

Традиционные каналы / сети

Узкополосные каналы

- ВЧ каналы
- Кабельные (унификация аппаратуры, м.б. широкополосными)

Функциональные ограничения

- Со стороны емкости каналов
- Со стороны скорости передачи
- Низкая надежность аппаратуры

Действия

- Специализированные сети / каналы для всех видов трафика
- Специализированные сети / каналы для всех видов защит
- Глубокое резервирование

Возможности реализации новых каналов / сетей

Специализированные

(принадлежащие энергокомпаниям)

Специализированные с включением традиционного общедоступного трафика

(принадлежащие энергокомпаниям)

Аренда / покупка волокон в сетях общего пользования

(принадлежащие третьим лицам)

Аренда трафика в общественных сетях

(принадлежащие третьим лицам)

Хочется: использовать стандартные общедоступные «коробочные» технические решения

Сети общего пользования. Транспорт – SDH / PDH

SDH

- высокие скорости передачи 155 Мбит/с - 10 Гбит/с
- низкие вероятности ошибки
- возможность получить высокие показатели готовности (заложенный в стандарт принцип резервирования топологии)
- критичные приложения имеют фиксированный сетевой ресурс*

PDH (PCM)

- высокие скорости передачи 64 Кбит/с - 139 Мбит/с
- низкие вероятности ошибки
- предназначены для оказания гарантированных сервисов
- низкая эффективность использования сетевых ресурсов
- низкая цена.

SRomanov:

Например, основная проблема при построении ДФЗ на сети общего пользования: передача каждого последующего тайм-слота или контейнера по новому сетевому пути с другим временем передачи. Решить эту проблему можно либо использованием адаптивной ДФЗ с независимой синхронизацией, либо, что более естественно, выделением ДФЗ фиксированного сетевого ресурса, в частности - сетевого пути.

Сети общего пользования. Сетевой – АТМ

АТМ

- интеграция различных трафиков в универсальной архитектуре мультиплексирования и коммутации
- предоставление каждому трафику фиксированного сетевого ресурса: виртуального (по запросу) или выделенного (постоянного пути)
- эффективная и скоростная коммутация

В сетях общего пользования, построенных без учета специальных требований, имеющееся разделение на тайм-слоты (домены) не позволяет реализовать фиксированные времена передачи и задержки сигналов защиты без принятия специальных мер.

- специфицируются времена передачи и джиттер (CBR + CES)*
- небольшое время доступа (для > 2 Мбит/с)

SRomanov:

Практически это означает, что сигналу защиты присваивается высший приоритет, и он либо совсем не ожидает освобождения занятого сетевого ресурса, либо ожидает его заданное малое время

Сети общего пользования. Доступ – IP

IP

- передача не чувствительного к задержкам трафика - почта, Интернет, данные - абсолютно ненормируемые временные параметры
- исключительную надежность . Правильно спроектированную IP сеть практически невозможно разрушить
- доступность

Развитие мультимедиа технологий породило новые IP стандарты. Последние из них IPv6, RVSP (resource reservation protocol) и RTP/RTCP (real time protocol / associated control protocol) призваны обеспечить определенным видам трафика выделенные сетевые ресурсы

Эти надстройки позволяют получить надежные, безопасные, с малыми вариациями времени передачи каналы связи, тем не менее, неразрешимой проблемой для них остается абсолютное время передачи

Сети общего пользования. Другое

Деление на три уровня условно:

- АТМ часто используется как средство доступа (хорошие мультиплексоры)
- IP часто используется для построения сетей
- Популярен Frame Relay (уступает АТМ в части гарантированных сервисов)

Гибриды:

- Frame Relay через АТМ
- IP через Frame Relay
- IP через АТМ и т.д.

главная задача - добиться изначально присущих SDH и PDH свойств - гарантированных сервисов для определенных видов трафика

Новейшие технологии:

- dynamic time-slot multiplexing (DTM) и dynamic packet transport (DPT)

Принцип - передача IP через SDH, различие - реализации и возможности масштабирования. В обоих случаях SDH ресурс, выделяемый для передачи IP потока, может динамически изменяться за время жизни потока

DPT - ориентирован на передачу традиционного IP трафика, а DTM предназначен для передачи любых видов информации

Среда	Время передачи (Б)-(Б)	Джиттер	Симметрия Та (дифф.задержка)	Время операции Добавить / Изъять	Время восстановления	Ошибки кросскоммутиации	BER	Полоса частот или емкость
кабель / провода	5-10 мкс/км (распространение)	<< 1 мс	< 1 мс, один путь	для Точка-точка отсутствует	не применимо	мало (человек)	не применимо	несколько кГц; << 64 кБит/с
ВЧ канал	3,3 мкс/км (распространение) + ~1,5 мс на терминал	<< 1 мс	< 1 мс	для Точка-точка отсутствует	не применимо	мало (человек)	< 10-3	4 - 8 - 16 кГц; < 80 кБит/с
PP	3,3 мкс/км (распространение) + ~1 - 2 мс на терминал	<< 1 мс	< 1 мс, один путь	для Точка-точка отсутствует	не применимо	мало (человек)	< 10-3	> 64 кБит/с
ВОЛС	~ 5 мкс/км (распространение в волокне)	<< 1 мс	< 1 мс, один путь	не применимо	не применимо	мало (человек)	< 10-6	> 64 кБит/с
GEO	250-280 мс (вверх-вниз)	нет данных	нет данных	не применимо	нет данных	нет данных	< 10-3	> 64 кБит/с
МEO	~ 100 мс (вверх-вниз)	нет данных	нет данных	не применимо	нет данных	нет данных	< 10-3	> 64 кБит/с
LEO	10-30 мс (вверх-вниз)	>> 1 мс	>> 1 мс	не применимо	нет данных	нет данных	< 10-3	> 64 кБит/с
PCM кабельная	~ 5 мкс/км (распространение) + 0,6 мс макс. для 64 -> 2048 кБит/с мультиплексор	< 1 мс	< 0,1 мс	не применимо	не применимо	Есть - ошибки синхронизации	< 10-6	> 64 кБит/с
PDH сеть	~ 5 мкс/км (распространение) + 0,6 мс макс. для 64 -> 2048 кБит/с мультиплексор + 15 мкс на 2 -> 8 MUX + 1 мкс на повторитель	< 1 мс	< 1 мс	~ 0.6 мс	~ 15 мин.	Есть - ошибки синхронизации	< 10-6	> 64 кБит/с
SDH сеть	~ 5 мкс/км (распространение) + 35 мкс 2048 -> STM-1 + 40 мкс STM-1 агрегатные + 110 мкс STM-1 -> 2048	< 3 мс типично	< 1 мс для двунаправленной защиты	< 120 мкс на ADM или повторитель	~ 1 мс для одиночной ошибки, зависит от проектировщика сети	Есть - ошибки синхронизации	< 10-6	> 64 кБит/с
ATM сеть	~ 5 мкс/км (распространение) + 1 мс первичный MUX + 6 мс пакетизация 64 кБит/с + 0,5 мс каждое коммутация главного MUX. ITU-T I.356 нормирует макс. Время доставки ячейки (CTD) 400 мс для межгосударственных сетей	< 3 мс задержка прихода ячейки (CDV) QoS класс 1 (ITU-T I.356)	нет данных	%	тоже, что и SDH, если SDH используется как транспорт	Есть - ошибка MUX < 1/день (ITU-T I.356)	< 10-6	> 64 кБит/с
IP сеть	не прогнозируется, не гарантируется	не гарантируется	Критично - не гарантируется	не применимо	не применимо	Есть - ошибки маршрутизации	< 10-5	> 64 кБит/с по требованию
Ethernet 10 MB сеть	5-15 мс разделяемый хаб / 1-2 мс переключаемый хаб + 6-12 мс время передачи	несколько мс, не гарантируется	нет данных	не применимо	не применимо	Есть - ошибки адресации	< 10-5	> 64 кБит/с
Ethernet 100 MB сеть	1-3 мс разделяемый хаб / < 1 мс переключаемый хаб + 6-12 мс время передачи	несколько мс, не гарантируется	нет данных	не применимо	не применимо	Есть - ошибки адресации	< 10-5	> 64 кБит/с

Сети Энергетиков. Уровни

Распределенные сети национального масштаба

- общегосударственная
- уровня ОДУ / МЭС
- крупные энергосистемы

- специализированные сети АО Энерго

Состав станционные и межстанционные, системные

- телефонные сети
- компьютерные сети, если речь идет о цифровых сетях
- автоматика - специализированные аналогово-цифровые сигнальные сети*
- релейные каналы сетью не являются*

SRomanov:

Общие вопросы совместимости сетевых технологий с требованиями релейной защиты и автоматики к каналам связи рассмотрены в [обзоре "Транспорт для Защиты"](#)

Сети Энергетиков. Станционные

Компьютерные реализации без бумажной технологии, в основе которых лежит **Ethernet**.

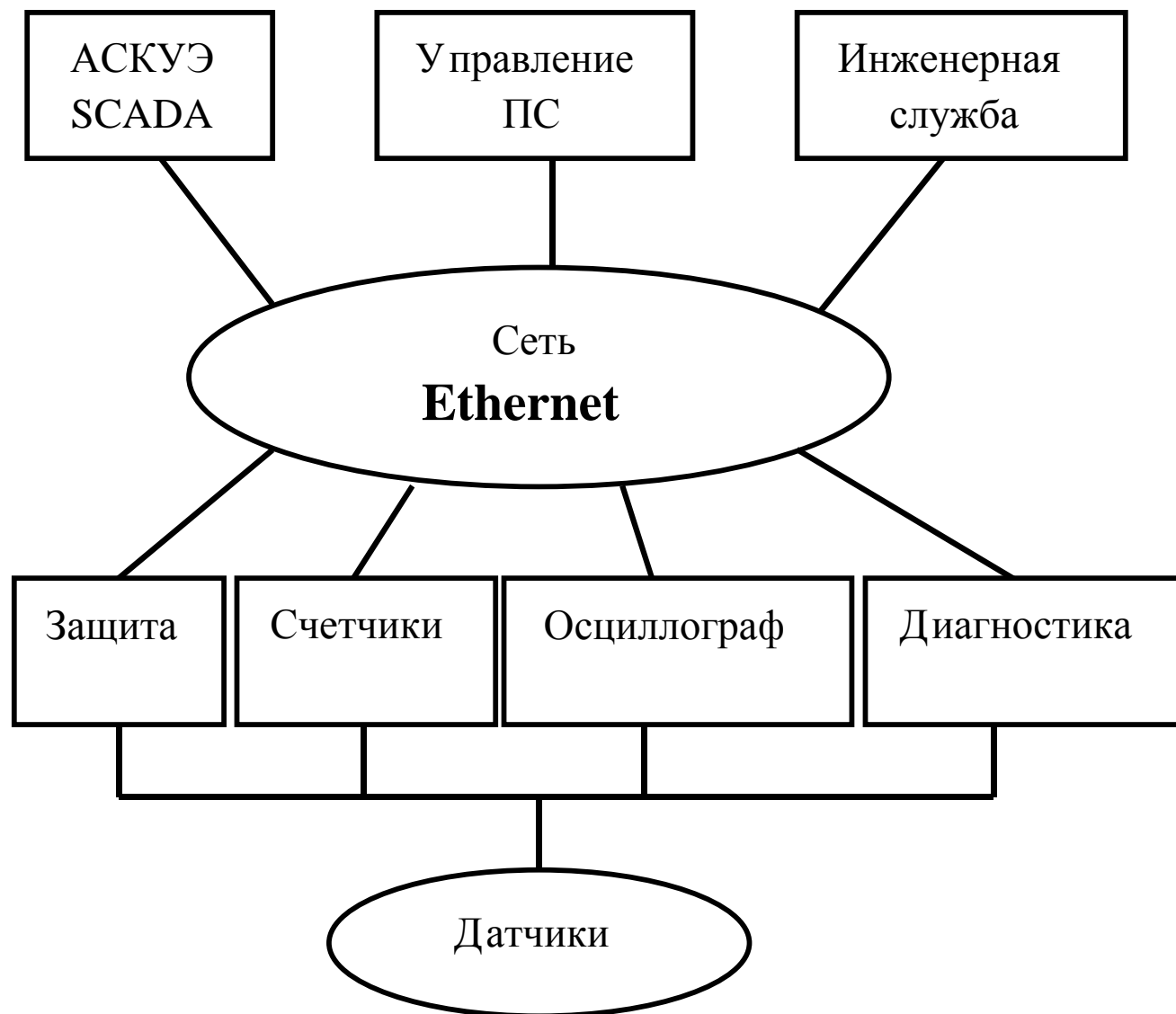
UCA (Utility Communications Architecture, RP3599-01, EPRI)

Специализированный протокол взаимодействия всех станционных устройств, соединенных **Ethernet**:

- Датчиков
- Выключателей
- Счетчиков
- Систем АСКУЭ и ФОРЭМ
- Устройств защиты
- Системы управления подстанцией
- Офисных приложений и др.

то есть любых IED (Intel-ligent electronic devices) цифровых устройств и сервисов, имеющих на ПС.

Сети Энергетиков. Станционные



Привлекательность
данного подхода
состоит в его
простоте:

существующая на
ПС **Ethernet**-сеть
дооснащается **УСА**,

После этого
устанавливаются
все-возможные (в
том числе РЗ и ПА)
устройства,
имеющие Ethernet-
интерфейс

Сети Энергетиков. Станционные

Опрос силовых элементов / датчиков - **IEEE 802.4 Token bus** - оптическая технология (защищенная от мощных помех звезда)

Станционная сеть - **Ethernet IEEE 802.3**

Обе не имеют фиксированной временной сетки*.

При шаге временной сетки 1 мс, такая интегрированная сеть может обслуживать :

- при 10 Мбит/с Ethernet (концентратор с разделяемыми портами) - менее **20** устройств за **4** мс
- при 10 Мбит/с (концентратор с переключаемыми портами) и 100 Мбит/с (концентратор с разделяемыми / переключаемыми портами) Ethernet - не более **100** устройств за **4** мс

ИЭС рассматривает **УСА** как временное для небольших ПС. Допускается - контроль и наблюдение за системами релейной защиты, и для обмена служебной информацией между устройствами РЗ и ПА. Передача сигналов защит запрещена (кроме сигналов состояния)

SRomanov:

Чтобы получить фиксированное время опроса трафик специально "забивается" избыточной информацией, чтобы удлинить короткие сообщения, или, наоборот, длинные сообщения разбиваются на множество отрезков требуемой длины

Сети Энергетиков. Станционные

CCSN (Converged corporate network solutions)

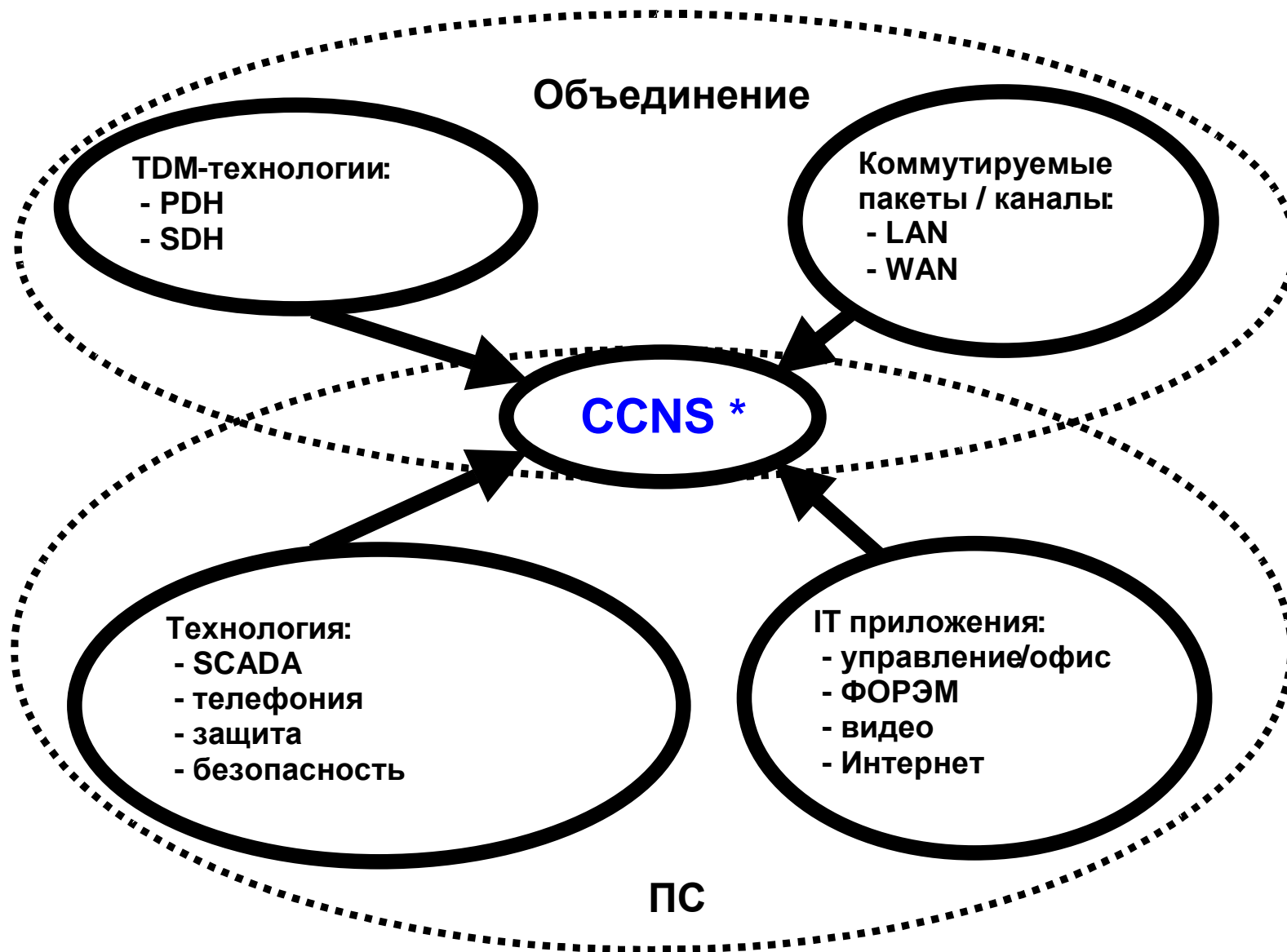
CCNS - термин, пришедший из общественных сетей – объединение разнородных трафиков

Причем, все, что применимо или используется в связи с этим в общественных сетях, применимо к специализированным сетям энергетиков.

Простое включение существующих корпоративных сетей **Ethernet IEEE 802.3** в сети нового качества, их последующая модернизация параллельно развитию общественных технологий - огромное преимущество данного решения.

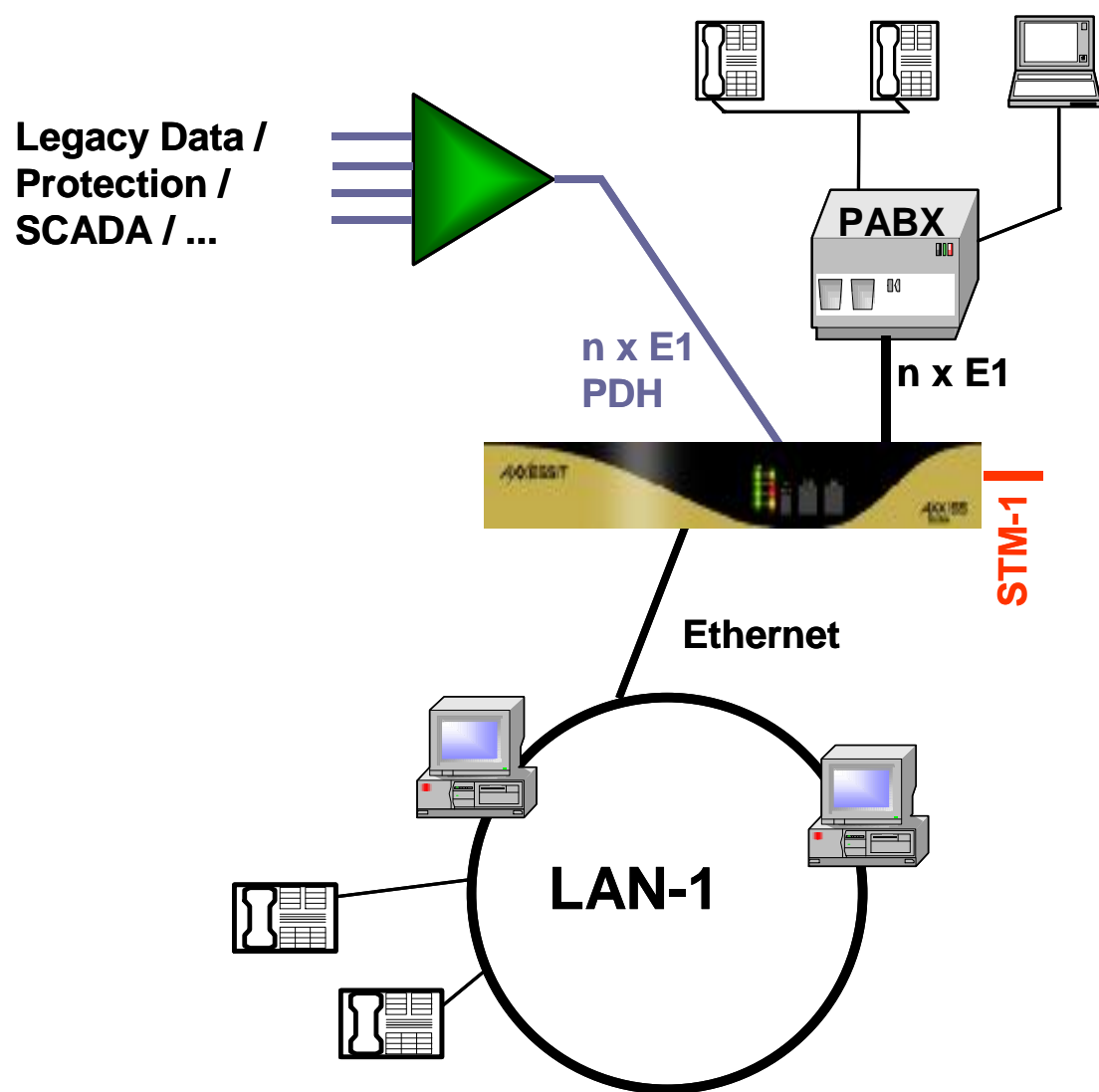
Суть метода состоит в том, что для подключения к корпоративной сети чувствительных ко времени (требующих гарантированного сервиса) трафиков - **SCADA, защита** и др. - используется обеспечивающий их по определению принцип **PDH**.

Сети Энергетиков. Станционные



* Гибридная
станционная сеть

Сети Энергетиков. Станционные



Это позволяет использовать уже имеющиеся на ПС датчики и устройства РЗ и ПА, обладающие интерфейсами N*64 Кбит/с, для объединения в специализированную сеть защиты.

При этом не надо для каждого вида защит устанавливать собственный набор датчиков и систем, а надо использовать сигналы одних и тех же датчиков для обработки всеми типами защит.

Самих устройств защит, если интегрировать их функции, станет гораздо меньше.

Новая концепция реализуется установкой на ПС специального объединяющего в один агрегатный поток **Ethernet IP** и **PDH** трафики устройства (**Gateway**), отличие которого от традиционного состоит в том, что в нем изначально заложена функция обеспечения гарантированного времени передачи для трафиков защиты и технологии.

Сети Энергетиков. Межстанционные

Межстанционное или внутрисистемное взаимодействие требует объединения множества станционных сетей. Для сопряжения интерфейсов, протоколов и технологий локальных и транспортных сетей устанавливается устройство **Gateway**. Общее время передачи сигналов в системе определяется:

задержками в станционной сети, обработкой трафика в Gateway, и временем распространения в транспортной сети

UCA (Utility Communications Architecture, RP3599-01, EPRI)

Gateway общего пользования (**Ethernet - SDH / ATM**)

- **неориентированные на соединение** - каждый пакет данных имеет свой собственный путь в сети, и соответственно имеет место разновременность поступления информации. Для передачи сигналов зашит недопустимо.
- **ориентированные на соединение** - перед передачей данных приемник и передатчик устанавливают соединение - резервируют сетевой путь, по которому будут в дальнейшем передаваться данные. Временной джиттер приема данных в текущем сеансе связи исключается, но время передачи увеличивается на время установления соединения. К тому же в следующий сеанс связи может быть установлен другой путь соединения, и будет иметь место непостоянство времени передачи от сеанса к сеансу.

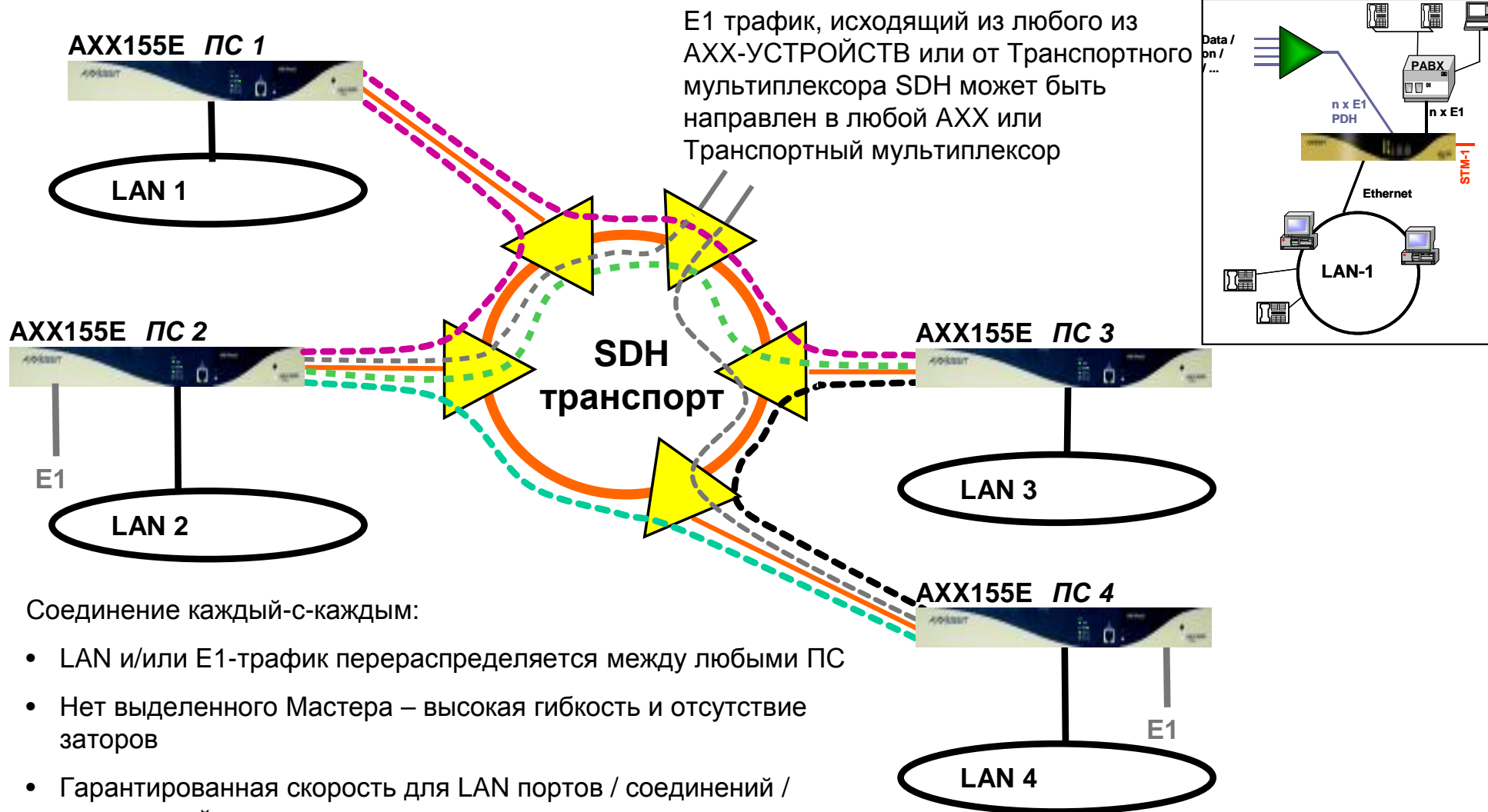
Сети Энергетиков. Межстанционные

CCSN (Utility Communications Architecture, RP3599-01, EPRI)

Gateway - основное звено системы. За счет объединения технологий **PDH-SDH** реализует фиксированные с постоянными временными параметрами каналы передачи сигналов защиты и технологии.

Причем для каналов защиты и технологии устанавливаются "постоянные" внутри сетевые соединения каждый-с-каждым или один-со-всеми, а для всего остального трафика (ТЛФ, компьютеры) действуют правила соединения общественных сетей (**Ethernet IP**)

Сети Энергетиков. Межстанционные



Соединение каждый-с-каждым:

- LAN и/или E1-трафик перераспределяется между любыми ПС
- Нет выделенного Мастера – высокая гибкость и отсутствие заторов
- Гарантированная скорость для LAN портов / соединений / приложений
- Абсолютно гибкое и защищенное использование транспорта
- VLAN – общественный трафик отделен от трафика технологии / защиты

Сети Энергетиков. Философия

Один из наиболее важных аспектов построения ведомственных сетей – денежный

Необходимо использовать существующий опыт построения **SCADA**-систем, дополнив его специфическими функциями защиты, автоматики и некоторыми другими.

Предпосылками для этого являются следующие факторы:

- отработанные SCADA технологии реального времени*
- наличие квалифицированного персонала
- наличие и быстрое развитие цифровых защит
- возможность использования всеми системами (защита + технология + коммерция + ...) одних и тех же датчиков, указателей и измерителей
- наличие пригодных для реализации новой концепции сетевых технологий
- наличие работающих фрагментов будущей сети (SCADA + Ethernet)

SRomanov:

Строго говоря, информационные технологии, работающие в режиме реального времени, используются энергетиками и сегодня. По большей части это старые аналоговые принципы реализации. На новом сетевом (цифровом) уровне в настоящее время работают только технологии (SCADA-системы). И время от времени встречаются цифровые защиты, включенные в бог весть какие каналы

Сети Энергетиков. Системы защиты

Наиболее часто используемые в настоящее время:

- ДФЗ
- сравнения состояний (телезащита)

используют ограниченные частотные ресурсы - соединения точка-точка через аналоговые и иногда 64 кБит/с цифровые каналы

Системы нового поколения должны включать в себя*:

- аналоговые защиты
- сигнальные защиты (сравнения состояний)
- системные защиты (ПА)
- сети, объединяющие все, в том числе силовое, оборудование на ПС
- межстанционные и т.д. сети
- интегрированные устройства, объединяющие в себе функции защиты, контроля и управления, с разделяемыми программными модулями
- полную информацию о перетоках (напряжение, токи, активная / реактивная мощности и т.п.)

SRomanov:

Это станет возможным при грамотном, учитывающем требования технологии и защиты, построении системы связи, гарантирующей время передачи информации между любыми точками внутри станционной и глобальной сетей не более 5 мс. Сами сетевые технологии это позволяют

Сети Энергетиков. Первые шаги

Для этого:

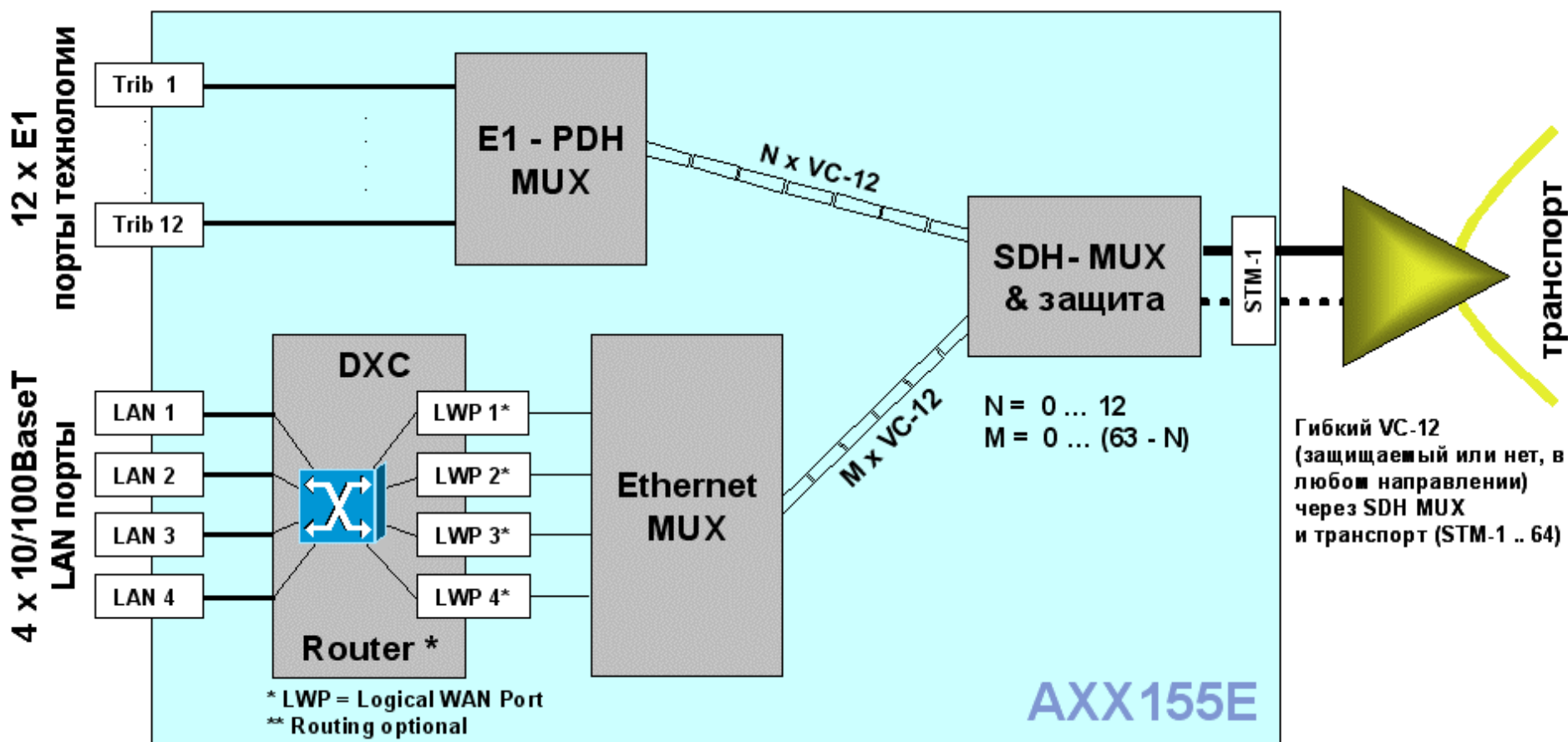
- все первичные элементы (силовое оборудование, счетчики и т.д.) должны обладать сетевыми интерфейсами
- информация об их состоянии, показаниях и т.п. Должна циркулировать в станционной **PDH** сети. Причем доступ к этой информации должны иметь все устройства защиты, управления и коммерции.
- устройства защиты, защищающие конкретное присоединение (ВЛ), при принятии решения учитывают информацию о состоянии всех элементов ПС, в том числе об управляющих воздействиях от других устройств защиты на ПС или в системе*
- устройства защиты должны стать ориентированными не на присоединение, а комплексными - защищающими всю подстанцию или систему. Дифференциация должна быть только по типам защит. Это позволит сократить аппаратный парк защит в разы, существенно уменьшая капитальные и эксплуатационные расходы, без снижения требований к готовности, надежности и безопасности.

SRomanov:

Кстати, принцип работы защиты, когда один терминал следит за работой другого / других, давно используется в системах защиты со сравнением состояний - командные системы / телезащита

Сети Энергетиков. Далее...

Для завершения автоматизации работы ПС необходимо объединить технологическую (**PDH**) и общего пользования (**Ethernet / IP**) сети в рамках **CCNS** подхода, предполагающего полную изоляцию трафиков и обеспечивающего наилучшие условия транспортировки технологической информации



Сети Энергетиков. А потом...

Создание взаимоувязанной транспортной SDH сети, объединяющей в единый комплекс все подстанции данного региона, позволит реализовать новый уровень Противоаварийной Автоматики, когда при вычислении управляющих воздействий будет учитываться вся - теперь доступная - первичная информация о состоянии каждого элемента системы*.

Построение таких систем возможно только при соблюдении определенных правил. «Общественных» проектировщиков или совсем нельзя подпускать к этому процессу, или надо очень жестко их контролировать. Нельзя напрямую использовать решения или компоненты, применяемые в общественных сетях. Технологическая сеть - это не "коробочное" решение

SRomanov:

Кстати, здесь может пригодиться опыт самовосстановления, противостояния заторам и пере трассировки, накопленный в цифровых сетях - тех же SDH или IP, так аналогия между цифровой и высоковольтной сетями очевидна: есть присоединения, есть сетевая структура и необходимо доставить информацию / энергию из пункта А в пункт Б

Сети Энергетиков. Резюме...

Волоконно-оптические линии являются наиболее перспективной коммуникационной средой для построения глобальных сетей энергетиков, и технологических сетей защиты в частности.

Наиболее подходящими сетевыми технологиями для сетей защиты являются: **ВЧ** связь, **PDH** и **SDH** (АТМ может использоваться при благополучном разрешении оговоренных ранее условий / ограничений).

Наибольшее внимание при проектировании таких сетей должно уделяться:

- определению заданных и фиксированных (предсказуемых) временных параметров передачи: времени передачи, джиттеру и асимметрии
- определению заданных и фиксированных (предсказуемых) временных параметров восстановления сети
- решению проблемы потери синхронизации или ошибочной трассировки
- достижению параметра не готовности сети не более 0,001%