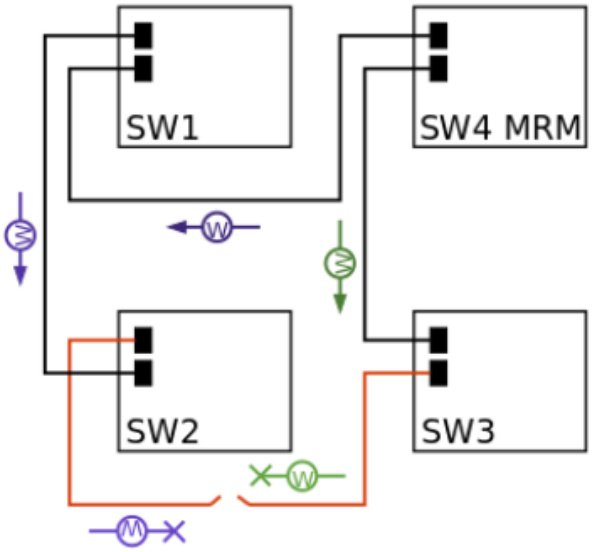


Figure 2: MRP ring in Ring-Open status

Производительность MRP

MRM проверяет целостность кольца, посылая тестовый кадр в обоих направлениях.
Эти тестовые кадры пересылаются всеми неповрежденными мостами и линиям между мостами.
Если MRM не получает свои кадры на свой другой интерфейс, она закрывает кольцо
в месте его нахождения, восстанавливая трафик.

Слежение за кадрами позволяет локализовать источник ошибок.

+: быстрое переключение(< 200ms)
+: не влияет на узлы
+: не растет сетевая инфраструктура.

-: MRP мосты не совместимы с RSTP мостами, ограниченный рынок
-: ограничивается одной кольцевой топологией

Медиа Redundancy Protocol (MRP) представляет собой протокол сети передачи данных Сандартизирован Международной электротехнической комиссии по МЭК 62439-2. Это позволяет кольца Ethernet коммутаторов для преодоления любого единичного отказа со временем восстановления гораздо быстрее , чем достижимо с Spanning Tree протокола . Он подходит для большинства промышленных Ethernet приложений.

Производительность CRP (IEC 62439-4**)**

(МГФ добавить иллюстрации)

Двойной Протокол резервирования получен из сети Fieldbus Foundation H3.

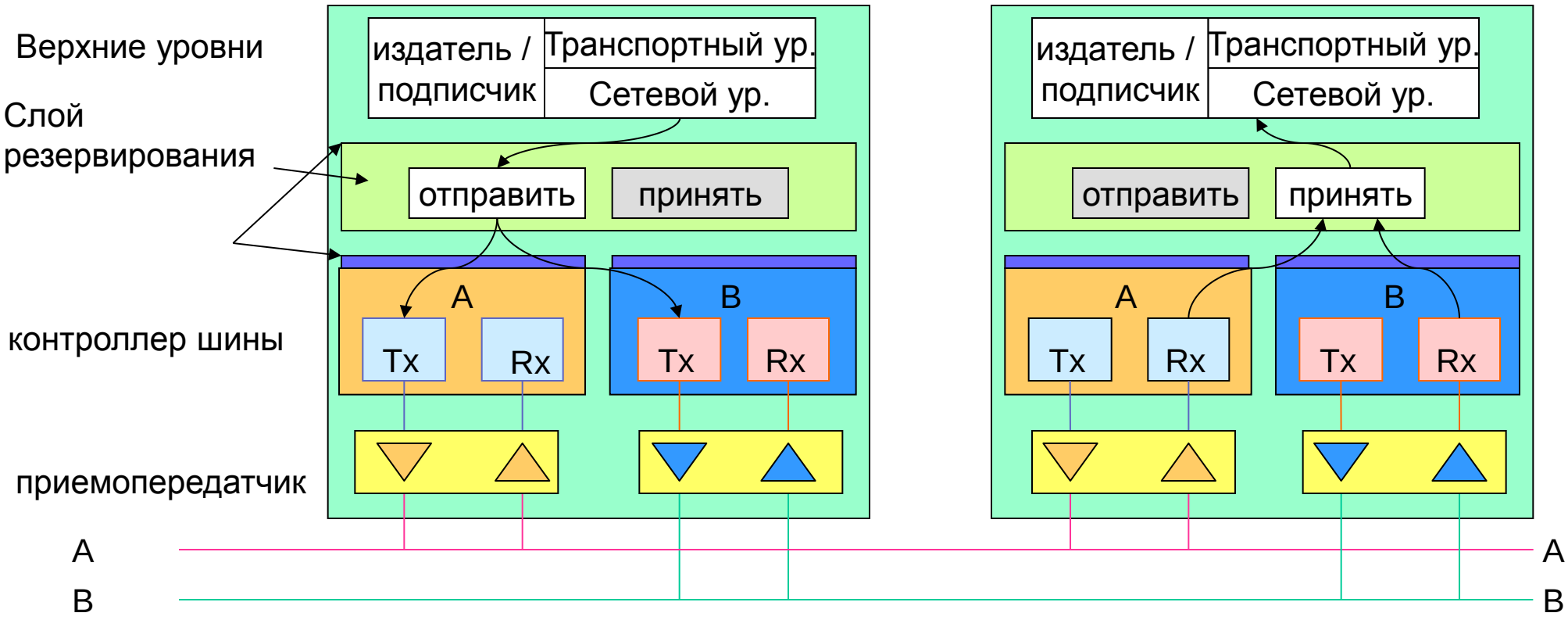
Это использует две отдельных сети, к которым устройства приложены через два сетевых адаптера.

Сети используются альтернативно, а не параллельно.

+: обеспечивает поперечную избыточность
+: обеспечивает защиту против отказов адаптера

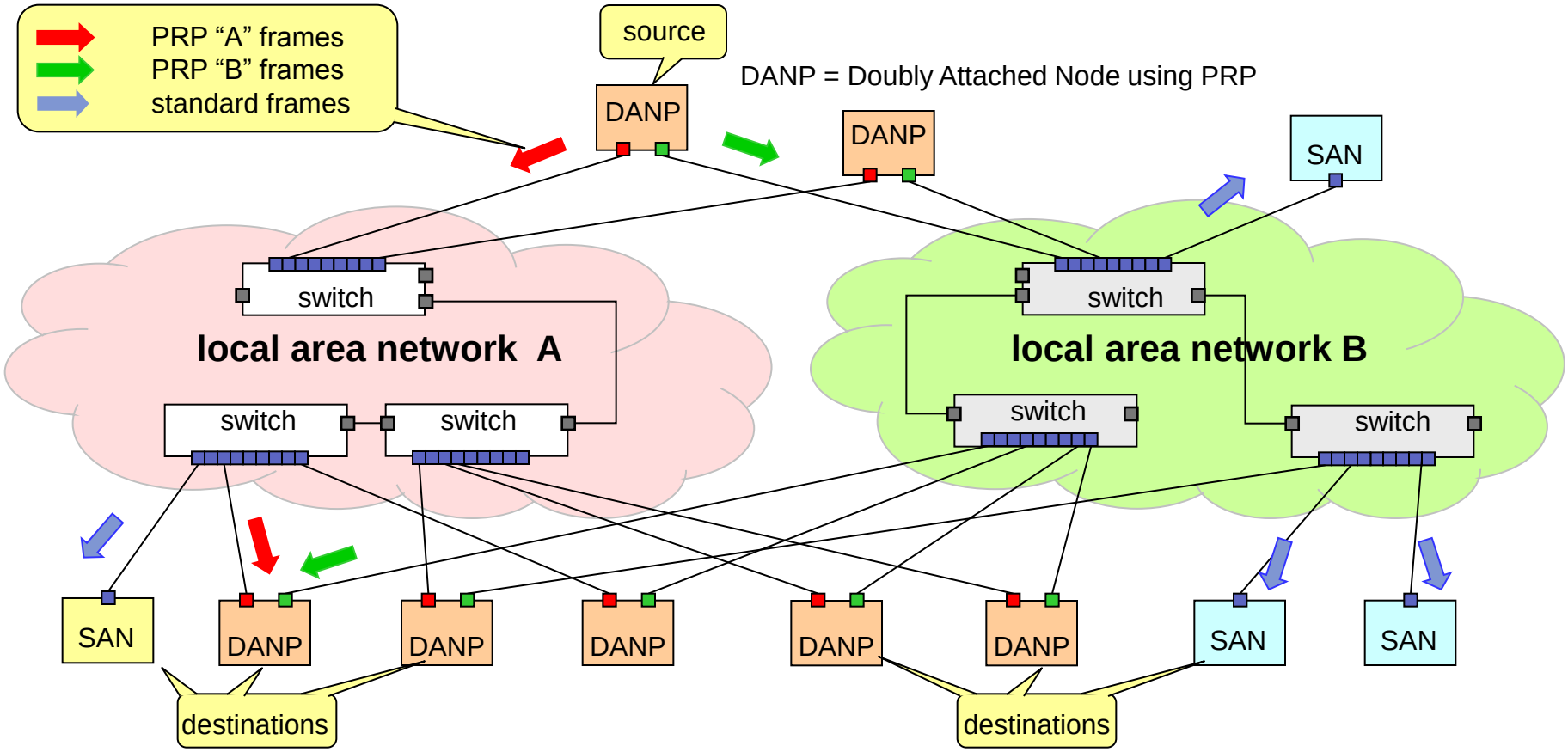
-более чем удвоенные затраты на сетевые адаптеры относительно сетей без резерва
-больше усилий для построения вдвойне связанных узлов.
-время переключения, не определенное

62439-3.4 Parallel Redundancy Protocol



Отправить на обе линии: каждый кадр, посланный и на A и на B линиях, у кадров по A и B есть различные задержки передачи (или может не достигнуть всех),
Получить на обеих линиях: стек получает оба кадра от обеих линий, которые рассматриваются как равные, "слой слияния" между связью и сетевым слоем подавляет дубликаты.

Уровни расположения PRP

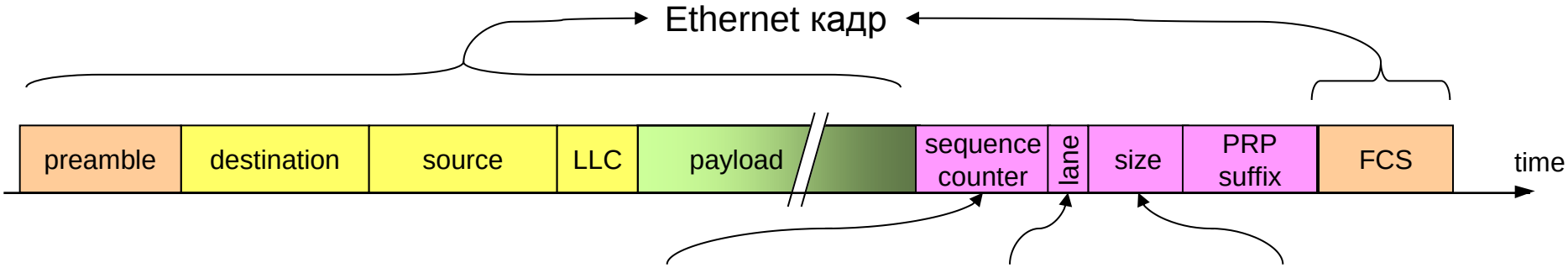


Протокол PRP д.б. реализован в конечных устройствах, которые называют Double Attached Node for PRP (DANP), предполагается, что оно имеет соединение с каждой из двух независимых сетей
Используемые в сети коммутаторы являются стандартными и не требуют поддержки данного протокола.
Стандартное устройство с одним сетевым интерфейсом (Single Attached Node – SAN) может непосредственно включаться только лишь в одну сеть.

PRP подавляющие дубликаты

Чтобы ослабить двойное отклонение, узлы PRP прилагают порядковый номер к кадрам наряду с областью размера, который позволяет решать, что кадр принадлежит PRP протоколу.
Этот трейлер невидим для более высоких слоев (рассмотренный как дополняющий)

Управляющие отказываются от дубликатов, используя множество методов



- каждый кадр расширен счетчиком последовательности, индикатором сети (линии), областью размера и суффиксом * вставленный после полезных данных, чтобы остаться невидимым для нормального движения.
- отправитель вводит тот же счетчик последовательности в обоих кадрах пары, и увеличивает его на единицу для каждого кадра.
- Приемник отслеживает счетчик последовательности для каждого источника MAC-адреса полученного кадра. Кадры с тем же значением источника и счетчика, поступающих из различных линий игнорируются.

PRP подавляющие дубликаты

Идентификация дублирующих кадров осуществляется по специальному контрольному маркеру – RCT (Reducance Control Trailer), помещенному в конец Ethernet кадра PRP устройством. Такой формат считывается как DANP так и SAN-устройствами. Это позволяет сетевым устройствам обмениваться в отсутствие резервирования

Номер последовательности PRP – 32 бита

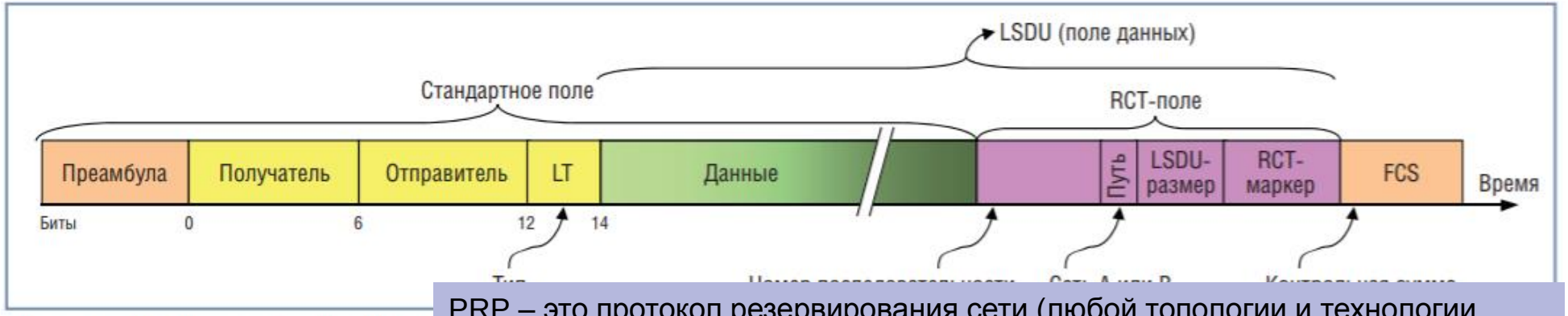


Рис. 2. Ethernet-кадр с протоколом PRP

PRP – это протокол резервирования сети (любой топологии и технологии MRP, RSTP)

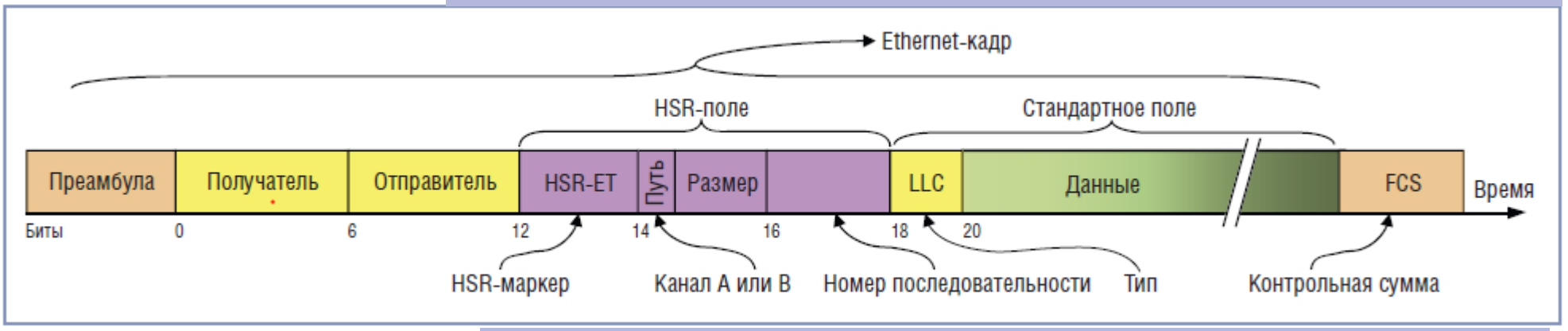


Рис. 3. Ethernet-кадр с протоколом HSR

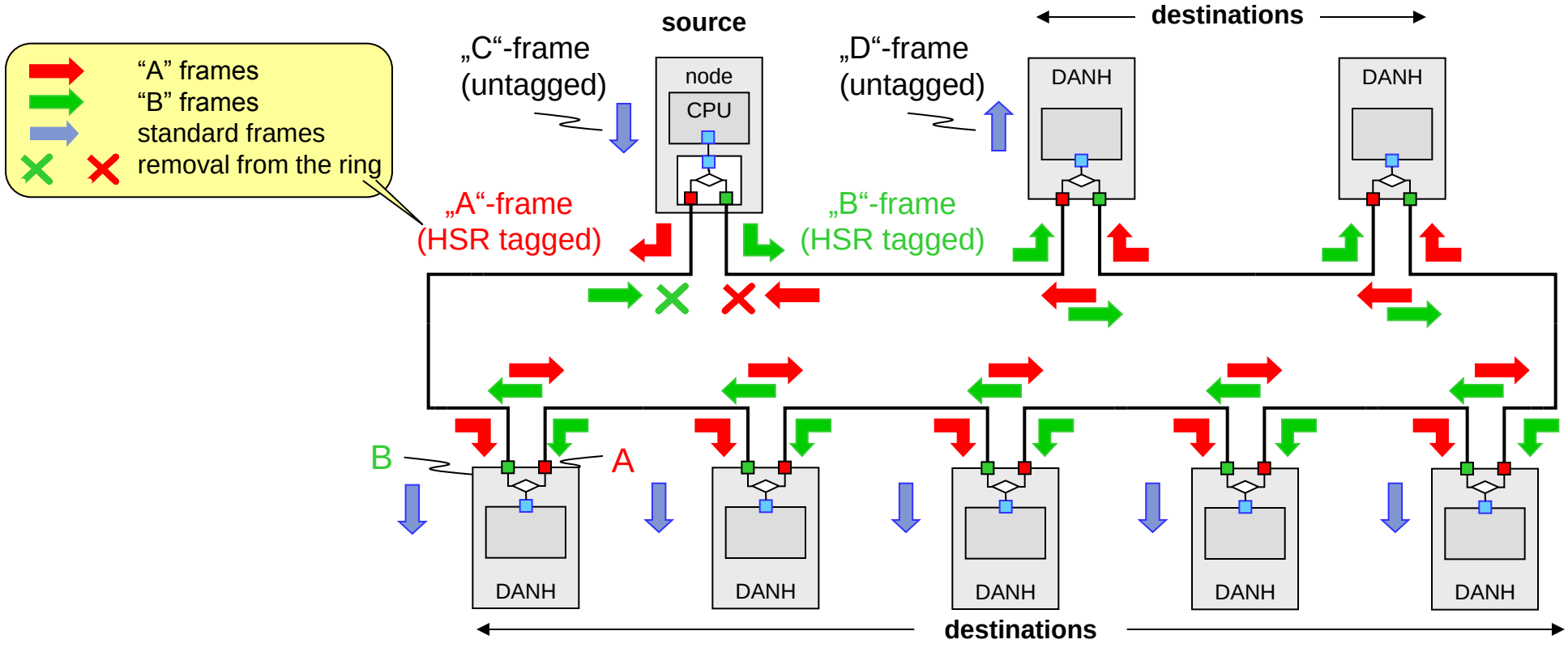
HSR – это протокол резервирования соединений в кольцевой сети

Производительность PRP

+ PRP позволяет плавное переключение без потерь кадров
+ Во время нормальной работы, PRP снижает потери скорости
+ вдвойне приложенные узлы (DANP) просто построить
+ SANs может общаться с DANPs
+ PRP проверяет присутствие узлов периодическими кадрами наблюдения и также указывает, какие узлы участвуют в передаче и какие нет

- двойные сетевые затраты
- SAN одной LAN не может общаться непосредственно с SAN’s другой LAN
- размер кадра должен быть ограничен, чтобы препятствовать тому, чтобы кадры стали более длинными, чем максимальный размер в IEEE 802.3 (но большинство мостов и диспетчеров Ethernet принимают структуры до 1536 октетов),

62439-3.5 HSR (High availability seamless redundancy)
(Высокая готовность бесшовной избыточности)

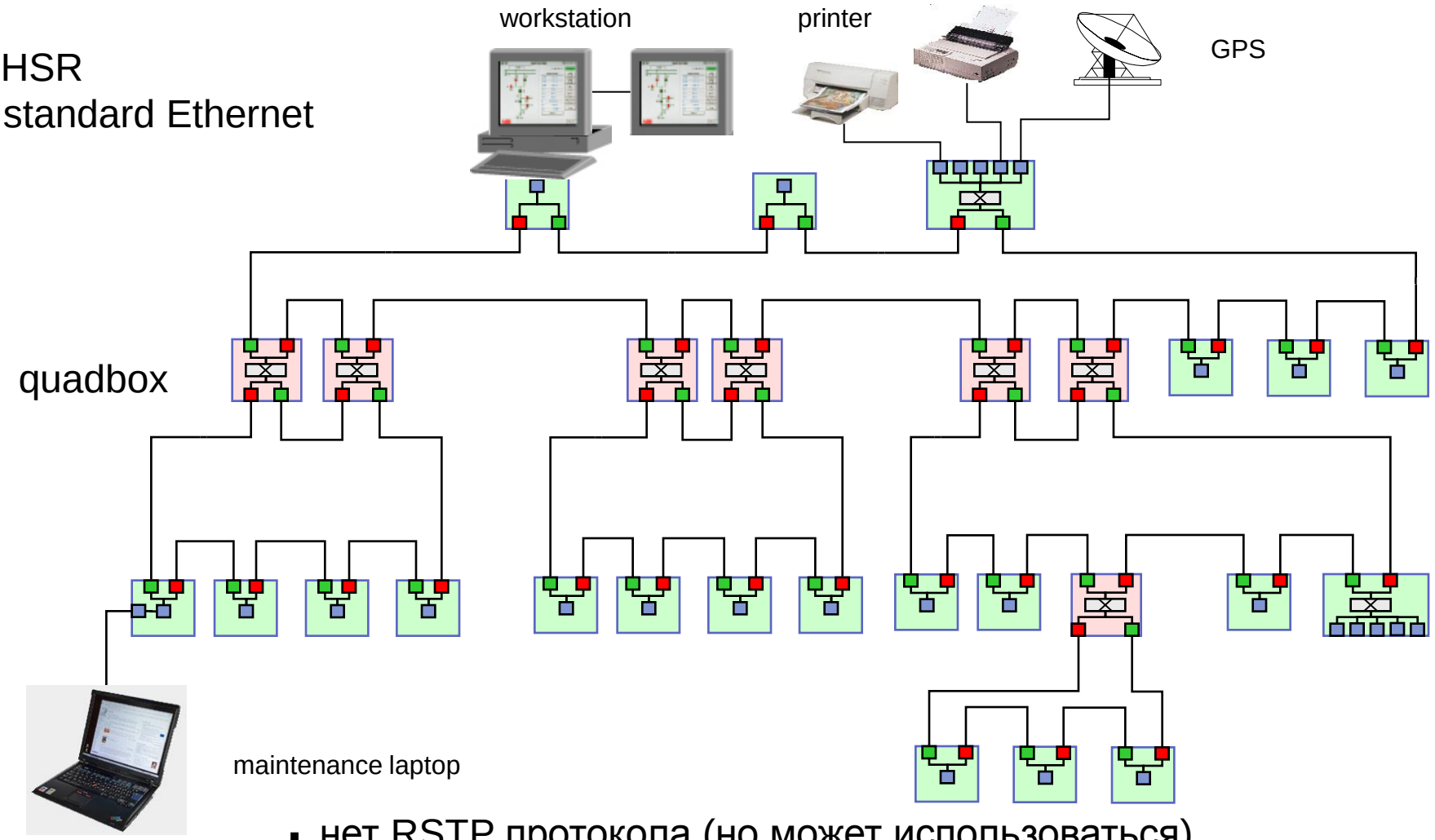


Узлы соеденены в кольцо, у каждого узла есть два идентичных интерфейса, порт A и порт B.

Для каждого кадра отправленного на C ("C" - структура), исходный узел посылает две копии на порт A и B. Каждый узел передает кадр, который он получает от порта к порту B и наоборот, кроме случая, если он уже отправил его. Узлы назначения получают первый кадр и отказываются от дубликата. В случае прерывания кольца структуры все еще продолжают получаться по неповрежденному пути.

HSR топология: кольца и кольца

- HSR
- standard Ethernet



- нет RSTP протокола (но может использоваться)
- обратите внимание на то, что уровень 3

отдельно привязан(только один quadbox)

Производительность HSR

+ HSR позволяет плавное переключение, кадры не теряются

+ Во время нормальной работы, HSR снижает потери скорости

+ HSR проверяет наличие узлов с помощью периодических кадров мониторинга, которые также указывают, какие узлы участвуют в переаче и которые нет

+ Экономичное эффективное решение, включает в себя сразу устройств мостового оборудования

+ гибкие топологии: кольца и кольца колец

+ может быть связано с PRP

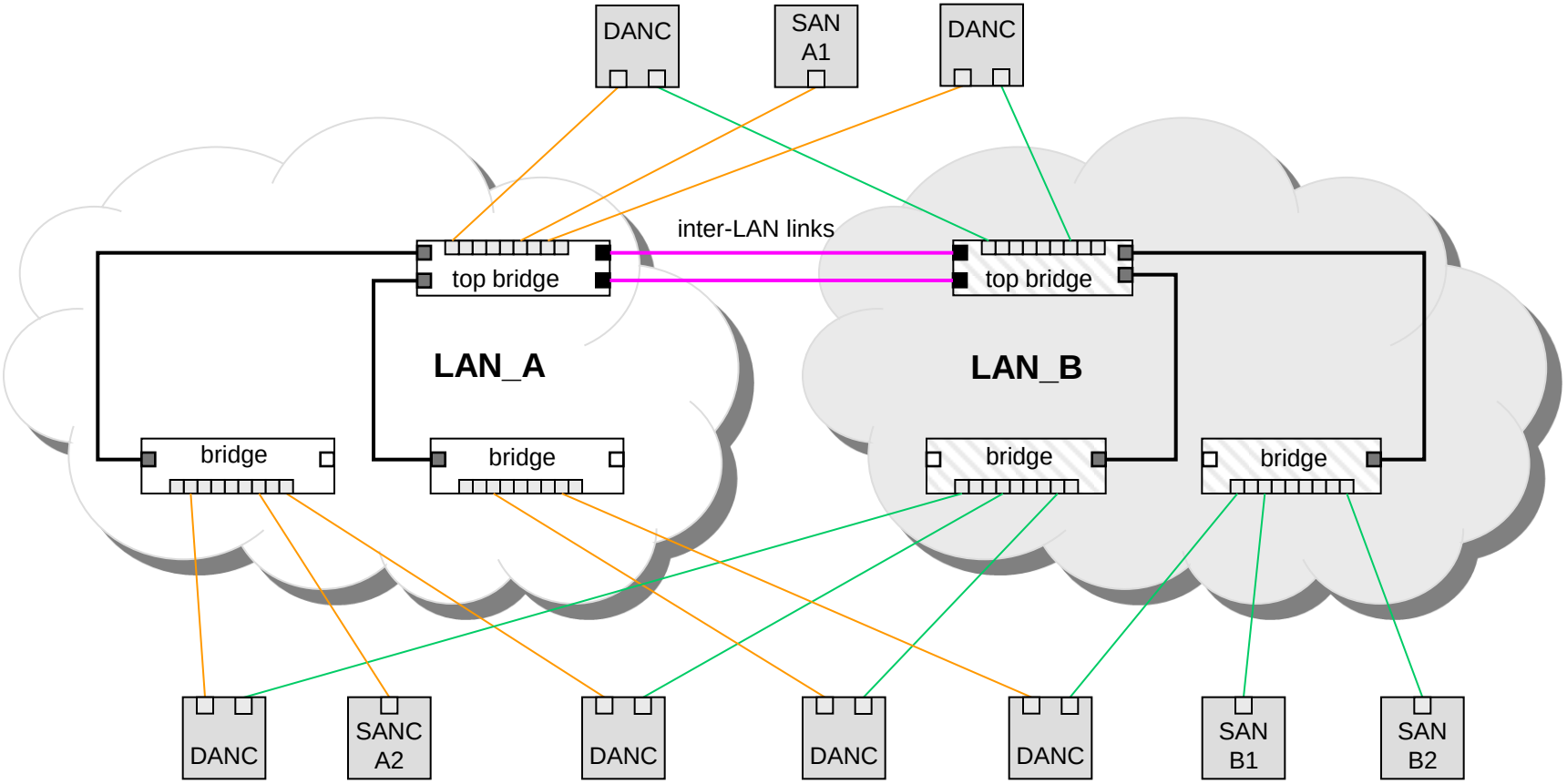
+ полное соответствие концепции IEEE 1588 синхронизации часов

-: двойное подключение устройств требуют высокую начальную стоимость разработки

-: Сети хранения данных должны быть подключены через RedBoxes

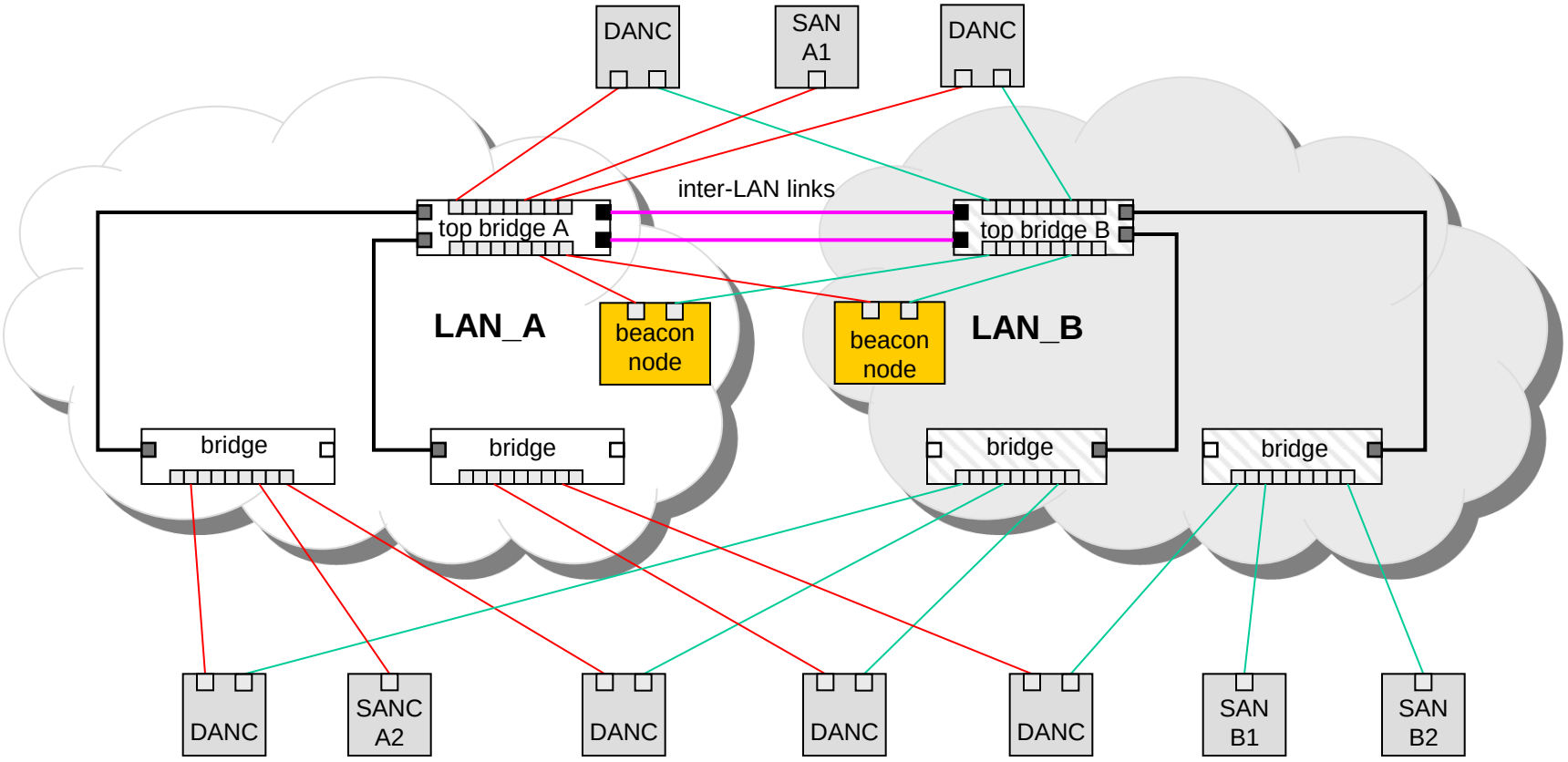
IEC 62439-4 Coupled Redundancy Protocol

Резервирование в узлах - наследство из протокола Foundation Fieldbus
Все движение должно быть разбито через связи между LAN.
Позволяет SAN от обеих LAN общаться (в отличие от PRP)



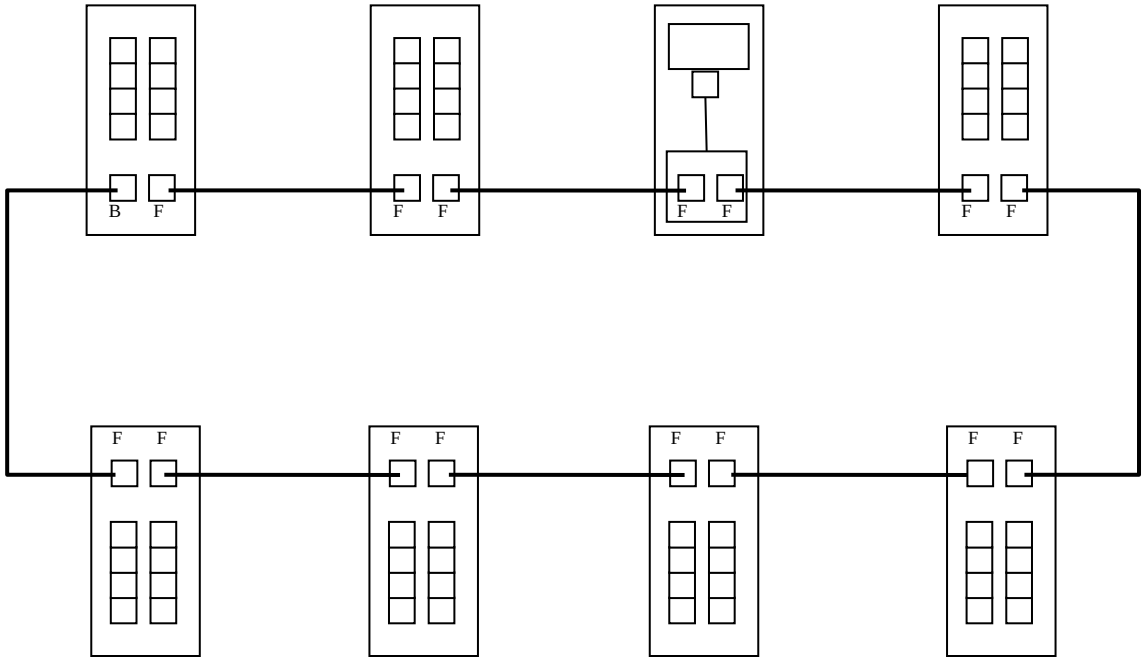
IEC 62439-5 Beacon Redundancy Protocol

Добавляет к принципу CRP два сигнальных узла для более быстрого восстановления, но высокие затраты на коммуникацию.
Некоторые нерешенные технические проблемы.



IEC 62439-6 Distributed Redundancy Protocol

Добавляет к кольцевому принципу MRP протокол синхронизации часов, чтобы достигнуть поведения TDMA.
Возможно двойное кольцо.
Неясные преимущества



1. Термины: доступность и избыточность
2. Классификация требований
3. Уровни устройства и резервирование сети
4. Основанные на Ethernet сети автоматизации
5. Параллельное (статическое) и последовательное (динамическое) резервирование
6. Решения IEC 62439
7. Заключение

Заключение

IEC 62439 удовлетворяет потребности Промышленных сетей Ethernet,
принадлежащих IEC 61784 с восемью решениями:

-**RSTP**: господствующая тенденция, достаточная для большинства требований,
с улучшениями для фиксированной конфигурации

-**MRP**: основанный на кольце протокол для требовательных сетей автоматизации и
отдельно приложенных узлов, особенно полезных с bridgeing узлами.

-**PRP**: протокол подходит для критически важных приложений,
требующих вдвойне связанные узлы.

-**HSR**: протокол подходит для критически важных приложений,
экономически эффективная кольцевая структура

-**CRP**: Наследие протокола Honeywell для Fieldbus Foundation,
использует двойное прикрепление узлов.

-**BRP**: Расширение Rockwell’s CRP для ODVA / CIP

-**DRP**: Расширение SupCon по MRP с часами

-**RRP**: (в процессе подготовки) расширение LSIS’s по DRP.

IEC 61850 вынес решение в пользу RSTP, PRP и HSR,
в то время как PNO выбрал MRP., будущее других решений неясно.

IEC/МЭК 61850 — системы связи внутри подстанции.

- IEC 61850-1: Введение и общий обзор.
- IEC 61850-2: Глоссарий терминов.
- IEC 61850-3: Основные требования.
- IEC 61850-4: Управление системой и проектированием.
- IEC 61850-5: Требования связи к функциям и моделям устройств.
- IEC 61850-6: Язык описания конфигурации связи между микропроцессорными электронными устройствами подстанций.
- IEC 61850-7: Основная структура связи для оборудования подстанции и питающей линии (4 части).
- IEC 61850-8-1: Описание специфического сервиса связи (SCSM) — Описание передачи данных по протоколу MMS (ИСО/МЭК 9506 — Часть 1 и Часть 2) и по протоколу ИСО/МЭК 8802-3.
- IEC 61850-9-1: Описание специфического сервиса связи (SCSM) — Выборочные значения по последовательному ненаправленному многоточечному каналу передачи данных типа точка-точка.
- IEC 61850-9-2: Описание специфического сервиса связи (SCSM) — Выборочные значения по ИСО/МЭК 8802-3.
- IEC 61850-10: Проверка на совместимость.

Передача данных в системах на базе МЭК-61850

- Согласно 61850 устройства РЗА объединены шиной, по которой сами устройства обмениваются данными между собой и передают эти данные на верхний уровень. Такая архитектура удобна тем, что применение технологической шины значительно уменьшает количество медных проводов, что упрощает настройку, проектирование и эксплуатацию системы.
- Данные от терминалов релейной защиты по станционной шине могут передаваться на верхний уровень оператору, кроме того, у контролирующих органов, имеющих соответствующий уровень доступа, есть возможность получать оперативные данные с любой подстанции и с любого терминала РЗА. Эта информация позволяет контролировать деятельность подчиненных служб, что повышает надежность энергетических объектов в целом.
- Возможность такого гибкого конфигурирования информационных потоков появилась, благодаря той части стандарта, которая посвящена передаче данных.
- Основными протоколами передачи данных, согласно стандарту МЭК-61850, являются протоколы MMS иGOOSE.
- MMS используется для передачи данных от терминалов РЗА в SCADA систему для дальнейшей визуализации, а GOOSE — для обмена данными между терминалами.
- Важной особенностью протоколов является гарантированная доставка сообщений, а скорость передачи данных у MMS и GOOSE выше, чем у других протоколов передачи данных, таких как, например, Modbus.
- Взаимозаменяемость отдельных компонентов системы достигается за счет стандартизации протоколов передачи данных, а также за счет жестких требований по совместимости оборудования.
- Системы, построенные на 61850, проще обслуживать из-за уменьшения количества кабельных линий связи, что положительно сказывается на надежности системы в целом.
- Архитектура системы интуитивно понятна, в результате разработчики и интеграторы тратят меньше времени на понимание архитектуры конкретного объекта и, как следствие, значительно снижается стоимость проектирования и интеграции.
- Обслуживание таких систем по сравнению со стандартными в целом проще, хоть и предъявляет несколько иные требования к опыту персонала.
- К недостаткам можно отнести повышенную сложность и новизну стандарта. У разработчиков и интеграторов мало опыта построения подобных систем, но этот недостаток, очевидно, временный.
- Еще одним недостатком систем, построенных на 61850, является повышенная стоимость микропроцессорного оборудования РЗА, однако, нужно помнить, что применение 61850 дает ряд преимуществ, именно поэтому, количество подстанций по всему миру, построенных на основе 61850, увеличивается.