ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71148— 2023

ТРЕБОВАНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ СЕТЕЙ СВЯЗИ: СЕТЕЙ СВЯЗИ С КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ, СЕТЕЙ СВЯЗИ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» (ФГБУ НИИР)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 480 «Связь»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2023 г. № 1571-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины, определения и сокращения 2
4 Требования к системам тактовой сетевой синхронизации сигналов в сетях связи с коммутацией каналов 8
4.1 Требования к архитектуре построения 8
4.2 Правила построения системы тактовой сетевой синхронизации на базе различных систем передачи 14
4.3 Типовые решения по построению систем тактовой сетевой синхронизации 19
4.4 Рекомендации по построению систем тактовой сетевой синхронизации 20
5 Требования к системам синхронизации сигналов в сетях связи с коммутацией пакетов 24
5.1 Требования к архитектуре построения 24
5.2 Типовые решения по построению системы синхронизации сигналов в сетях связи с коммутацией пакетов 28
5.3 Рекомендации по построению системы синхронизации сигналов в сетях связи с коммутацией пакетов 30
6 Требования к системам синхронизации сигналов в сетях связи четвертого и пятого поколений 31
6.1 Требования к архитектуре построения 31
6.2 Типовые решения по построению системы синхронизации сигналов в сетях связи четвертого и пятого поколений 33
6.3 Рекомендации по построению системы синхронизации сигналов в сетях связи четвертого и пятого поколений 35
Приложение А (справочное) Типовая архитектура построения системы синхронизации шкалы времени на базе NTP 36
Приложение Б (справочное) Типовые решения по построению систем тактовой сетевой синхронизации 37
Приложение В (справочное) Классификация часов системы временно́й синхронизации 41
Приложение Г (справочное) Эталонные модели цепей синхронизации 42
Библиография 45

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТРЕБОВАНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ СЕТЕЙ СВЯЗИ: СЕТЕЙ СВЯЗИ С КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ, СЕТЕЙ СВЯЗИ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

Requirements for the construction of synchronization systems of communication networks: circuit-switched communication networks, packet-switched communication networks

Дата введения — 2024—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования по построению систем синхронизации сетей связи с коммутацией каналов и сетей связи с коммутацией пакетов, включая сети LTE, LTE-A и 5G.

Системы синхронизации предназначены для частотно-временно́го обеспечения (ЧВО) сетей связи с целью формирования, передачи и восстановления эталонных сигналов частоты и времени. Потребность в определенном виде синхронизации зависит от используемых технологий для построения конкретной сети связи, требований потребителей сигналов синхронизации и вида оказываемых услуг связи. Элементами, нуждающимися в синхронизации, является:

- оборудование для построения синхронных сетей (мультиплексоры, маршрутизаторы);
- системы подвижной связи, включая базовые станции (БС);
- шлюзовое оборудование, обеспечивающее переход между сетями разных технологий связи [аналого-цифровые преобразователи (АЦП), медиашлюзы];
- информационные, управляющие и технологические системы: автоматизированные системы мониторинга и управления, автоматизированные системы расчетов, автоматизированные системы управления технологическими процессами и пр.;
- системы оперативно-розыскных мероприятий.

В настоящем стандарте системы синхронизации в сетях связи (далее — системы синхронизации сигналов, ССС) подразделяют:

а) на системы синхронизации частоты [системы тактовой сетевой синхронизации (системы ТСС)], обеспечивающие передачу сигналов тактовой (частотной) синхронизации на физическом уровне:

1) системы передачи синхронной/плезиохронной цифровой иерархии (СЦИ/ПЦИ) [1]—[5];

2) системы синхронного Ethernet (SyncE) [6], [7];

б) системы синхронизации частоты, обеспечивающие передачу сигналов тактовой (частотной) синхронизации через сети связи с коммутацией пакетов на сетевом уровне на базе протокола точного времени (Precision Time Protocol, PTP) ([8], [9]), применяемые преимущественно для синхронизации БС, работающих в режиме частотного разделения каналов (Frequency Division Duplex; FDD), и шлюзового оборудования IP-телефонии;

в) системы синхронизации шкал времени (СШВ), обеспечивающие синхронизацию начальной фазы и времени на канальном или сетевом уровне на базе PTP в пакетных сетях, включая сети подвижной радиотелефонной связи (ПРТС) четвертого и пятого поколений;

г) системы СШВ, обеспечивающие синхронизацию времени на сетевом уровне на базе сетевого протокола времени (Network Time Protocol, NTP) для информационных, управляющих и технологических систем (автоматизированных систем управления, автоматизированных систем расчетов, автоматизированных систем управления технологическим процессом и др.).

Перечисленные ССС могут функционировать как автономно, так и совместно.

Издание официальное

Настоящий стандарт распространяется на сети связи, входящие в сеть связи общего пользования (ССОП), а также технологические сети связи в случае их присоединения к ССОП, в части построения ССС.

Настоящий стандарт содержит:

- требования к архитектуре построения ССС;
- типовые решения по построению ССС;
- рекомендации по построению ССС.

В настоящем стандарте представлено описание, назначение и характеристики элементов ССС, а также рассмотрены особенности построения ССС.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.567 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения времени и частоты. Термины и определения

ГОСТ Р 59502 Единая система условных обозначений в области информационно-телекоммуникационных систем

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 8.567, ГОСТ Р 59502, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **аналого-цифровой преобразователь;** АЦП: Средство связи, предназначенное для обеспечения преобразования аналоговых сигналов сети связи в цифровые.

3.1.2 **блок сетевой синхронизации;** БСС: Генераторное оборудование, обеспечивающее выбор сигнала синхронизации из тех сигналов, которые могут быть использованы для ТСС средств связи, выполняющих функции систем коммутации, восстановление характеристик выбранного сигнала и синхронизацию этим сигналом указанного средства связи, а также формирование выходного сигнала синхронизации, предназначенного для синхронизации других средств связи ССОП.

3.1.3 **блуждание [дрейф] фазы:** Медленные с частотой менее 10 Гц изменения отклонений значащих моментов фазы сигнала относительно своего эталонного положения во времени.

3.1.4 **внутриузловая синхронизация:** Сеть синхронизации средств связи, расположенных в одном узле связи, состоящая из технических средств ТСС и линий связи для передачи сигналов синхронизации в пределах данного узла.

3.1.5 **временна́я синхронизация:** Процесс обеспечения сигналами временно́й синхронизации средств связи.

3.1.6 **вторичный задающий генератор;** ВЗГ: Техническое средство ТСС второго уровня иерархии, выполняющее функции восстановления, размножения, резервирования и контроля входных сигналов синхронизации, а также резервного источника синхронизации (в режиме запоминания частоты) для фрагмента сети ТСС.

3.1.7 **генератор сетевого элемента;** ГСЭ: Техническое средство ТСС четвертого уровня иерархии, управляющее формированием выходных сигналов в средствах связи синхронной цифровой иерархии и обеспечивающее выбор сигнала синхронизации из сигналов, которые предназначены для

использования в мультиплексорах СЦИ при синхронизации внутренних модулей, а также для формирования сигнала синхронизации на внешних выходах синхронизации.

3.1.8 **генераторное оборудование синхронного Ethernet:** Задающий генератор четвертого уровня иерархии, управляющий формированием выходных сигналов в средствах связи с технологией синхронного Ethernet (SyncE) и обеспечивающий выбор сигнала синхронизации из сигналов, которые предназначены для использования синхронным Ethernet.

Примечание — Генераторное оборудование синхронного Ethernet обеспечивает синхронизацию частот передаваемых потоков Gigabit Ethernet (GE), а также формирование сигналов синхронизации на внешних выходах синхронизации.

3.1.9 **глобальная навигационная спутниковая система;** ГНСС: Система, предназначенная для определения пространственных координат, составляющих вектора скорости движения, поправки показаний часов и скорости изменения поправки показаний часов потребителя ГНСС в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства.

3.1.10 **граничные часы электросвязи PTP:** Часы, обеспечивающие определение и регенерацию сообщений о времени, выполняющие функции ведомых часов для вышестоящих часов и ведущих — для нижестоящих.

Примечание — Граничные часы электросвязи PTP являются элементом системы СШВ второго уровня иерархии и могут быть выполнены как самостоятельное устройство или встроены в оборудование коммутации пакетов.

3.1.11 **гроссмейстерские часы электросвязи PTP:** Ведущие часы протокола точного времени, элемент системы СШВ первого уровня иерархии.

3.1.12 **интервал наблюдения:** Промежуток времени установленной длительности, в течение которого определяют параметры блуждания фазы сигнала синхронизации.

3.1.13 **интерфейс:** Совокупность технических, программных средств и правил, обеспечивающих физическое и логическое взаимодействие устройств и программ системы, а также систем между собой.

3.1.14 **код времени;** КВ: Информация о текущем значении даты (день, месяц, год) и времени (часы, минуты, секунды).

3.1.15 **магистральный сегмент:** 1) Сегмент сети передачи данных в централизованной архитектуре сети ПРТС (C-RAN), предназначенный для связывания централизованных блоков (CU) с ядром сети (Core); 2) Сегмент сети передачи данных в архитектуре сети 4G, предназначенный для связывания улучшенного пакетного ядра (EPC) с базовой станцией (eNodeB) или с вынесенным блоком основной полосы частот (BBU).

3.1.16 **медиашлюз:** Средство связи, предназначенное для обеспечения взаимодействия сети связи с коммутацией каналов с сетью связи с коммутацией пакетов.

3.1.17 **межузловая синхронизация:** Сеть синхронизации, основанная на использовании для передачи сигналов синхронизации линий связи между средствами связи, расположенными на разных узлах связи.

3.1.18 **местный задающий генератор;** МЗГ: Техническое средство ТСС третьего уровня иерархии, выполняющее функции восстановления, распределения сигналов синхронизации в пределах узла связи, а также резервного источника синхронизации (в режиме запоминания частоты) для фрагмента сети ТСС.

3.1.19 **мультиплексирование:** Процесс объединения независимых сигналов из нескольких отдельных каналов для передачи в том же направлении по общему каналу.

3.1.20 **относительное отклонение частоты:** Отношение разности между значениями реальной и номинальной частотами к заданной номинальной частоте.

3.1.21 **ошибка времени;** ОВ: Разность временно́го положения секундных меток проверяемых и опорных часов.

3.1.22 **ошибка временно́го интервала;** ОВИ: Разность между измеренным значением временно́го интервала, производимого задающим генератором, и измеренным значением того же самого временно́го интервала, производимого эталонным задающим генератором.

3.1.23 **первичный эталонный генератор;** ПЭГ: Техническое средство первого уровня иерархии ТСС, выполняющее функции формирования эталонных сигналов синхронизации и контроля их качества, выбора сигнала синхронизации от одного из первичных эталонных источников, входящего в состав ПЭГ.

Примечание — Типовой ПЭГ состоит из трех ПЭИ и одного ВЗГ.

3.1.24 **первичный эталонный источник;** ПЭИ: Техническое средство ТСС, формирующее эталонные сигналы синхронизации с помощью квантовых стандартов частоты или с помощью сигналов, поступающих от приемников сигналов ГНСС.

3.1.25 **первичный эталонный источник времени и частоты;** ПЭИВЧ: Техническое средство, формирующее эталонные сигналы частоты (1PPS) и код времени.

Примечание — Первичный эталонный источник времени и частоты может быть объединен с гроссмейстерскими часами электросвязи PTP (T-GM).

3.1.26 **петля синхронизации:** Конфигурация участка сети синхронизации, при которой на вход задающего генератора поступает сформированный им сигнал синхронизации через ряд последовательно соединенных других задающих генераторов или с данного генератора непосредственно.

3.1.27 **преобразователь сигналов синхронизации;** ПСС: Техническое средство ТСС или функциональный модуль мультиплексора СЦИ, осуществляющий восстановление тактовой частоты в первичном цифровом тракте (Е1) с помощью опорного (внешнего или от ГСЭ) сигнала синхронизации, и обеспечивающий формирование информационного потока 2,048 Мбит/с с восстановленным значением тактовой частоты (Е1/Т).

3.1.28 **приемник сигналов глобальных навигационных спутниковых систем;** приемник сигналов ГНСС: Приемник, обеспечивающий прием сигналов от аппаратуры спутниковой навигации ГЛОНАСС или сочетания ГЛОНАСС и иных ГНСС с целью формирования сигналов синхронизации.

3.1.29 **приоритет:** Установленная очередность выбора задающим генератором оборудования ТСС сигнала для синхронизации из определенных пользователем входных сигналов.

Примечание — Первый приоритет является наивысшим и определяет основной сигнал синхронизации.

3.1.30 **прозрачные часы электросвязи PTP:** Часы, встроенные в оборудование коммутации пакетов и предназначенные для измерения задержки прохождения (обработки) пакета через данное оборудование.

Примечание — Прозрачные часы электросвязи PTP являются элементом системы СШВ второго уровня иерархии и обеспечивают сетевую поддержку фазовой и временно́й синхронизации.

3.1.31 **разделенная базовая станция:** Вариант архитектуры построения базовых станций для сети 5G.

Примечание — Разделенная базовая станция включает центральный блок (CU) и распределенные блоки (DU).

3.1.32 **распределитель сигналов синхронизации;** РСС: Техническое средство ТСС, предназначенное для выбора сигнала синхронизации из нескольких входных сигналов и распределения его на внешние выходы синхронизации.

3.1.33 **регион синхронизации:** Часть сети связи, получающая сигналы синхронизации от одного эталонного источника (ПЭГ).

3.1.34 **ретайминг:** Режим восстановления сигнала синхронизации (функции ПСС).

3.1.35 **сегмент доступа:** 1) Сегмент сети передачи данных в централизованной архитектуре сети ПРТС (C-RAN), предназначенный для связывания удаленных радиоблоков (RRU) с распределенными блоками (DU); 2) Сегмент сети передачи данных в архитектуре сети ПРТС 4G, предназначенный для связывания блоков основной полосы частот (BBU) с удаленными радиомодулями (RRH) в случае распределенного построения базовой станции eNodeB.

3.1.36 **сегмент предагрегации и агрегации:** Сегмент сети передачи данных в централизованной архитектуре сети ПРТС (C-RAN), предназначенный для связывания распределенных блоков (DU) с централизованными блоками (CU).

3.1.37 **сетевой элемент;** СЭ: Объект в сети электросвязи.

3.1.38 **сеть тактовой сетевой синхронизации;** сеть ТСС: Элемент системы ТСС, определяющий направления, разрешенные для приема сигналов синхронизации средствами связи.

Примечание — Сеть ТСС состоит из линий связи, по которым распределяются сигналы синхронизации, и технических средств ТСС, восстанавливающих параметры сигналов синхронизации, искаженных при их распространении по линиям связи, а также формирующих необходимое количество сигналов синхронизации для их распределения между средствами связи.

3.1.39 **сигнал Т1:** Сигнал синхронизации, выделенный из принимаемого сигнала STM-N.

3.1.40 **сигнал Т2:** Информационный (трибутарный) поток со скоростью 2,048 Мбит/с, предназначенный для синхронизации ГСЭ.

3.1.41 **сигнал Т3:** Сигнал частотной синхронизации 2,048, 10 МГц или поток со скоростью 2,048 Мбит/с, предназначенный для синхронизации ГСЭ.

3.1.42 **сигнал Т4:** Сигнал частотной синхронизации 2,048, 10 МГц или поток со скоростью 2,048 Мбит/с на выходе сетевого элемента или технического средства ТСС и СШВ.

3.1.43 **сигнал тактовой сетевой синхронизации:** Периодический сигнал тактовой частоты 2,048 МГц, 10 МГц или поток со скоростью 2,048 Мбит/с, структурированный по циклам и сверхциклам, формируемый задающим генератором для обеспечения синхронной работы средств связи.

3.1.44 **сигналы временно́й синхронизации:** Сигналы, применяемые для передачи данных о шкале времени ведущих часов для целей контроля или подстройки ведомых часов.

Примечание — Сигналы шкалы времени могут формироваться на физических интерфейсах 1PPS и КВ, а также передаваться с использованием протоколов ToD, IRIG, NTP, PTP и т. п.

3.1.45 **синхронизация:** Процесс подстройки значащих моментов сигналов задающих генераторов технических средств связи для установления и поддержания требуемых временных соотношений.

Примечание — Синхронизацию подразделяют на частотную синхронизацию и временную синхронизацию.

3.1.46 **синхронизация шкал времени;** СШВ: Распределение эталонных сигналов шкалы времени для согласования шкал времени в различных точках сети.

3.1.47 **синхронная сеть:** Сеть связи, все элементы которой работают в синхронном режиме с единым долговременным значением тактовой частоты.

3.1.48 **синхронный Ethernet;** SyncE: Технология передачи сигнала синхронизации по сети электросвязи с пакетной коммутацией, при которой синхронизация средств связи производится на физическом уровне, путем синхронизации внутренних генераторов сетевых элементов.

3.1.49 **система тактовой сетевой синхронизации;** система ТСС: Технологическая система, предназначенная для формирования, распределения, приема и восстановления сигналов синхронизации.

3.1.50 **система управления тактовой сетевой синхронизацией;** СУ ТСС: Аппаратно-программный комплекс, состоящий из устройств контроля и управления, входящих в состав оборудования ТСС, SyncE, центрального сервера управления и средств связи, используемых для передачи сигналов управления и контроля, в целях обеспечения требуемой надежности функционирования системы ТСС посредством своевременного обнаружения и устранения возникающих повреждений.

3.1.51 **система управления частотно-временны́м обеспечением;** СУ ЧВО: Подсистема системы ЧВО, состоящая из устройств контроля и управления, входящих в состав технических средств ТСС, SyncE и СШВ, центрального сервера управления и средств электросвязи, используемых для передачи сигналов управления и контроля, с целью обеспечения необходимой надежности функционирования системы ЧВО за счет своевременного обнаружения и устранения возникающих повреждений.

3.1.52 **система частотно-временно́го обеспечения;** система ЧВО: Технологическая система, предназначенная для формирования, распределения, приема и восстановления сигналов тактовой (частотной) и временно́й синхронизации в целях обеспечения целостности, устойчивости функционирования и безопасности единой сети электросвязи Российской Федерации.

3.1.53 **сообщение об уровне качества источника сигналов синхронизации:** Кодированное значение установленного уровня качества источника синхронизации, формируемое техническими средствами тактовой сетевой или временно́й синхронизации и генераторами сетевых элементов с целью передачи их по линиям связи в составе информационных потоков E1, STM-n (SSM) и Gigabit Ethernet (в системах с SyncE) (ESMC).

3.1.54

средства связи: Технические и программные средства, используемые для формирования, приема, обработки, хранения, передачи, доставки сообщений электросвязи или почтовых отправлений, а также иные технические и программные средства, используемые при оказании услуг связи или обеспечении функционирования.

[[10], статья 2, пункт 28]

3.1.55 **телекоммуникационный профиль PTP:** Группа сконфигурированных настроек (параметров) и определенных ограничений для PTP, оптимизированных для конкретного приложения или области применения PTP.

Примечание — Телекоммуникационные профили PTP принимаются Сектором телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т).

3.1.56 **техническое средство системы временно́й синхронизации:** Средства связи, выполняющие функции формирования, преобразования и распределения сигналов временно́й синхронизации.

3.1.57 **техническое средство тактовой сетевой синхронизации:** Средства связи, выполняющие функции формирования, преобразования и распределения сигнала тактовой (частотной) синхронизации.

3.1.58 **транспортная сеть:** Цифровая сеть или совокупность цифровых сетей, построенных на различных телекоммуникационных технологиях, обеспечивающая доставку информации в виде сигналов электросвязи от любого ее порта к заданному или группе заданных портов.

3.1.59 **улучшенный генератор оборудования синхронного Ethernet:** Генератор средств связи, использующих технологию синхронного Ethernet, с улучшенными характеристиками, применяемый для систем ЧВО сетей 5G.

3.1.60 **улучшенный первичный эталонный генератор;** уПЭГ: Первичный эталонный генератор с улучшенными характеристиками, применяемый для систем ЧВО сетей 5G.

3.1.61 **улучшенный первичный эталонный источник времени и частоты;** уПЭИВЧ: Техническое средство, формирующее эталонные сигналы частоты (1PPS) и КВ с улучшенными характеристиками в соответствии с требованиями сетей 5G.

Примечание — Улучшенный первичный эталонный источник времени и частоты может быть объединен с гроссмейстерскими часами электросвязи PTP (T-GM).

3.1.62 **цикл:** Наименьший интервал времени, характеризующий повторяемость событий в процессе передачи информации.

Примечание — В цифровых иерархических системах связи длительность цикла равна 125 мкс, что соответствует частоте дискретизации 8 кГц, используемой при кодировании речевого сигнала.

3.1.63 **эталонный сигнал тактовой [частотной] синхронизации:** Сигнал синхронизации, относительное отклонение частоты которого на семисуточном и временных интервалах большей длительности не превышает:

- $\pm 1 \cdot 10^{-11}$ (для сигнала синхронизации, формируемого техническими средствами, соответствующими установленным требованиям) (см. [1]);
- $\pm 1 \cdot 10^{-12}$ (для сигнала синхронизации, формируемого техническими средствами, соответствующими установленным требованиям) (см. [2]).

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АРСВ — аппаратура распределения сигналов времени;
ВОЛС — волоконно-оптическая линия связи;
ГЛОНАСС — Глобальная навигационная спутниковая система Российской Федерации;
ГЭВЧ — Государственный эталон времени и частоты;
ОИ — основной источник (синхронизации);
ОТС — оптическая транспортная сеть;
ПЦИ — плезиохронная цифровая иерархия;
РИ — резервный источник (синхронизации);
РРЛ — радиорелейная линия связи;
СП — система передачи;
ССОП — сеть связи общего пользования;
ССС — система синхронизации сигналов;
СТВ — сигнал точного времени;
СЦИ — синхронная цифровая иерархия;
ТСС — тактовая сетевая синхронизация;
ЦРРЛ — цифровая радиорелейная линия связи;

ЭСВЧ ГСВЧ — эталонный сигнал частоты и времени Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли;

APTS — ассистированная частичная сетевая поддержка хронирования (Assisted Partial Timing Support);

BBU — блок основной полосы частот (BaseBand Unit);

CPRI — общий открытый радиоинтерфейс (Common Public Radio Interface);

C-RAN — централизованная архитектура построения сети радиодоступа (Central Radio Access Network);

CU — центральный блок (элемент централизованной архитектуры построения сети ПРТС — C-RAN) (Central Unit);

DU — распределенный модуль (элемент централизованной архитектуры построения сети ПРТС — C-RAN) (Distributed Unit);

DWDM — плотное мультиплексирование с разделением по длине волны (Dense Wavelength Division Multiplexing);

eCPRI — усовершенствованный общий открытый радиоинтерфейс (enhanced Common Public Radio Interface);

EPC — улучшенное пакетное ядро (Enhanced Packet Core);

ESMC — сообщение об уровне качества синхронизации в системе синхронного Ethernet (SyncE) (Ethernet Synchronization Messaging Channel);

FDD — дуплексная передача данных с частотным разделением каналов в подсистеме радиодоступа LTE (Frequency Division Duplex);

GPS — глобальная навигационная спутниковая система Соединенных Штатов Америки (Global Positioning System);

IRIG — группа междиапазонного приборостроения (обозначение символьного протокола синхронизации) (Inter-range instrumentation group);

LTE — технология подвижной радиотелефонной связи четвертого поколения (Long-Term Evolution);

LTE-A — улучшенная технология подвижной радиотелефонной связи четвертого поколения (Long-Term Evolution — Advanced);

ODU — блок данных оптического канала (Optical Data Unit);

PTP — протокол точного времени (Precision Time Protocol);

RRH — удаленный радиомодуль (удаленная радиоголовка) (Remote Radio Head);

RRU — удаленный радиоблок (элемент централизованной архитектуры построения сети ПРТС — C-RAN) (Remote Radio Unit);

RU — радиоблок (Radio Unit);

SSM — сообщение статуса синхронизации в СЦИ (Synchronization Status Message);

STM-N — синхронный транспортный модуль — уровень N Synchronous Transport Module — N);

TAI — международное атомное время;

ToD — время дня (код времени — КВ) (Time of Day);

T-TC — прозрачные часы электросвязи PTP (Telecom Transparent Clock);

T-BC — граничные часы электросвязи (Telecom Boundary Clock);

T-BC-A — граничные часы электросвязи PTP для ассистированной частичной сетевой поддержки хронирования (Telecom Boundary Clock — Assisted);

T-BC-P — граничные часы электросвязи PTP для частичной поддержки хронирования (Telecom Boundary Clock — Partial support);

T-GM — гроссмейстерские часы электросвязи PTP (Telecom Grandmaster);

T-TSC — ведомые часы электросвязи PTP (Telecom Time Slave Clock);

T-TSC-A — ведомые часы электросвязи PTP для ассистированной частичной сетевой поддержки хронирования (Telecom Time Slave Clock — Assisted);

T-TSC-P — ведомые часы электросвязи PTP для частичной поддержки хронирования (Telecom Time Slave Clock — Partial support);

TDD — дуплексная передача данных с временным разделением каналов в подсистеме радиодоступа LTE и 5G (Time Division Duplex);

UTC — международная шкала координированного времени (всемирное координатное время);

UTC(SU) — реализация шкалы UTC национальным эталоном частоты и времени Российской Федерации;

1PPS — 1 импульс в секунду (1 pulse per second);

5G — пятое поколение (Fifth-generation).

4 Требования к системам тактовой сетевой синхронизации сигналов в сетях связи с коммутацией каналов

4.1 Требования к архитектуре построения

Систему ТСС можно представить в виде древовидной структуры. В основании такого дерева находится ПЭГ, а в узлах — аппаратура 2-го уровня ВЗГ, затем аппаратура 3-го уровня МЗГ, далее аппаратура 4-го уровня ГСЭ.

Система ТСС транспортной сети СЦИ может быть ориентирована на одновременное использование на цифровых сетях аппаратуры и оборудования транспортных систем СЦИ и тех пакетных технологий с использованием TCP/IP протокола, которые нуждаются в тактовых сигналах синхронизации.

Блоки ПЭИ должны иметь возможность синхронизироваться от ГЛОНАСС, что позволяет обеспечивать поддержание требуемой точности синхронизации, как по частоте, так и по времени, а также использовать сигнал синхронизации в качестве основного источника синхронизации для сети ТСС малых автономных сетей связи и оборудования земных станций спутниковой связи.

На тех узлах транспортной сети связи СЦИ, где проектируется установка оборудования с SyncE, должно быть предусмотрено обеспечение этого оборудования сигналами синхронизации, получаемыми от системы ТСС.

В штатном режиме синхронизация любого ведомого генератора системы ТСС транспортной сети связи СЦИ осуществляется одним сигналом синхронизации. Однако, для обеспечения надежности, на вход каждого задающего генератора должны подаваться не менее двух сигналов синхронизации, один из которых используется как основной сигнал, а остальные играют роль резервных.

Выбор сигнала синхронизации для управления задающим генератором должен быть осуществлен на основании устанавливаемых приоритетов. Если, кроме этого, оборудование позволяет выбирать сигнал синхронизации не только по приоритету, но и по обнаруживаемому уровню качества сигнала синхронизации, то в качестве основного сигнала синхронизации автоматически следует выбирать сигнал синхронизации с лучшим уровнем качества. Механизм такого выбора основан на обработке сообщений статуса синхронизации, известных как сообщения SSM.

В мультиплексорах систем передачи обработка SSM должна производиться так, что в результате выбор сигналов синхронизации по приоритету производится только тогда, когда входные сигнал синхронизации имеют одинаковые уровни качества.

Двоичные комбинации сообщений SSM и соответствующие им десятичные значения, показанные в скобках, являются следующими (см. [11] и [12]):

- 0000 (0) — качество не известно;
- 0010 (2) — качество ПЭГ;
- 0100 (4) — качество ВЗГ;
- 1000 (8) — качество МЗГ;
- 1011 (11) — качество ГСЭ системы передачи СЦИ, являющегося составной частью соответствующего генераторного оборудования;
- 1111 (15) — не использовать для синхронизации.

В мультиплексоре СЦИ механизм обработки сообщений SSM должен реализовываться по схеме выбора сигнала синхронизации, показанной на рисунке 1.

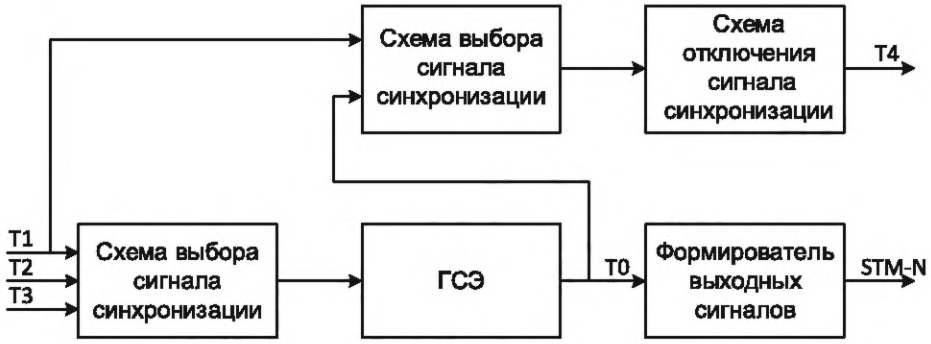


Рисунок 1 — Схема распределения сигнала синхронизации в мультиплексоре СЦИ

На вход мультиплексора СЦИ поступают следующие различные виды сигналов, которые могут быть использованы для синхронизации:

- цифровой линейный сигнал или компонентный сигнал STM-N;
- информационный сигнал, подлежащий передаче по данной системе передачи СЦИ, как правило сигнал Е1;
- внешний сигнал синхронизации.

Каждый сигнал, поступающий по своему стыку, преобразуется в сигнал синхронизации 2,048 МГц, причем сигнал Т1 получают из сигнала STM-N, сигнал Т2 — из потока Е1, а сигнал Т3 — представляет собой внешний сигнал синхронизации. Сигнал с ГСЭ Т0 участвует в формировании выходных сигналов мультиплексора STM-N, а также может быть использован для получения выходного сигнала Т4.

К выходному сигналу Т4 мультиплексора, показанного на рисунке 1, подключается ВЗГ, работающий по следующему алгоритму:

- входной сигнал Т1, выделенный из сигнала STM-N, подается на схему отключения сигнала синхронизации по уровню качества, минуя основную схему выбора сигнала синхронизации мультиплексора СЦИ. Сигнал синхронизации поступает на выход сигнала Т4 и обеспечивает синхронизацию подключенного ВЗГ только тогда, когда уровень его качества выше заданного (например, ПЭГ), в противном случае сигнал Т4 отключается;
- выходной сигнал ВЗГ поступает на вход Т3 мультиплексора по первому приоритету и в штатном режиме синхронизирует ГСЭ, так как уровень качества сигналов Т1 и Т3 одинаков (поступает от ПЭГ), а приоритет сигнала Т3 выше. Если качество сигнала Т1 станет ниже ПЭГ и ВЗГ данного узла, то выключатель по уровню качества отключит сигнал Т4, и ВЗГ начнет работать в режиме удержания частоты (либо будет синхронизироваться от других подключенных к нему источников). При этом мультиплексор СЦИ по-прежнему будет синхронизироваться от ВЗГ, но уже с качеством ВЗГ, а не ПЭГ.

Для обеспечения возможности автоматического выбора источников синхронизации с высоким качеством целесообразно в качестве сигналов Т3 и Т4 использовать сигналы 2 Мбит/с с поддержкой SSM (см. [11]).

Формирование и обработка сообщений SSM предназначена, в том числе, в качестве определенного средства предотвращения недопустимых «петель синхронизации». Однако полной защиты от образования таких петель SSM не обеспечивает, поэтому при проектировании системы ТСС необходимо придерживаться алгоритма (см. 4.4.3.5).

ССС в сетях связи с коммутацией каналов включает:

- систему ТСС, предназначенную для обеспечения всех задающих генераторов синхронной транспортной сети связи эталонными сигналами тактовой частоты; а также оборудования коммутации;
- систему синхронизации фазы и шкалы времени (систему СШВ), предназначенную для обеспечения всех устройств, требующих соответствующий вид синхронизации, эталонными СТВ.

Система ТСС в сетях связи с коммутацией каналов строится по иерархическому принципу с учетом соблюдения следующих правил:

- сеть синхронизации первого уровня иерархии должна получать основной и резервный сигналы синхронизации;
- сети синхронизации второго, третьего и последующих уровней иерархии используют для синхронизации сигналы, поступающие от сети более высокого уровня;

- от сетей более низкого уровня исключена передача сигналов для синхронизации для сетей синхронизации более высокого уровня иерархии;

- к каждому участку сети более низкого уровня необходимо подавать два сигнала синхронизации через две разные точки подключения к сетям более высокого уровня иерархии.

Для доставки сигналов синхронизации используется сеть ТСС — сетевая структура, строящаяся на базе сети электросвязи и обеспечивающая прохождение (передачу) по этой сети сигналов синхронизации.

Принцип иерархического построения системы ТСС для транспортной сети различных структур приведен на рисунках 2—4.

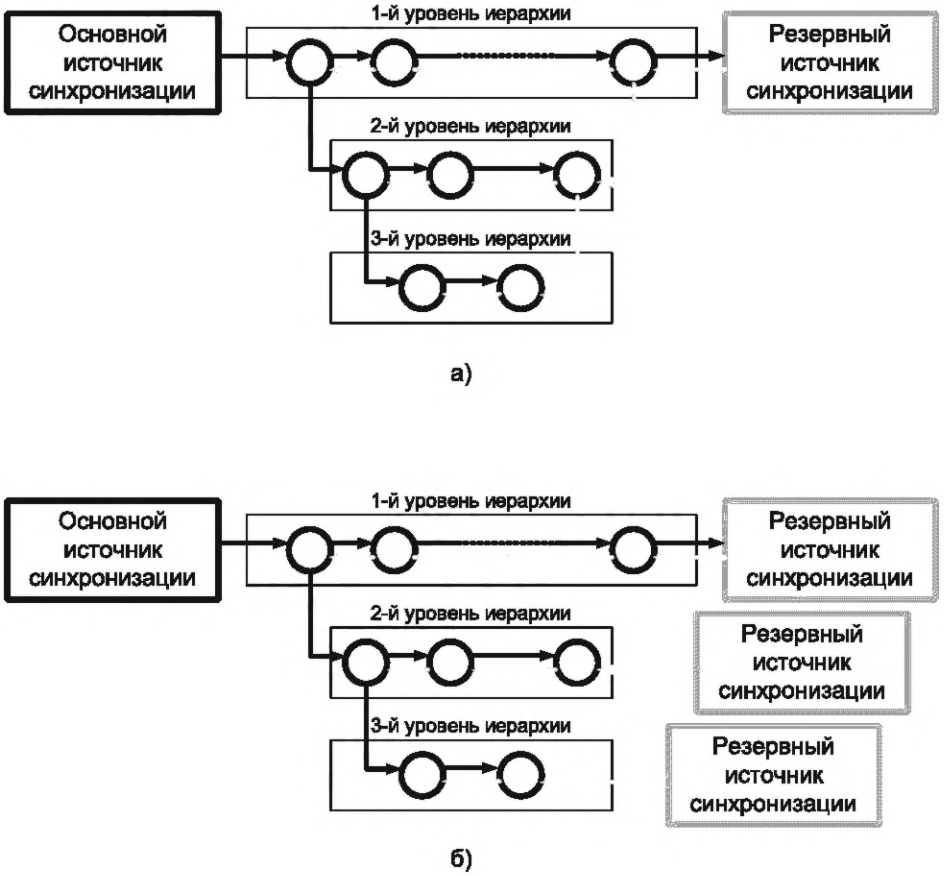


Рисунок 2 — Принцип иерархического построения системы ТСС для транспортной сети линейной структуры

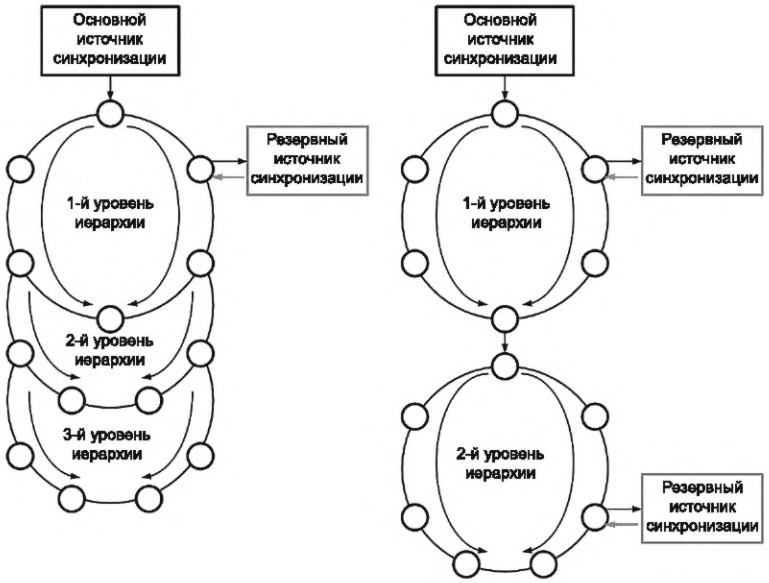


Рисунок 3 — Принцип иерархического построения системы ТСС для транспортной сети кольцевой структуры

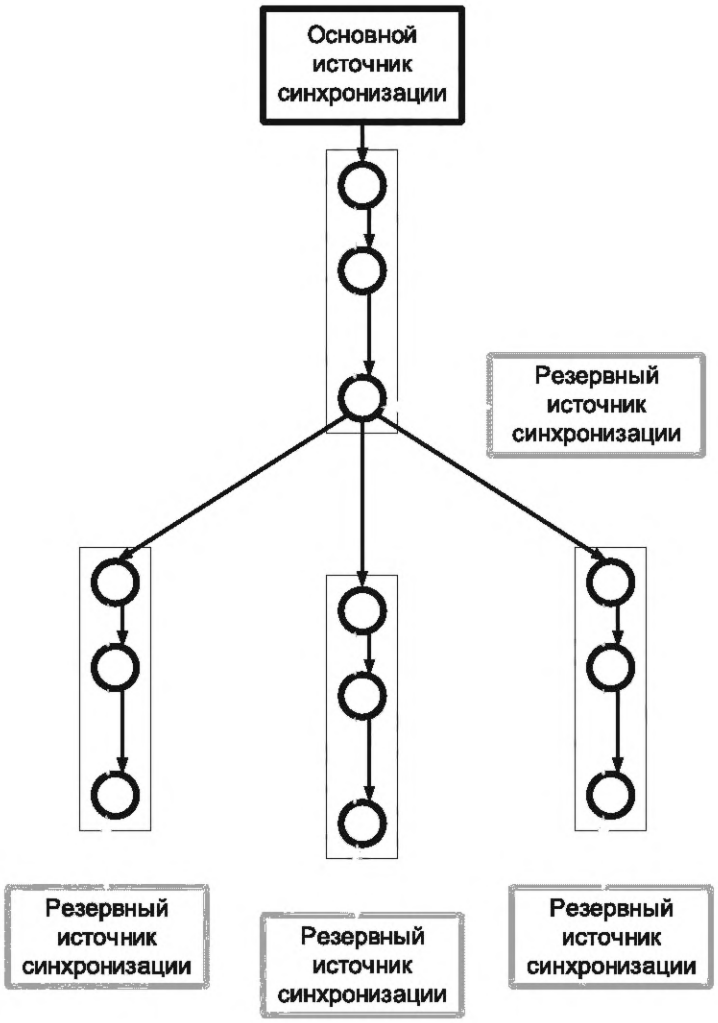


Рисунок 4 — Принцип иерархического построения системы ТСС для транспортной сети лучевой структуры

Система ТСС состоит из следующего:

а) технических средств ТСС, включающих следующие типы:

1) ПЭГ;
2) уПЭГ;
3) ПЭИ;
4) уПЭИ;
5) ВЗГ;
6) МЗГ;
7) РСС;
8) ПСС;
9) ГСЭ, использующий технологию СЦИ;
10) ГСЭ, использующий технологию синхронного Ethernet;
11) улучшенный ГСЭ, использующий технологию синхронного Ethernet;

б) сети ТСС, наложенной на сеть электросвязи, состоящей из линий связи, по которым распределяются сигналы синхронизации. Сеть ТСС состоит из внутриузловой и межузловой сетей синхронизации;

в) СУ ТСС;

г) средств связи ССОП, являющихся потребителями сигналов синхронизации.

Сигналы синхронизации формируются следующим оборудованием ТСС:

а) ПЭГ или уПЭГ;

б) ВЗГ, при синхронизации от ПЭИ, уПЭИ или от приемников ГНСС;

в) отдельно установленным ПЭИ или уПЭИ.

Основным источником сигналов синхронизации является ПЭГ, который определяет регион синхронизации. В каждом регионе должны быть запроектированы:

- основной источник сигналов синхронизации;
- один или несколько резервных источников сигналов синхронизации;
- объекты синхронизации, то есть средства связи, требующие синхронизацию;
- средства доставки сигналов синхронизации от источников ко всем объектам (сеть ТСС);
- СУ ТСС.

Принцип синхронизации участков сети связи от ПЭГ разных регионов показан на рисунке 5 с указанием приоритетов по сигналам синхронизации.

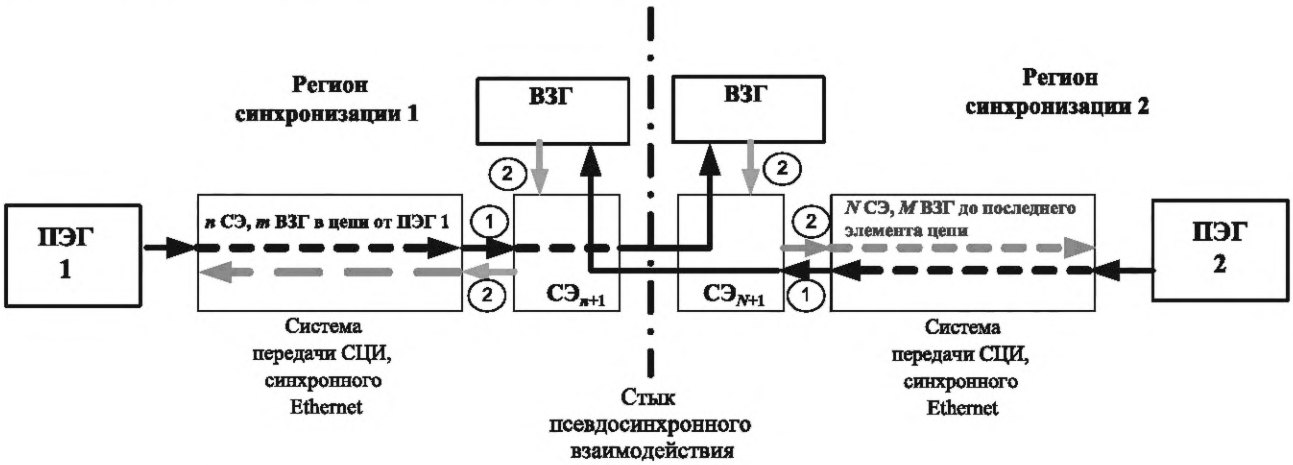


Рисунок 5 — Принцип синхронизации участков сети связи от ПЭГ разных регионов синхронизации

Резервными источниками могут являться:

- сеть ТСС другого региона;
- ВЗГ или МЗГ, работающие в режиме запоминания частоты;
- БСС при соответствии их технических характеристик в режиме запоминания частоты требованиям, установленным для ВЗГ или МЗГ;
- сигнал синхронизации от сети ТСС другого оператора.

При проектировании сети ТСС необходимо, чтобы обеспечивалось обязательное выполнение следующих требований к цепям синхронизации (от основного и резервного источников синхронизации по основному или резервному направлению), касающихся архитектуры построения сети ТСС:

- количество ГСЭ, последовательно включенных в цепь синхронизации между ПЭГ и ВЗГ, между двумя ВЗГ, между ВЗГ и МЗГ или после последнего ВЗГ/МЗГ до конечного ГСЭ сети ТСС, не должно превышать 20;
- при передаче сигнала синхронизации по линиям связи ПЦИ количество последовательно включенных мультиплексоров ПЦИ не должно превышать 10;
- совокупное количество ГСЭ, последовательно включенных в цепь синхронизации, не должно превышать 60 (от ПЭГ до последнего элемента цепи синхронизации);
- количество ВЗГ и МЗГ, последовательно включенных в цепь синхронизации, не должно превышать 10.

Наряду с синхронным режимом на транспортной сети СЦИ должно быть предусмотрено использование псевдосинхронного режима работы между регионами синхронизации, в том числе от сетей ТСС, формирующих сигналы синхронизации с долговременной нестабильностью частоты, не превышающей 1×10^{-11}, других операторов связи.

При наличии на узле связи ПЭГ/уПЭГ, ПЭИ/уПЭИ, ВЗГ, МЗГ внутриузловая сеть ТСС должна строиться по схеме «звезда», при которой основные сигналы синхронизации поступают на средства связи, являющиеся потребителями сигналов ТСС, от указанного оборудования ТСС.

Для увеличения количества сигналов синхронизации на узлах связи предусматривается использование РСС.

Межузловая сеть ТСС должна обеспечивать распределение основных и резервных сигналов синхронизации между узлами связи.

Цепи синхронизации образуются оборудованием ТСС и ГСЭ средств связи СЦИ или SyncE, соединенными последовательно линиями передачи.

Сеть ТСС должна получать сигналы синхронизации от основного и не менее чем одного резервного источника синхронизации.

При распределении сигналов синхронизации по сетям ТСС с использованием любого сочетания основных и резервных путей передачи сигналов синхронизации не допускается образование петель синхронизации.

Для обеспечения иерархического принципа синхронизации в информационных потоках, предназначенных для синхронизации, должна использоваться информация об уровнях качества, содержащаяся в сообщениях SSM или ESMC.

Для восстановления сигнала синхронизации предусматривается использование оборудования ПСС, выполняющее функцию Retiming. ПСС включается только для потоков Е1, которые далее будут использованы для синхронизации, при этом источники потоков должны иметь гарантированную привязку к сети ТСС. Для информационных потоков, которые не используются для целей синхронизации включение ПСС недопустимо.

На тех узлах транспортной сети связи, где проектируется установка оборудования транспортных систем с SyncE, должно быть предусмотрено обеспечение этого оборудования сигналами синхронизации, получаемыми от системы ТСС.

Для доставки СТВ, существующая система ТСС должна дополнительно комплектоваться АРСВ, то есть блоками (СШВ), использующими в качестве опорного сигнала ТСС для АРСВ, соответствующих уровней, сигналы синхронизации ПЭГ, уПЭГ, ВЗГ, сигналы синхронизации системы передачи СЦИ (см. [1]).

АРСВ первого уровня получает СТВ от ЭСВЧ ГСВЧ и передает СТВ, а передача СТВ осуществляется в потоке Е1 СЦИ.

В качестве протокола доставки СТВ допускается использовать NTP. Типовая архитектура построения системы СШВ на базе NTP приведена в приложении А.

На рисунке 6 приведена обобщенная схема системы ТСС и СШВ. Уровень блока СШВ соответствует иерархическому уровню (страте) NTP. Блок СШВ, синхронизированный с блоком СШВ уровня n, работает на уровне n+1. Номер уровня характеризует расстояние от эталонных часов и используется для предотвращения циклических зависимостей в иерархии.

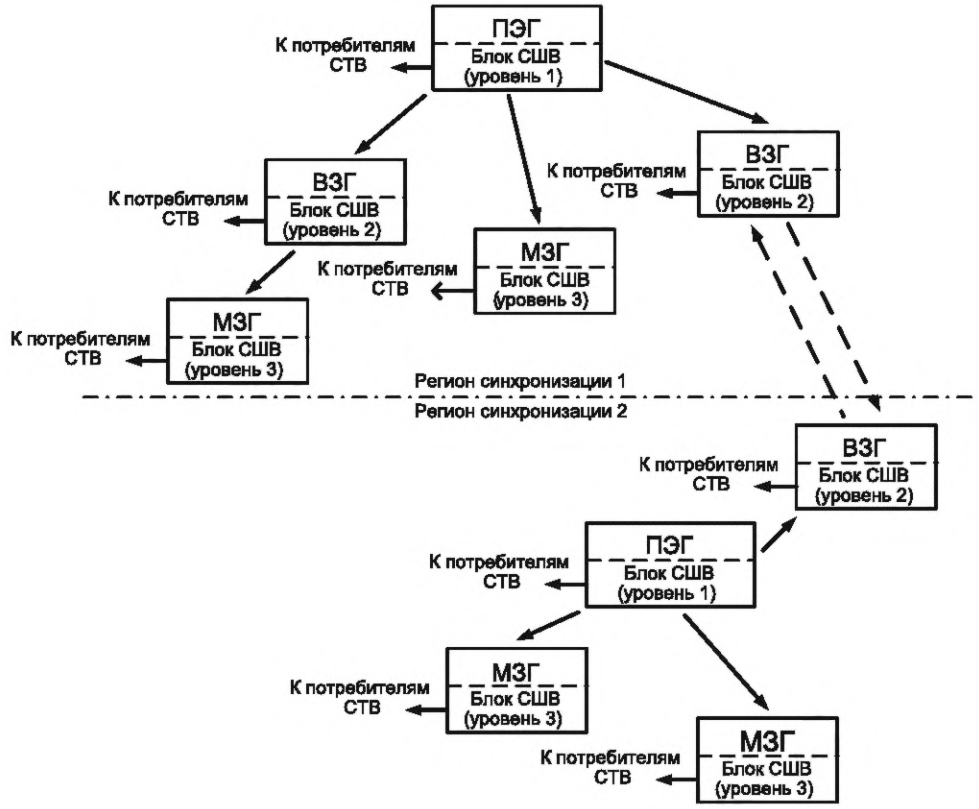


Рисунок 6 — Пример обобщенной схемы системы ТСС и СШВ

4.2 Правила построения системы тактовой сетевой синхронизации на базе различных систем передачи

4.2.1 Правила построения системы ТСС на базе систем передачи СЦИ, ПЦИ и SyncE

Рекомендуемая система ТСС, построенная на базе СП СЦИ [13], должна соответствовать рисунку 7 а). От сигналов ПЭГ (уПЭГ) последовательно синхронизируются ГСЭ СЦИ, ВЗГ, МЗГ, коммутационные станции и иные потребители.

В любой цепи синхронизации (от ОИ или РИ по основному или резервному направлению) до наиболее удаленного объекта синхронизации должны выполняться следующие требования:

- количество сетевых элементов СЦИ не должно превышать 60;
- количество, последовательно включенных ВЗГ не должно превышать 10;
- количество сетевых элементов СЦИ между ПЭГ и первым ВЗГ и между двумя ВЗГ не должно превышать 20;
- количество последовательно подключенных к последнему ВЗГ или МЗГ сетевых элементов СЦИ, не должно превышать 20.

Рекомендуемая система ТСС, построенная на базе систем передачи СЦИ и [13], должна соответствовать рисунку 7 б). Использование систем ПЦИ для передачи сигналов синхронизации между двумя участками сети, построенных на системах СЦИ, возможно при выполнении следующих требований.

В начале и в конце участка ПЦИ в направлении передачи сигналов синхронизации должны быть установлены ВЗГ. В качестве сигнала синхронизации могут быть использованы:

- специальный сигнал 2,048 Мбит/с с постоянной структурой, не содержащий информации, сформированный в ВЗГ;
- сигнал 2048 кбит/с, предназначенный для передачи абонентской нагрузки, для которого в ВЗГ выполнена функция ресинхронизации.

Недопустимо использование информационных сигналов 2048 кбит/с с выхода системы передачи ПЦИ для последующей передачи по системе СЦИ в качестве сигналов синхронизации без ресинхронизации в ВЗГ.

В любой цепи синхронизации в соответствии с рисунком 7 б) необходимо выполнять следующие требования:

- количество сетевых элементов СЦИ не должно превышать 60;
- количество последовательно включенных ВЗГ не должно превышать 10;
- количество сетевых элементов СЦИ между ПЭГ и первым ВЗГ и между двумя ВЗГ не должно превышать 20;
- количество сетевых элементов СЦИ, подключенных к последнему ВЗГ или МЗГ, не должно превышать 20.

Рекомендуемая система ТСС, построенная на базе SyncE [13], [14], должна соответствовать рисунку 7 в). С выходов ПЭГ, ВЗГ или ГСЭ на входы Т3 соответствующих сетевых элементов SyncE подаются сигналы 2,048 МГц/2,048 Мбит/с/10 МГц. Для передачи сигналов синхронизации между сетевыми элементами SyncE используются потоки GigabitEthernet. Для синхронизации ВЗГ используются сигналы синхронизации (2,048 Мбит/с, и 10 МГц) с выходов Т4 соответствующих сетевых элементов SyncE.

В любой цепи синхронизации по рисунку 6 в) должны выполняться следующие требования:

- количество сетевых элементов SyncE не должно превышать 60;
- количество последовательно включенных ВЗГ не должно превышать 10;
- количество сетевых элементов SyncE между ПЭГ (уПЭГ) и первым ВЗГ и между двумя ВЗГ не должно превышать 20;
- количество сетевых элементов SyncE, подключенных к последнему ВЗГ или МЗГ, не должно превышать 20 [см. рисунок 7 а)].

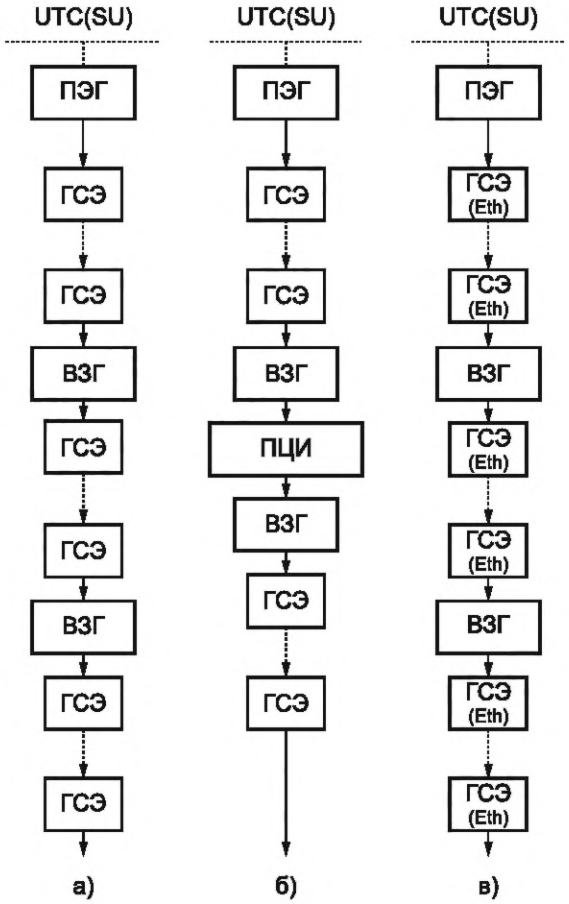


Рисунок 7 — Структуры цепей синхронизации

4.2.2 Правила построения системы ТСС на базе гибридной системы передачи, включающей СП СЦИ и SyncE

Для сетей связи, построенных на базе систем передачи СЦИ и SyncE [13], [14], возможные структуры приведены на рисунке 8.

В любой цепи синхронизации по рисунку 8 должны выполняться следующие требования:

- суммарное количество сетевых элементов СЦИ (ГСЭ) и сетевых элементов SyncE не должно превышать 60;
- количество, последовательно включенных ВЗГ не должно превышать 10;
- количество сетевых элементов любого типа между ПЭГ (уПЭГ) и первым ВЗГ и между двумя ВЗГ не должно превышать 20;
- количество сетевых элементов любого типа, подключенных к последнему ВЗГ, не должно превышать 20.

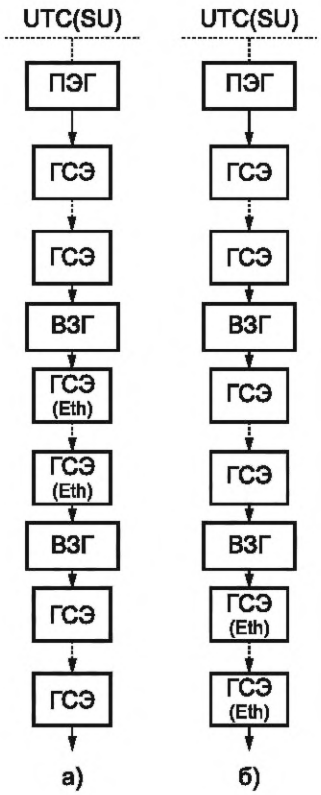


Рисунок 8 — Структуры цепей синхронизации

4.2.3 Правила построения системы тактовой сетевой синхронизации на базе DWDM

Рекомендуемая структура схемы синхронизации для сетей, основанных на DWDM [13], [15], приведена на рисунке 9 а).

С выхода ПЭГ (уПЭГ) сигнал 2,048 МГц поступает на мультиплексор STM-N потоков, который находится в составе оборудования DWDM.

После прохождения участка DWDM из STM-N потока выделяется сигнал синхронизации 2048 кГц, который поступает на вход ВЗГ. ВЗГ аналогичным образом синхронизирует следующий участок DWDM.

В цепи синхронизации согласно рисунку 9 а) необходимо выполнять следующие требования:

- количество участков DWDM не должно превышать 10;
- количество последовательно включенных ВЗГ не должно превышать 10;
- количество сетевых элементов СЦИ (или SyncE), подключенных к последнему ВЗГ, не должно превышать 20.

Для сети связи, построенной на базе СП СЦИ и DWDM (см. [13], [15]), где участок DWDM подключен к ПЭГ через систему СЦИ и количество участков DWDM менее 10, рекомендуемая структура приведена на рисунке 9 б).

В цепи синхронизации согласно рисунку 9 б) необходимо выполнять следующие требования:

- количество последовательно включенных ВЗГ не должно превышать 10;
- между ПЭГ и первым ВЗГ количество сетевых элементов СЦИ не должно превышать 20;

- количество сетевых элементов СЦИ (или SyncE), подключенных к последнему ВЗГ, не должно превышать 20;

- суммарное количество сетевых элементов СЦИ (или SyncE) в цепи не должно превышать 60, с учетом того, что каждый участок DWDM, включенный в цепь синхронизации, соответствует четырем сетевым элементам СЦИ (или SyncE), то есть количество сетевых элементов равно 60 – $4N_{DWDM}$, где N_{DWDM} — количество участков DWDM, через которые передается сигнал синхронизации.

Для сетей связи, построенных на базе СП СЦИ, DWDM и SyncE (см. [13], [14], [15]) рекомендуемая структура приведена на рисунке 9 в).

В цепи синхронизации согласно рисунку 8 в) необходимо выполнять следующие требования:

- количество последовательно включенных ВЗГ не должно превышать 10;

- между ПЭГ и первым ВЗГ количество сетевых элементов СЦИ не должно превышать 20;

- суммарное количество ГСЭ, гибридных сетевых элементов и сетевых элементов SyncE, подключенных к последнему ВЗГ, не должно превышать 20;

- суммарное количество сетевых элементов всех типов в цепи синхронизации не должно превышать 60, с учетом того, что каждый участок СП DWDM, включенный в цепь синхронизации, соответствует четырем сетевым элементам СЦИ, то есть количество сетевых элементов С равно 60 – $2N_{DWDM}$, где N_{DWDM} — количество участков СП DWDM, через которые передается сигнал синхронизации.

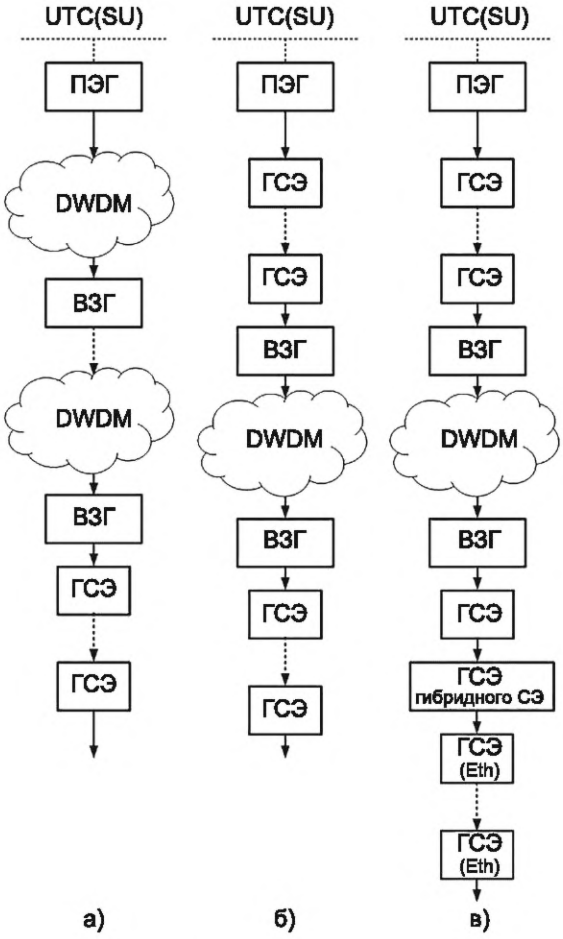


Рисунок 9 — Структуры цепей синхронизации

4.2.4 Правила построения системы ТСС для сетей связи на базе оптических транспортных сетей

В сетях связи, построенных на базе ОТС [15], физический уровень ОТС не используется для передачи сигналов синхронизации. В качестве носителя информации о синхронизации используется сигнал STM-N, который может быть клиентским сигналом внутри уровня ОТС (построенной, например, на базе оборудования DWDM).

ОТС [15] допускается внедрять между ВЗГ (см. рисунок 10). Под островом ОТС подразумевается совокупность оборудования ОТС (не более 10 сетевых элементов ОТС), которое выполняет преобразование STM-N в соответствующий блок данных оптического канала (ODUk), несколько сетевых элементов ОТС ($СЭ_{ОТС}$), которые выполняют (де)мультиплексирование и перекрестное подключение ODUk и передачу по оптическим каналам (включая оптическое мультиплексирование и перекрестное подключение), и депреобразование STM-N. Суммарное количество $СЭ_{ОТС}$ всех островов ОТС не должно превышать 100.

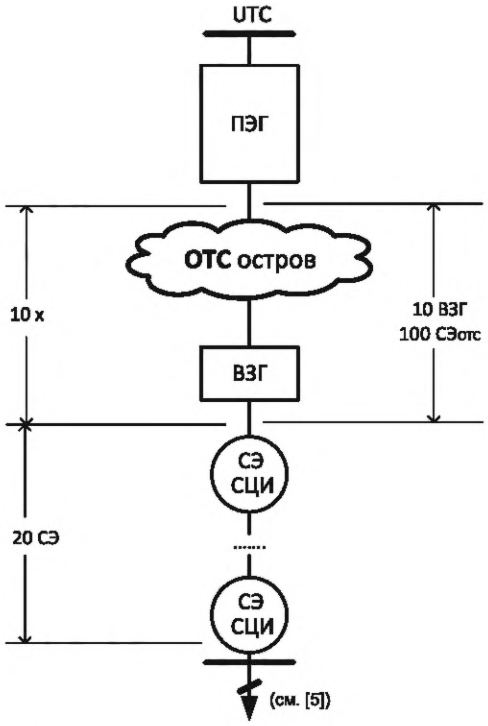


Рисунок 10 — Цепь синхронизации при внедрении участков ОТС

В цепь синхронизации [15] между $СЭ_{СЦИ}$ допускается вставить несколько островов ОТС, без необходимости уменьшать максимальное количество $СЭ_{СЦИ}$ в цепи, которое равно 20 (см. рисунок 11).

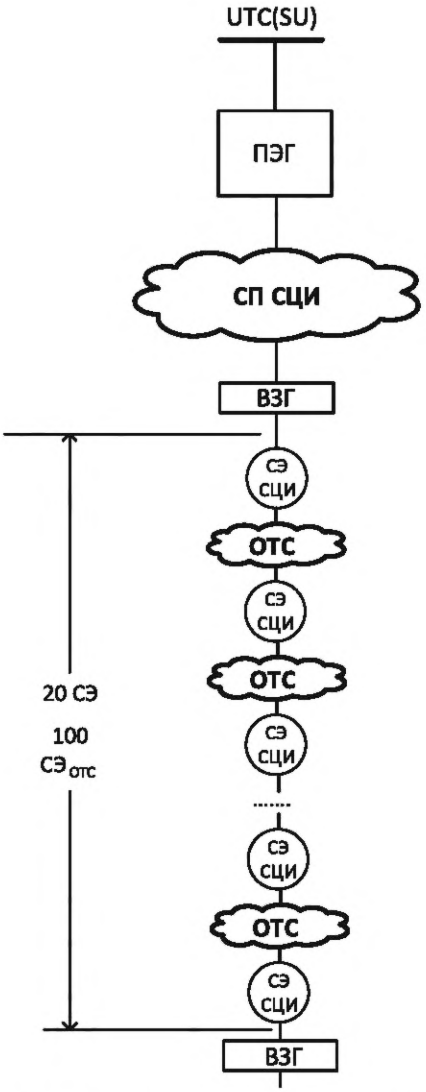


Рисунок 11 — Вариант внедрения участков ОТС в цепь синхронизации

4.3 Типовые решения по построению систем тактовой сетевой синхронизации

Типовые решения по построению систем ТСС для различных топологий сетей связи приведены в приложении Б.

Основными критериями при построении схемы синхронизации являются:

- необходимость обеспечения всех элементов сети связи сигналами синхронизации требуемого качества. Для сетей, построенных на базе систем передачи СЦИ, требуемое качество сигналов обеспечивается, если сигналы создаются ПЭГ (уПЭГ), ПЭИ (уПЭИ), ВЗГ, МЗГ при условии, что количество элементов в цепях синхронизации не превышает допустимых значений;
- отсутствие возможности возникновения петель синхронизации (любого характера — постоянных, мерцающих и кратковременных) при любой аварии в сети ТСС, в том числе и многократной аварии.

К дополнительным критериям относятся:

- длительность интервала времени, в течение которого в процессе реконфигурации элементы синхронизируются от внутреннего ГСЭ, то есть не получают сигнал синхронизации требуемого качества;
- длительность интервала времени, в течение которого в процессе реконфигурации на выходе Т4 сетевых элементов выключается сигнал синхронизации, если задан порог выключения;
- максимальное количество сетевых элементов в последовательной цепи синхронизации от точки ввода основного сигнала синхронизации до наиболее удаленного элемента в случаях, когда нет аварийных состояний и при появлении аварии в линии связи между элементами;
- появление в процессе реконфигурации двойных переключений сигналов синхронизации.

В штатном режиме работы системы ТСС синхронизация любого ведомого генератора системы ТСС осуществляется одним сигналом синхронизации. Для обеспечения надежности на вход каждого задающего генератора должны подаваться не менее двух сигналов синхронизации, один из которых используется как основной сигнал, а остальные играют роль резервных.

Выбор сигнала синхронизации следует осуществлять на основании устанавливаемых приоритетов и уровней качества сигналов синхронизации. Механизм такого выбора основан на обработке сообщений статуса синхронизации (SSM или ESMC).

Недопустимо ручное задание уровней качества для потоков STM-N и SyncE. Для этих потоков уровни качества должны читаться из заголовков потоков.

Формирование и обработка сообщений SSM (ESMC) предназначена, в том числе, для предотвращения петель синхронизации. Однако полной защиты от образования петель синхронизации сообщения SSM (ESMC) не обеспечивают, поэтому при проектировании системы ТСС необходимо придерживаться следующих правил:

- проведение декомпозиции сети на отдельные домены (используется при сложной топологии сети);
- выбор основных и резервных направлений сигналов синхронизации;
- определение запрещенных направлений прохождения сигналов синхронизации, то есть направлений, при которых может образоваться «петля по синхронизации»;
- построение графа прохождения основных и резервных сигналов синхронизации;
- проведение анализа и, при необходимости, корректировка маршрута прохождения сигнала синхронизации по сети связи с учетом предотвращения возникновения петель синхронизации, как по основным, так и по резервным направлениям;
- если между двумя соседними сетевыми элементами предусматривается основное и резервное направления передачи сигналов синхронизации навстречу друг другу, то необходимо использовать потоки STM-N или GE с SyncE, организованные строго в одном и том же физическом порту.

4.4 Рекомендации по построению систем тактовой сетевой синхронизации

4.4.1 Эффективное построение сети ТСС позволяет повысить качество работы транспортной сети связи СЦИ. Решение данной задачи связано с анализом топологии сети связи и выбором наиболее оптимальных вариантов по обеспечению данной сети источниками синхронизации, то есть выбором оптимальных маршрутов доставки основных и резервных сигналов синхронизации и мест размещения источников синхронизации.

Целью настоящих рекомендаций является выработка единого технического подхода к построению сети ТСС, то есть разработка алгоритма выполнения процесса по созданию плана сети ТСС.

Для сети связи, имеющей разветвленную многоузловую топологию, задача выбора оптимального варианта построения сети ТСС является многокритериальной и ее решение должно включать:

а) выбор маршрутов передачи сигналов синхронизации, исключающих возможность возникновения замкнутых «петель синхронизации»;

б) обеспечение выполнения требований, касающихся структуры сети ТСС.

Для сетей связи большой территориальной протяженности проектирование сети ТСС рекомендуется осуществлять по территориально-иерархическому принципу. Процесс построения планов сети ТСС рекомендуется рассматривать, как выполнение взаимоувязанных процессов, позволяющих выбрать среди совокупности возможных основных и резервных маршрутов доставки сигнала синхронизации к ЭС, то есть к синхронизируемому оборудованию, наиболее оптимальный.

4.4.2 Построение планов сети ТСС, как правило, включает выполнение следующих процессов:

а) декомпозицию сети связи на отдельные домены по топологическому признаку;

б) выбор основных и резервных направлений для сигналов синхронизации;

в) определение запрещенных направлений прохождения сигналов синхронизации, то есть направлений сигнала синхронизации, приводящих к образованию «петель синхронизации»;

г) построение графа прохождения основных сигналов синхронизации;

д) проведение анализа и, при необходимости, корректирование маршрута прохождения сигнала синхронизации по сети связи с учетом предотвращения возникновения «петель синхронизации».

4.4.3 На этапе разработки алгоритма выполнения перечисленных выше основных процессов создания планов сетевой синхронизации следует придерживаться рекомендаций при детализации и оптимизации операций этих процессов, приведенных в 4.4.3.1—4.4.3.5.

4.4.3.1 Процесс декомпозиции сети связи на отдельные домены

При выборе стратегии проектирования сети ТСС необходимо предварительно оценить размер сети связи и ее топологическую сложность.

Для сетей связи большой территориальной протяженности и топологической сложности, охватывающей ряд регионов, целесообразно, предварительно осуществить декомпозицию сети связи на отдельные домены.

Декомпозиция сети связи может быть проведена, как на магистральном, так и на региональном уровне.

Однако, при наличии географически разделенных зон синхронизации, имеющих собственные региональные ПЭГ, декомпозицию сети связи на отдельные домены лучше провести на региональном уровне, для того чтобы обеспечить синхронизацию ЭС в штатном режиме от одного ПЭГ в пределах одного региона синхронизации.

4.4.3.2 Процесс выбора основных и резервных направлений сигналов синхронизации

Выбор маршрута для основного пути синхронизации в выделенных доменах рекомендуется осуществлять на основе принципа синхронизации ЭС в штатном режиме от одного ПЭГ.

Выбор маршрута для основных и резервных путей синхронизации следует выбирать с учетом минимизации количества транзитных ЭС для различных вариантов маршрута путей синхронизации как вне, так и внутри домена, а также типа линии связи (ВОЛС, ЦРРЛ).

При этом предпочтительным является маршрут синхронизации, проходящий как вне, так и внутри домена по ВОЛС.

В нештатном режиме источниками синхронизации могут служить ПЭГ соседних регионов, а также ВЗГ, получающие резервные сигналы синхронизации, в том числе, от ГЛОНАСС, ПЭИ, МЗГ, БСС, сети ТСС других операторов.

4.4.3.3 Процесс определения запрещенных направлений прохождения сигналов синхронизации

При построении маршрутов прохождения сигналов синхронизации в выделенных доменах необходимо проводить проверку на возможность возникновения запрещенных направлений прохождения сигналов синхронизации («петель синхронизации»), причем для кольцевых структур сети связи эту проверку требуется проводить не только для основных, но и для резервных маршрутов синхронизации. Кроме того, проверку необходимо проводить для маршрутов синхронизации, проходящих как против, так и по часовой стрелке.

4.4.3.4 Процесс построения графа прохождения основных сигналов синхронизации

Построение графа прохождения основных сигналов синхронизации проводится на основе разработанных ранее, маршрутов путей передачи сигнала синхронизации.

В качестве основного маршрута сигнала синхронизации выбирается маршрут, обеспечивающий доставку сигнала синхронизации ко всем ЭС внутри домена в штатном режиме от одного ПЭГ, непрерывность маршрута сигнала синхронизации, а также минимальное количество транзитных ЭС.

4.4.3.5 Процесс проведения анализа и корректировки маршрута прохождения сигнала синхронизации

Проведение анализа и, при необходимости, корректировка маршрута прохождения сигнала синхронизации по сети связи с учетом предотвращения возникновения «петель синхронизации» через соседние домены, обусловлены необходимостью передачи сигнала синхронизации на магистральном уровне, то есть организации взаимоувязанной сети ТСС как на магистральном, так и на региональном уровне.

Для организации взаимоувязанной сети ТСС в целом, необходимо на магистральном уровне составить план синхронизации для основных и резервных маршрутов и определить запрещенные направления прохождения сигналов синхронизации.

При возникновении «петель синхронизации» через соседние домены следует провести корректировку маршрута прохождения сигнала синхронизации на региональном уровне, то есть внести в планы синхронизации необходимые запреты на прохождение сигнала синхронизации.

В соответствии с вышеприведенным на рисунке 12 представлен обобщенный алгоритм разработки плана сети ТСС.

Согласно алгоритму разработки плана сети ТСС, представленному на рисунке 12, для оптимизации процесса создания планов синхронизации необходимо определить две целевые функции, одну на региональном уровне, а другую на магистральном.

В качестве целевой функции при автоматизации процесса создания планов сети ТСС для сети связи на региональном уровне может быть выбрана функция, основанная на способе формирования и восстановления сети ТСС, предусматривающим формирование ансамбля незамкнутых маршрутов сигнала синхронизации в виде N деревьев графа сети связи, имеющего $K = P - 1$ ребер, где P — число ЭС узлов в сети связи данного маршрута.

Корневые вершины всех деревьев графа располагаются в месте размещения ПЭГ.

Число N возможных деревьев графа сети связи определяется матрицей, где число строк — i матрицы M_{ij} соответствует количеству узлов графа сети связи, а количество столбцов — j общему числу линий связи L между узлами.

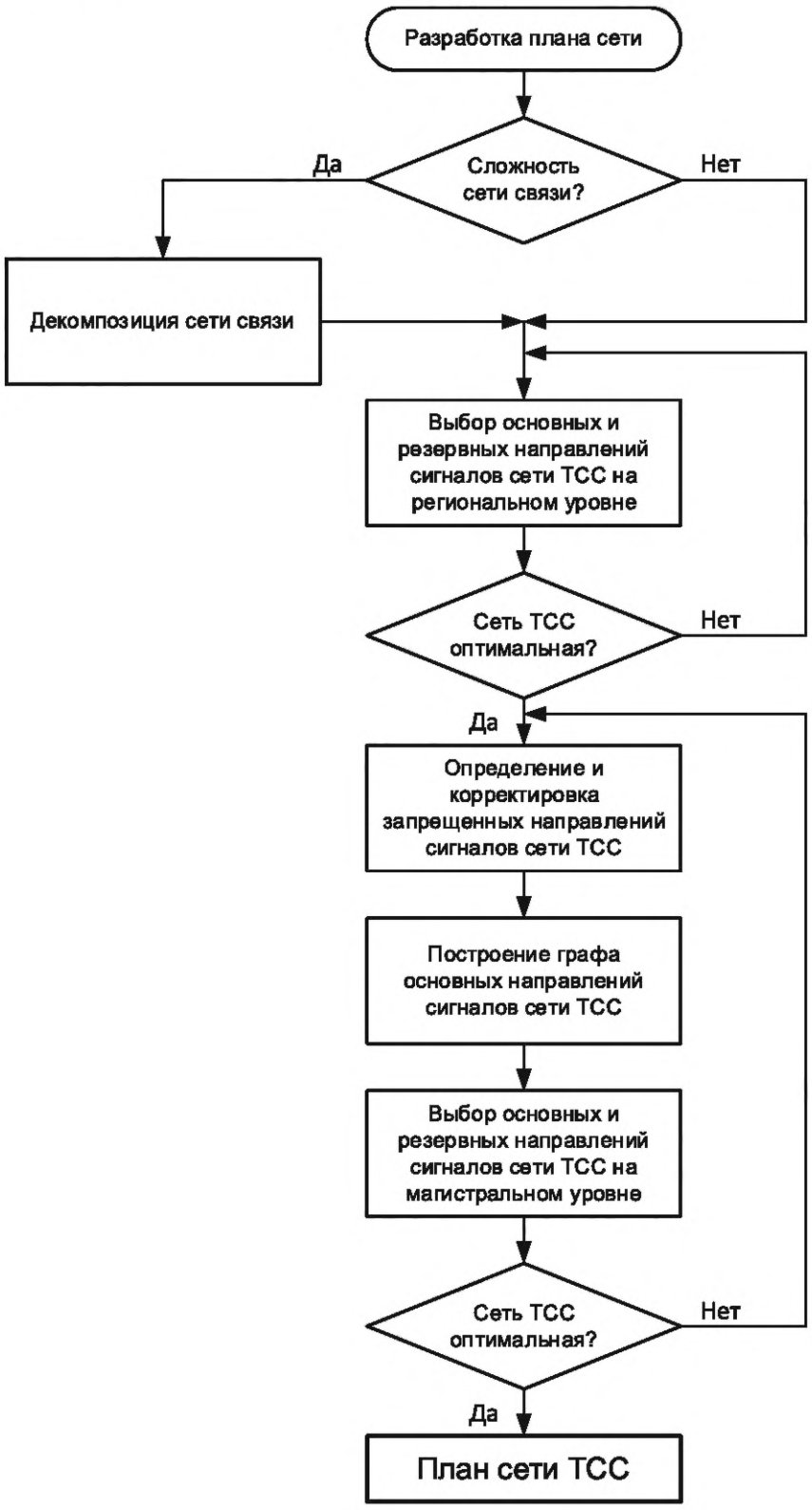


Рисунок 12 — Обобщенный алгоритм разработки плана сети ТСС

В процессе оптимизации маршрутов сигнала синхронизации внутри домена регионального уровня, показанного на рисунке 13, производится оценка ансамбля незамкнутых маршрутов для всех деревьев домена, при этом вычисляются интегральный показатель качества, определяемый числом узлов P, длиной и типом линий связи L_j, а также расстояние между деревьями, характеризующее число переключений необходимых для перехода на новый резервный маршрут синхронизации, в случае выхода из строя основного.

Выбор маршрута синхронизации при переключении на резервный маршрут осуществляется сначала по минимальному расстоянию между деревьями, а затем по лучшему интегральному показателю качества.

В качестве целевой функции при автоматизации процесса создания планов сети ТСС для сети связи между S доменами на магистральном уровне может быть выбрана функция, основанная на определении ансамбля замкнутых маршрутов сигналов синхронизации магистрального уровня, определения запрещенных направлений L_j и минимизации их количества на региональном уровне.

В процессе оптимизации маршрутов сигнала синхронизации на магистральном уровне необходимо определить в матрицах M_{is} каждого домена совпадающие на магистральном уровне j столбцы и использовать их для назначения в качестве запрещенных направлений синхронизации, как это показано на рисунке 14 для направления L_{12}.

Таким образом, алгоритм создания планов сети ТСС предполагает два этапа процесса оптимизации на региональном и магистральном уровнях.

При этом разделение сети связи по территориально-иерархическому принципу при создании планов синхронизации позволяет упростить расчет оптимальных маршрутов сигналов синхронизации за счет снижения размерности матрицы $M_{ij,}$ анализируемой сети связи.

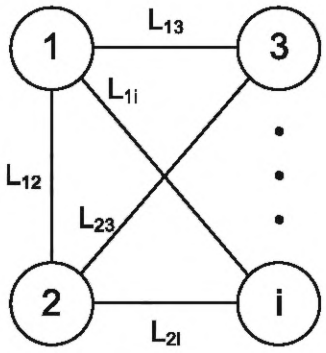


Рисунок 13 — Сеть связи внутри домена на региональном уровне

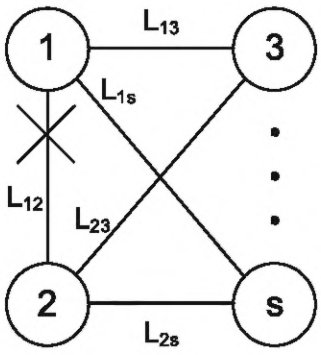


Рисунок 14 — Сеть связи между доменами на магистральном уровне

5 Требования к системам синхронизации сигналов в сетях связи с коммутацией пакетов

5.1 Требования к архитектуре построения

При определении архитектуры построения ССС частоты и времени в сетях связи с коммутацией пакетов следует ориентироваться на решения, изложенные в рекомендациях МСЭ-Т, охватывающих аспекты синхронизации, качества и доступности сетей связи с коммутацией пакетов.

В общем случае система ЧВО сети связи с коммутацией пакетов состоит из технических средств СШВ, сети СШВ, технических средств ТСС, сети ТСС, наложенной на сеть электросвязи, СУ ЧВО, а также средств связи ССОП, являющихся потребителями сигналов синхронизации.

СШВ должна строиться по иерархической древовидной топологии на основе PTP.

К техническим средствам СШВ относятся:

- ПЭИВЧ;
- уПЭИВЧ;
- гроссмейстерские часы электросвязи PTP (T-GM), которые могут быть встроены в ПЭИВЧ и уПЭИВЧ;
- граничные часы электросвязи PTP (далее — граничные часы) (T-BC, T-BC-A, T-BC-P);
- прозрачные часы электросвязи PTP (далее — прозрачные часы) (T-TC);
- ведомые часы электросвязи PTP (далее — ведомые часы) (T-TSC, T-TSC-A, T-TSC-P).

К техническим средствам ТСС относятся: ПЭГ, уПЭГ, ПЭИ, уПЭИ, ВЗГ, МЗГ, РСС, ПСС. Требования к системе ТСС приведены в разделе 5.

ПЭИВЧ в зависимости от характеристик подразделяются на два класса: A и B. Граничные часы (T-BC) и ведомые часы (T-TSC) подразделяют на четыре класса: A, B, C и D. Граничные часы (T-BC-A, T-BC-P) и ведомые часы (T-TSC-A, T-TSC-P) подразделяют на два класса: A и B. Прозрачные часы (T-TC) подразделяют на три класса: A, B и C. Часы класса A имеют худшие характеристики.

Часы T-BC, T-TC и T-TSC предназначены для реализации системы ЧВО при использовании телекоммуникационного профиля PTP (см. [16]). Часы T-BC-A, T-BC-P, T-TSC-A и T-TSC-P предназначены для реализации системы ЧВО при использовании телекоммуникационного профиля PTP (см. [17]).

Классификация часов СШВ приведена в приложении В.

Элементы архитектуры СШВ на основе SyncE имеют назначение, соответствующее назначению однотипных элементов в системе ТСС, и могут выполнять функции оборудования ТСС.

Системы ЧВО должны быть построены с использованием следующих телекоммуникационных профилей PTP:

а) для частотной синхронизации оконечных устройств — см. [9] (обобщенная архитектура приведена на рисунке 15);

б) для полной синхронизации шкалы времени в сетях связи с полной сетевой поддержкой PTP — см. [16] (обобщенная архитектура приведена на рисунке 16);

в) для полной синхронизации шкалы времени в сетях связи с частичной сетевой поддержкой PTP — см. [17] (обобщенные варианты архитектуры приведены на рисунке 17).

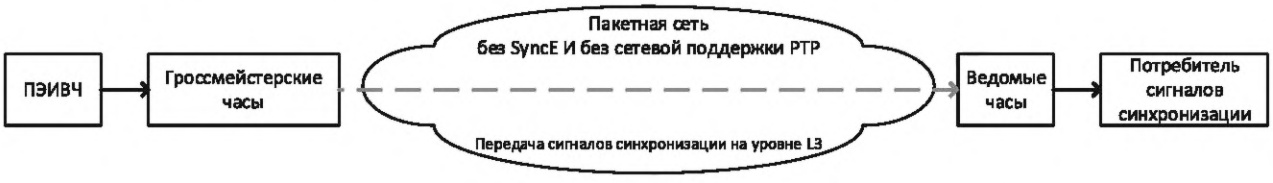


Рисунок 15 — Обобщенная архитектура частотной синхронизации на базе пакетных технологий для телекоммуникационного профиля PTP (см. [9])



Рисунок 16 — Обобщенная архитектура фазовой/временно́й синхронизации в сетях связи с полной сетевой поддержкой PTP для телекоммуникационного профиля PTP (см. [16])

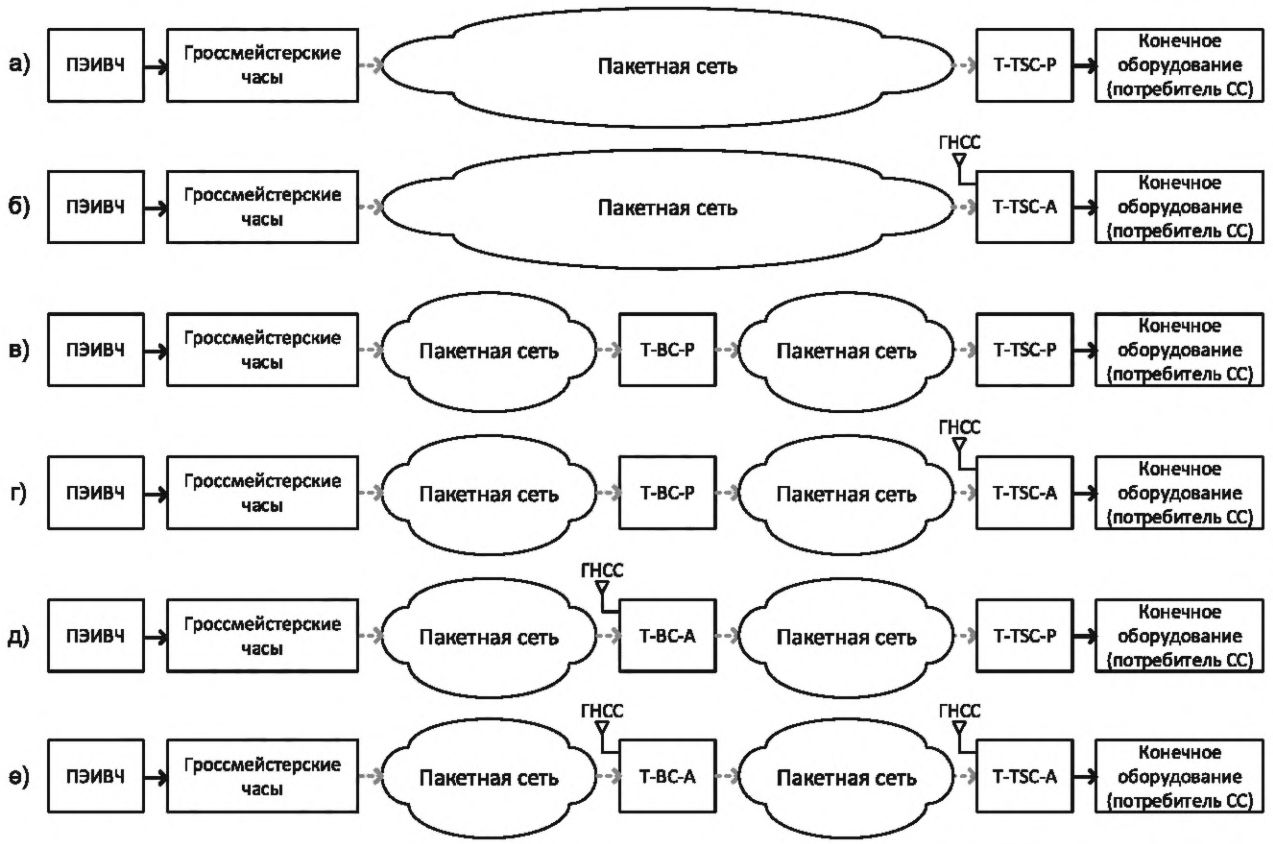


Рисунок 17 — Обобщенные архитектуры фазовой/временно́й синхронизации в сетях связи с частичной сетевой поддержкой PTP для телекоммуникационного профиля PTP (см. [17])

Телекоммуникационный профиль PTP (см. [16]) определяет передачу и адресацию пакетов PTP на канальном уровне (второй уровень модели ОСИ — L2) в режиме многоадресной рассылки (Multicast), через оборудование граничных часов (T-BC) в соответствии с цепью синхронизации.

Телекоммуникационный профиль PTP (см. [17]) определяет передачу и адресацию пакетов протокола PTP на сетевом уровне (третий уровень модели ОСИ — L3) в одноадресном режиме (Unicast). Качественные показатели параметров синхронизации, организованной в соответствии с данным телекоммуникационным профилем PTP, должны поддерживаться с помощью граничных часов T-BC-A или T-BC-P.

Телекоммуникационный профиль PTP (см. [9]) определяет передачу и адресацию пакетов PTP на сетевом уровне (третий уровень модели ОСИ — L3) в одноадресном режиме (Unicast).

Для частотной синхронизации предпочтительным является использование SyncE, а также системы ТСС. При невозможности передачи тактовой синхронизации на физическом уровне частотная синхронизации оконечных устройств осуществляется с использованием телекоммуникационного профиля

PTP (см. [9]). Для обеспечения потребителей сигналами точного времени телекоммуникационный профиль PTP, приведенный в [9], не применим.

Сетевые модели опорных точек и базовые сетевые нормы для телекоммуникационных профилей PTP (см. [16], [17]) приведены на рисунках 18 и 19 соответственно. ПЭИВЧ и T-GM совмещены в одном оборудовании.

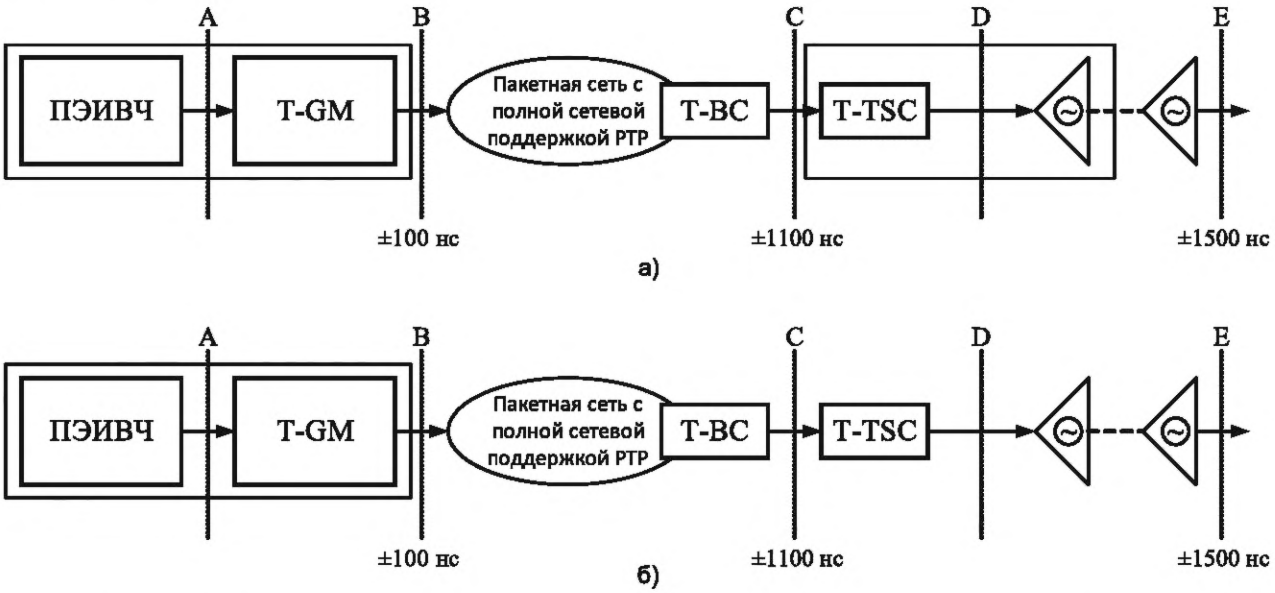


Рисунок 18 — Сетевая модель опорных точек для телекоммуникационного профиля PTP (см. [16])

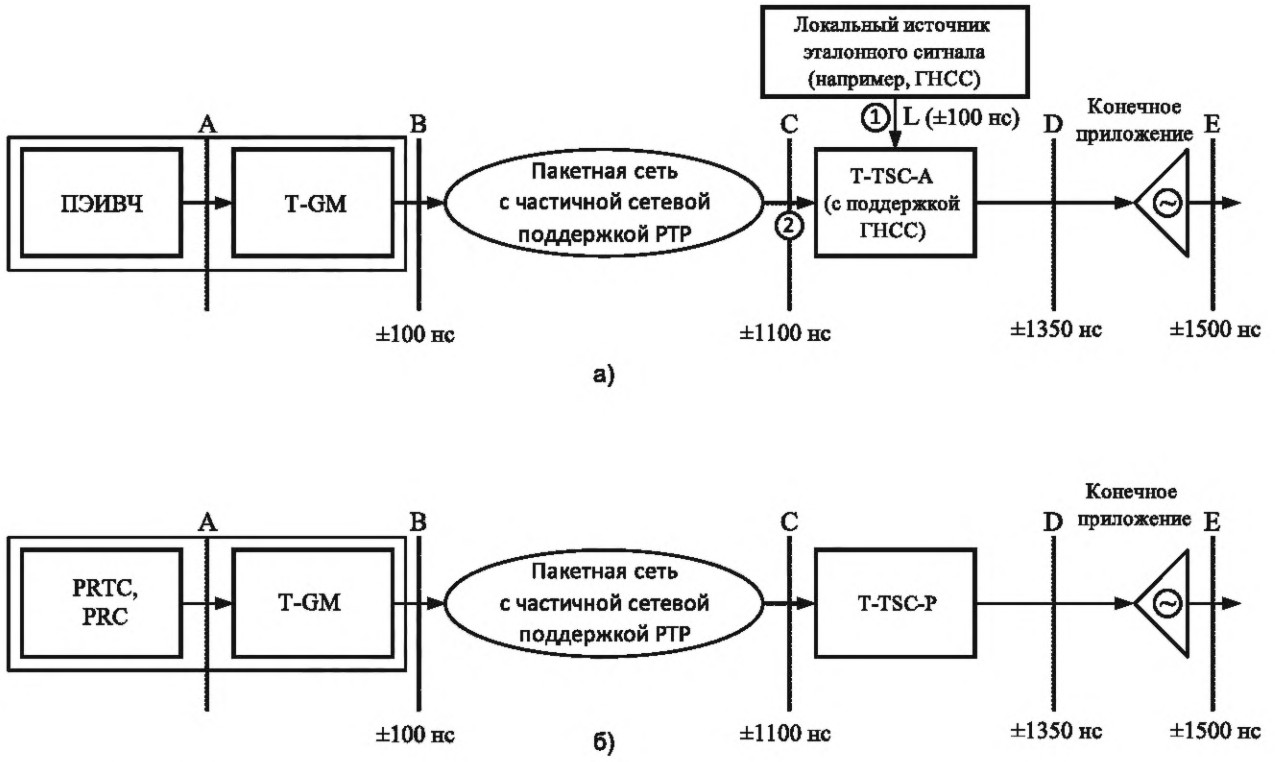


Рисунок 19 — Сетевая модель опорных точек для телекоммуникационного профиля PTP (см. [17])

При использовании телекоммуникационных профилей PTP (см. [16], [17]) система ЧВО должна включать в себя сетевые элементы, поддерживающие передачу сигналов тактовой синхронизации на физическом уровне (технология SyncE). При использовании систем DWDM с преобразованием OTU следует применять синхронный метод OTU преобразования для передачи частотной синхронизации в оптическом канале.

При одновременном наличии в сетях связи сегментов с сетевой поддержкой PTP и без сетевой поддержки PTP допускается совместное использование телекоммуникационных профилей PTP (см. [16], [17]) при условии, что оборудование СШВ, разграничивающее соответствующие сегменты сети, обеспечивает возможность одновременной поддержки указанных телекоммуникационных профилей PTP.

Сигналы тактовой синхронизации формируются следующими техническими средствами ТСС и СШВ:

а) ПЭГ, уПЭГ, ПЭИВЧ, уПЭИВЧ;

б) ПЭИ, уПЭИ, гроссмейстерские часы при синхронизации от встроенного приемника сигналов ГНСС;

в) ВЗГ и МЗГ, при синхронизации от ПЭИ, уПЭИ, гроссмейстерских часов или от встроенного приемника сигналов ГНСС;

СТВ формируются следующими техническими средствами СШВ:

а) ПЭИВЧ, уПЭИВЧ;

б) гроссмейстерскими часами электросвязи PTP (T-GM) при синхронизации от встроенного приемника сигналов ГНСС;

в) гроссмейстерскими часами электросвязи PTP (T-GM) при получении данных о шкале времени от внешних источников с помощью сигналов 1PPS и кода времени (КВ или ToD);

г) ВЗГ и МЗГ со встроенными модулями формирования сигналов временно́й синхронизации (модули гроссмейстерских часов T-GM) по сигналам встроенного приемника сигналов ГНСС.

В качестве основной спутниковой системы, применяемой в качестве внешнего эталонного источника сигнала времени и частоты, следует использовать ГЛОНАСС. Иные спутниковые системы (например, GPS) допускается использовать для синхронизации оборудования сетей связи в качестве резервных при условии обеспечения приоритетного использования сигналов системы ГЛОНАСС в комбинированных приемниках сигналов ГНСС.

При использовании только ГНСС ГЛОНАСС необходимо в оборудовании T-GM вручную указывать разность между шкалами времени UTC и TAI. При этом необходимо поддерживать это значение в актуальном состоянии при введении или исключении добавленных секунд в шкале UTC.

Для формирования сигналов временно́й и тактовой синхронизации техническими средствами СШВ эталонные сигналы шкалы времени также могут быть получены непосредственно от ГЭВЧ по проводным каналам связи. Например, к ГЭВЧ могут быть подключены гроссмейстерские часы, сигналы синхронизации от которых будут передаваться потребителям через сеть передачи данных с сетевой поддержкой PTP.

Система ЧВО должна обеспечиваться эталонными сигналами синхронизации от основного и резервных источников синхронизации.

Цепи временно́й синхронизации образуются:

а) для телекоммуникационного профиля PTP (см. [9]) — оборудованием СШВ и оборудованием пакетной сети, через которое непосредственно передаются сигналы синхронизации от ПЭИВЧ к потребителю;

б) для телекоммуникационного профиля PTP (см. [16]) — техническими средствами СШВ, оборудованием пакетной сети со встроенной сетевой поддержкой PTP, через которое непосредственно передаются сигналы синхронизации от ПЭИВЧ к потребителю. Сигналы синхронизации частоты должны передаваться на физическом уровне с использованием SyncE;

в) для телекоммуникационного профиля PTP (см. [17]) — техническими средствами СШВ, оборудованием пакетной сети, не обеспечивающим сетевую поддержку PTP, через которое непосредственно передаются сигналы синхронизации от ПЭИВЧ к потребителю. Сигналы синхронизации частоты должны передаваться на физическом уровне с использованием SyncE.

Допустимое количество промежуточных элементов (между эталонным источником и потребителем сигналов синхронизации) в цепях синхронизации определяется используемым телекоммуникационным профилем PTP и классом оборудования СШВ и приведено в таблице 1. Соответствующие эталонные модели цепей синхронизации приведены в приложении Г.

В случае комбинированного применения телекоммуникационных профилей PTP (см. [16], [17]) допустимое количество промежуточных элементов определяется по величине допустимой ошибки времени в конце цепи синхронизации. Для телекоммуникационного профиля PTP (см. [17]) количество промежуточных элементов определяется экспериментально для каждой конкретной сети связи по величине допустимых ошибок в конце цепи синхронизации.

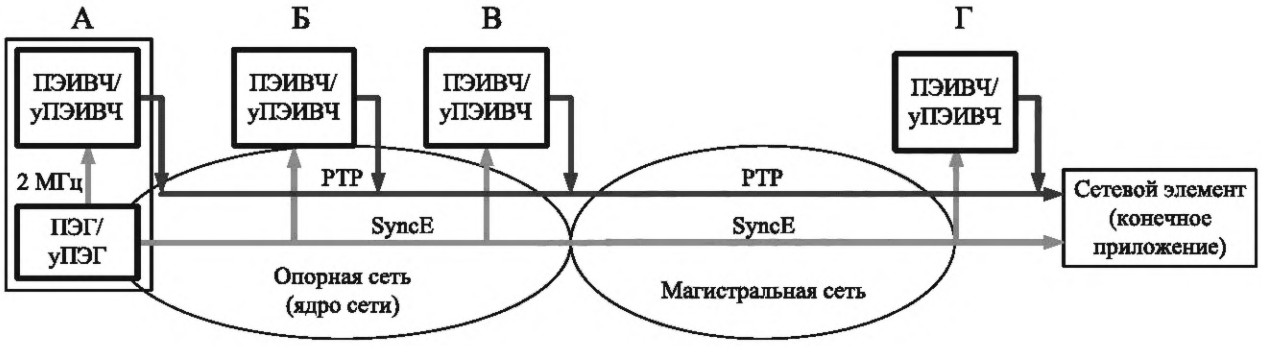
Таблица 1 — Допустимое количество элементов в цепях синхронизации СШВ

Класс оборудования (T-BC, T-TSC)	Телекоммуникационный профиль	Допустимое количество промежуточных элементов
—	См. [9]	Не нормировано*
A	См. [16]	1) 10 граничных часов (T-BC) при условии, что ведомые часы (T-TSC) встроены в конечное оборудование 2) девять граничных часов (T-BC) и одни ведомые часы (T-TSC), являющиеся внешними по отношению к конечному оборудованию
B	См. [16]	1) 20 граничных часов (T-BC) при условии, что ведомые часы (T-TSC) встроены в конечное оборудование 2) 19 граничных часов (T-BC) и одни ведомые часы (T-TSC), являющиеся внешними по отношению к конечному оборудованию
C	См. [16] (для сети 5G)	1) 10 граничных часов (T-BC) при условии, что ведомые часы (T-TSC) встроены в конечное оборудование 2) девять граничных часов (T-BC) и одни ведомые часы (T-TSC), являющиеся внешними по отношению к конечному оборудованию
D	См. [16] (для сети 5G)	1) 20 граничных часов (T-BC) при условии, что ведомые часы (T-TSC) встроены в конечное оборудование 2) 19 граничных часов (T-BC) и одни ведомые часы (T-TSC), являющиеся внешними по отношению к конечному оборудованию
C, D	См. [16] (для сети 4G)	Количество часов в цепи синхронизации может быть более 20*
A, B	См. [17]	Не нормировано*
* Определяется для конкретного проекта сети по величине допустимых ошибок в конце цепи синхронизации.		

Допустимое количество прозрачных часов (T-TC) в цепях синхронизации СШВ при использовании телекоммуникационного профиля PTP в соответствии с телекоммуникационным профилем PTP (см. [16]), соответствует допустимому количеству граничных часов (T-BC) соответствующего класса.

5.2 Типовые решения по построению системы синхронизации сигналов в сетях связи с коммутацией пакетов

Структура системы ЧВО, построенная на базе протокола PTP и SyncE, для оборудования средств связи территориально разнесенных объектов, может быть как централизованной, так и децентрализованной в зависимости от места расположения ПЭИВЧ/уПЭИВЧ (см. рисунок 20).



А, Б, В — централизованное построение системы ЧВО;
Г — децентрализованное построение системы ЧВО

Рисунок 20 — Структуры централизованного и децентрализованного построения ССС

Для случая А (см. рисунок 20) ПЭИВЧ/уПЭИВЧ устанавливается в опорной сети и может получать эталонную частоту от ПЭГ/уПЭГ. ПЭИВЧ/уПЭИВЧ и ПЭГ/уПЭГ могут быть интегрированы в одно оборудование. Сигналы синхронизации от ПЭИВЧ/уПЭИВЧ подаются на гроссмейстерские часы (T-GM) и далее через опорную и магистральную сети с использованием PTP доставляются до сетевого элемента, требующего синхронизации (конечного приложения), которым, например, может быть БС.

Для случая Б (см. рисунок 20) ПЭИВЧ/уПЭИВЧ устанавливается в опорной сети, но эталонную частоту получает не от ПЭГ/уПЭГ, а от ВЗГ. Как правило, в данном случае в состав ВЗГ включается приемник сигналов ГНСС. ПЭИВЧ/уПЭИВЧ и ВЗГ могут быть интегрированы в одно оборудование. Дальнейшая передача сигналов синхронизации от ПЭИВЧ/уПЭИВЧ осуществляется аналогично случаю А.

Для случая В (см. рисунок 20) ПЭИВЧ/уПЭИВЧ устанавливается в месте агрегации трафика. Так же, как и для случая Б эталонная частота поступает от ВЗГ, который, как правило, снабжается приемником сигналов ГНСС. Далее сигналы синхронизации от ПЭИВЧ/уПЭИВЧ подаются на гроссмейстерские часы (T-GM) и через магистральную сеть с использованием PTP доставляются до сетевого элемента, требующего синхронизации (конечного приложения), которым, например, может быть БС.

Для случая Г (см. рисунок 20) ПЭИВЧ/уПЭИВЧ устанавливается непосредственно на границе сети, к которой подключаются сетевые элементы, требующие синхронизации (конечного приложения). В данном случае эталонный сигнал синхронизации непосредственно передается от ПЭИВЧ/уПЭИВЧ к сетевому элементу (например, базовой станции) без использования PTP.

Варианты централизованного построения системы ЧВО на основе протокола PTP с полной сетевой поддержкой показаны на рисунке 21:

- вариант «а)» иллюстрирует централизованное построение системы ЧВО с использованием ПЭИВЧ (уПЭИВЧ), получающего эталонные сигналы от приемника сигналов ГНСС;
- вариант «б)» иллюстрирует централизованное построение системы ЧВО с использованием ЭСЧВ ГСВЧ, передаваемого по проводным каналам связи.

Для обеспечения надежности функционирования системы ЧВО в ее составе должно быть обеспечено резервирование эталонных источников времени путем установки не менее двух территориально разнесенных эталонных источников частоты и времени. При этом основной и резервные эталонные источники частоты и времени должны быть доступны по сети для потребителей сигналов синхронизации. При определении местоположения резервного источника необходимо учитывать требования по допустимому количеству элементов в цепях синхронизации СШВ (см. таблицу 1).

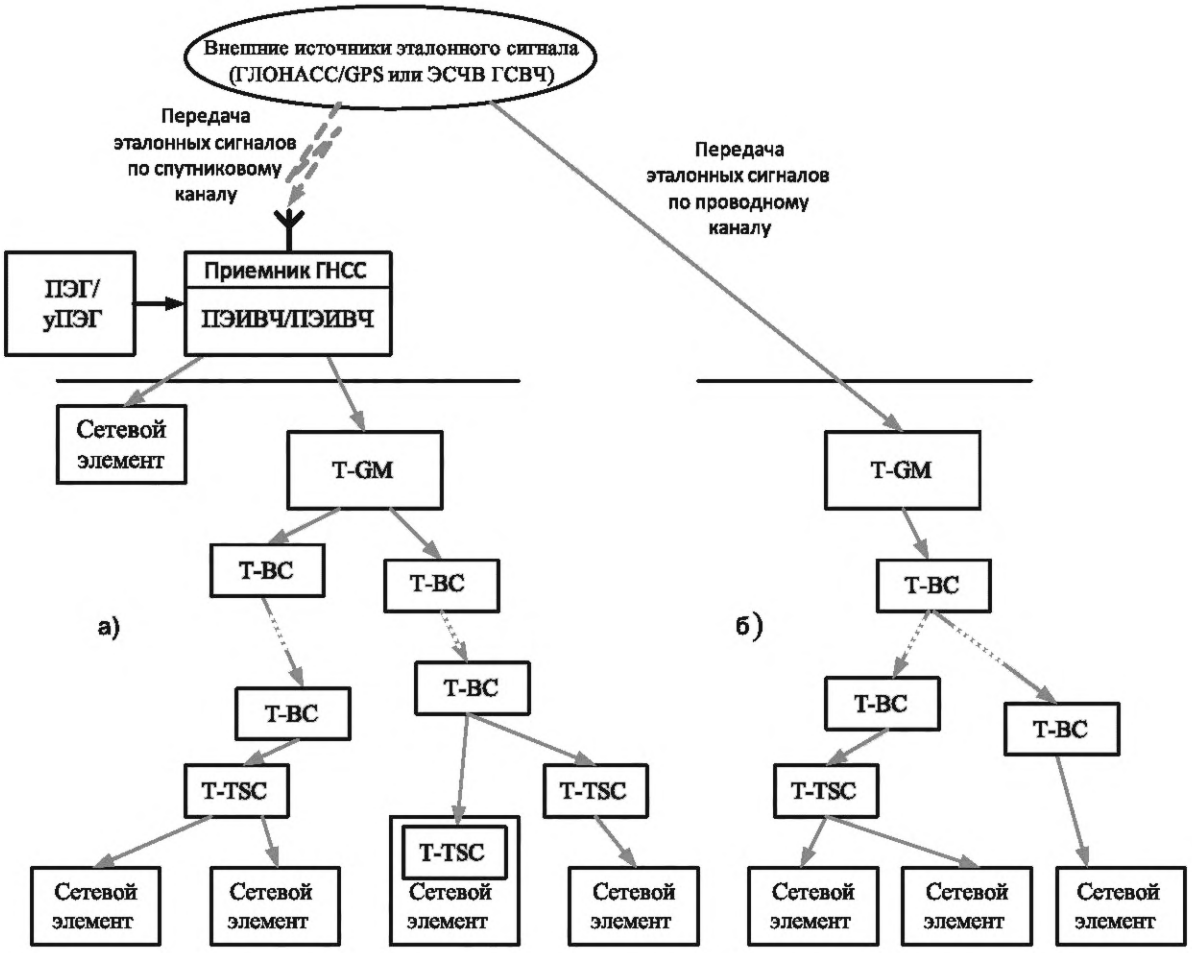


Рисунок 21 — Варианты централизованного построения системы ЧВО

5.3 Рекомендации по построению системы синхронизации сигналов в сетях связи с коммутацией пакетов

Возможны следующие варианты получения СТВ для пакетных сетей:

а) оснащение всех объектов в пакетной сети, которым требуется доставка сигнала синхронизации, ПЭИВЧ (например, приемниками сигналов ГНСС, которые непосредственно подключаются к каждой БС);

б) организация сети распространения сигнала синхронизации частоты и времени на основе собственной сети передачи данных, обеспечивающей сетевую поддержку PTP, а также поддержку SyncE;

в) получение сигнала синхронизации из сети Интернет.

Рекомендуется второй вариант получения СТВ, так как:

- первый вариант получения СТВ на основе ГНСС не обеспечивает гарантированную доставку сигнала синхронизации при потере эталонного сигнала от приемника ГНСС;
- третий вариант получения СТВ из сети Интернет основан на применении NTP и позволяет обеспечить точность синхронизации времени не более 1 мс.

При проектировании системы ЧВО рекомендуется учитывать следующие правила и требования:

- сетевые элементы, включенные в цепь синхронизации, должны обеспечивать сетевую поддержку PTP на аппаратном уровне, то есть имеющие в своем составе граничные (T-BC) или прозрачные (T-TC) часы, а также должны поддерживать SyncE;
- количество граничных/прозрачных часов в цепях синхронизации между гроссмейстерскими часами (T-GM) и ведомыми часами (T-TSC) не должно превышать количества, которое определяется классом часов в применяемом коммутационном оборудовании (см. таблицу 1);
- при использовании оборудования DWDM для передачи трафика PTP преимущественно должны использоваться выделенные оптические каналы;

- все ведомые часы должны быть настроены на прием сообщений PTP только от проверенных (достоверных) источников;

- необходимо обеспечить защиту элементов системы ЧВО от злонамеренного трафика и сетевых атак.

Сеть на базе DWDM подвержена асимметрии, вызванной отдельными волокнами для передачи и приема, регенерацией сигнала, разницей частот между оптическими каналами и другими причинами, что может приводить к значительному совокупному влиянию на перенос сигналов шкалы времени. Для снижения влияния асимметрии рекомендуется обеспечивать двунаправленную передачу трафика PTP по одному волокну.

При проектировании ССС на базе PTP рекомендуется:

- максимально сокращать количество переходов между гроссмейстерскими часами и потребителями сигналов синхронизации для минимизации ошибок подстройки шкалы времени;

- учитывать максимальное количество активных потребителей, которые могут обслуживаться одним T-GM, чтобы исключить перегрузку резервного T-GM в случае переключения на него потребителей по причине сбоя основного T-GM (максимальное количество потребителей, поддерживаемых T-GM, определяется по эксплуатационной документации на T-GM);

- настроить максимально возможную частоту сообщений синхронизации с учетом обеспечения требуемой точности синхронизации времени и с минимизацией необходимой пропускной способности сети связи.

6 Требования к системам синхронизации сигналов в сетях связи четвертого и пятого поколений

6.1 Требования к архитектуре построения

Архитектура построения ССС определяется архитектурой транспортной сети передачи данных, применяемой для построения сети радиодоступа.

В зависимости от поколения сети ПРТС сеть радиодоступа включает:

а) EPC и БС (eNodeB), состоящие из BBU и RRH. Для подключения eNodeB к EPC используют магистральную сеть (backhaul) (см. рисунок 22);

б) EPC, BBU и RRH. Для подключения BBU к EPC используют магистральную сеть (backhaul). Для подключения RRH к BBU используют сеть доступа (fronthaul) с радиоинтерфейсом CPRI (см. рисунок 23);

в) CU, DU и RRU, в совокупности образующих C-RAN. Транспортная сеть передачи данных, обеспечивающая соединение элементов CU, DU и RRU, в общем случае включает магистральный сегмент (backhaul), сегмент предагрегации и агрегации (middlehaul), сегмент доступа (fronthaul) (см. рисунок 24).

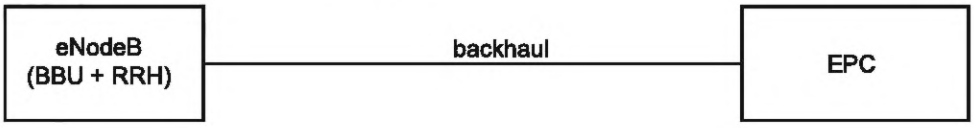


Рисунок 22 — Обобщенная структура сети радиодоступа, вариант с объединенной БС (сеть 4G)

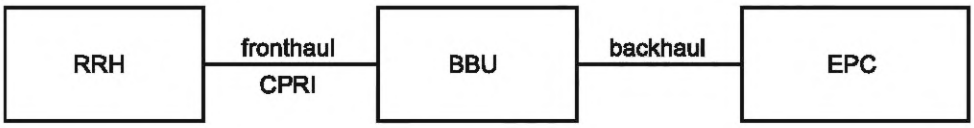


Рисунок 23 — Обобщенная структура сети радиодоступа, вариант с разделенной БС (сеть 4G)

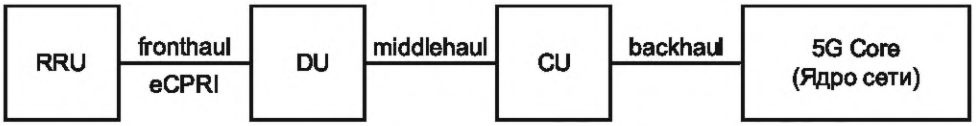


Рисунок 24 — Обобщенная структура централизованной сети радиодоступа (сеть 5G)

Основное отличие архитектур построения сетей радиодоступа заключается в декомпозиции и разнесении отдельных элементов. Для общности описания архитектуры построения системы ЧВО дальнейшее изложение материала будет выполнено применительно к сетям 5G с указанием особенностей для сетей 4G.

Обобщенная архитектура построения системы ЧВО приведена на рисунке 25.

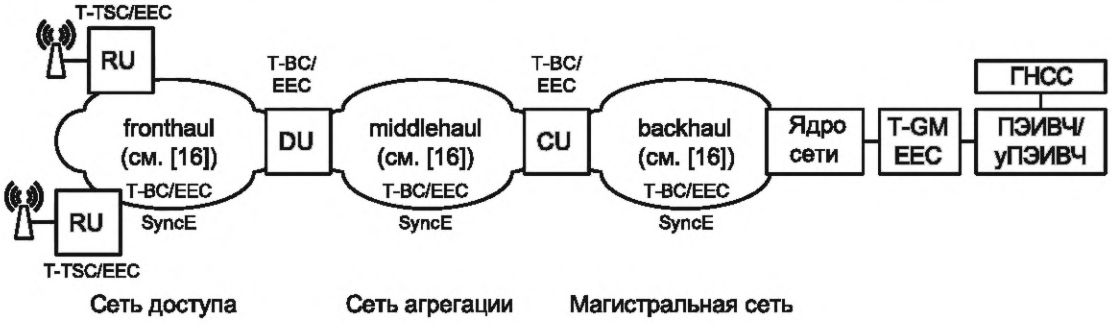


Рисунок 25 — Построение ССС для C-RAN

Для C-RAN должно применяться оборудование, поддерживающее телекоммуникационный профиль PTP (см. [16]). Для RAN сетей 4G при наличии технической возможности рекомендуется применять оборудование, поддерживающее телекоммуникационный профиль PTP (см. [16]).

Сегмент доступа (fronthaul) представляет домен, ориентированный на использование интерфейсов CPRI/Ethernet (для сети 4G) или eCPRI/Ethernet (для сети 5G), в которых коммутаторы Ethernet должны поддерживать необходимые стандарты синхронизации, SyncE и соответствовать требованиям для граничных часов T-BC класса C для поддержки как абсолютных, так и относительных бюджетов фазовых ошибок, определенных в рекомендациях МСЭ-Т.

Сегменты midhaul и backhaul представляют IP-ориентированные домены, в которых любые IP-маршрутизаторы должны поддерживать необходимые стандарты синхронизации, SyncE и соответствовать граничным часам T-BC класса B или C.

Децентрализованная сеть радиодоступа (D-RAN) предполагает децентрализованное размещение оборудования БС (см. рисунок 26). В сети данного типа сегменты midhaul и backhaul совмещены, распределенные (DU) и центральные (CU) блоки размещаются на уровне сети доступа.

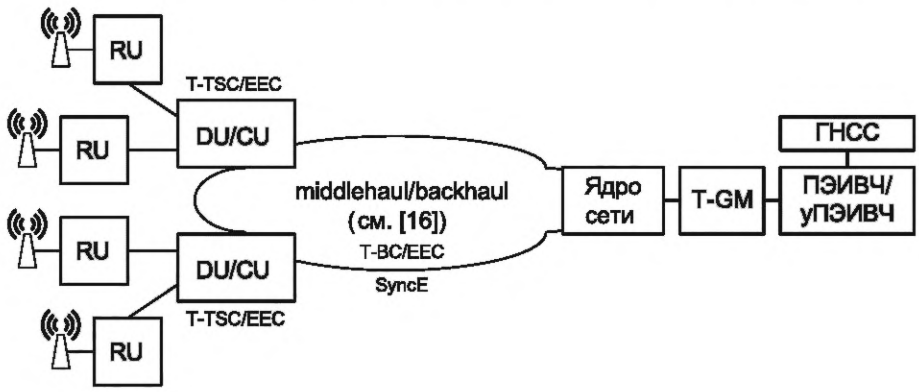


Рисунок 26 — Построение ССС для D-RAN

Для случая построения ССС для сети 5G требуется полная поддержка синхронизации со стороны сети доступа и все сетевое оборудование сети доступа должно участвовать в поддержке PTP и реализовывать телекоммуникационный профиль PTP (см. [16]). При этом сеть синхронизации сигналов должна включать только граничные часы T-BC.

Для сетей четвертого поколения с режимом FDD может применяться телекоммуникационный профиль PTP (см. [9]) для целей обеспечения частотной синхронизации оконечных устройств (БС или шлюзов пакетной сети в сети с коммутацией каналов).

Для сетей четвертого поколения с временным разделением каналов (LTE-A в режиме TDD) должен применяться PTP с телекоммуникационными профилями PTP (см. [16], [17]). Более предпочтительным является вариант применения телекоммуникационного профиля PTP (см. [16]).

Для сети 5G должен применяться телекоммуникационный профиль PTP (см. [16]).

6.2 Типовые решения по построению системы синхронизации сигналов в сетях связи четвертого и пятого поколений

Типовые решения по построению ССС определяют конфигурацию и приведены на рисунках 27—30.

Конфигурация С1 (см. рисунок 27) предполагает, что синхронизация обеспечивается от центрального блока (lls-CU) к RRU напрямую по топологии точка—точка между центральным и удаленным блоками.

Конфигурация С2 (см. рисунок 28) предполагает, что синхронизация обеспечивается от центрального блока (lls-CU) к RRU, причем между центральными и удаленными блоками в сегменте доступа (fronthaul) (между центральными и удаленными блоками) располагаются Ethernet-коммутаторы с поддержкой SyncE. Для сети 5G следует использовать Ethernet-коммутаторы, оснащенные eEEC.

Конфигурация С3 (см. рисунок 29) предполагает, что синхронизация обеспечивается от ПЭИВЧ/T-GM как центральных блоков (lls-CU), так и RRU. В сегменте доступа (fronthaul) располагаются Ethernet-коммутаторы с поддержкой SyncE. Для сети 5G следует использовать Ethernet-коммутаторы, оснащенные eEEC.

Конфигурация С4 (см. рисунок 30) предполагает, что синхронизация RRU осуществляется от внутреннего источника синхронизации, синхронизируемого от ПЭИВЧ, приемника эталонных сигналов синхронизации, поступающих непосредственно от приемника ГНСС. В данном случае PTP не применяется.



Рисунок 27 — Конфигурация С1

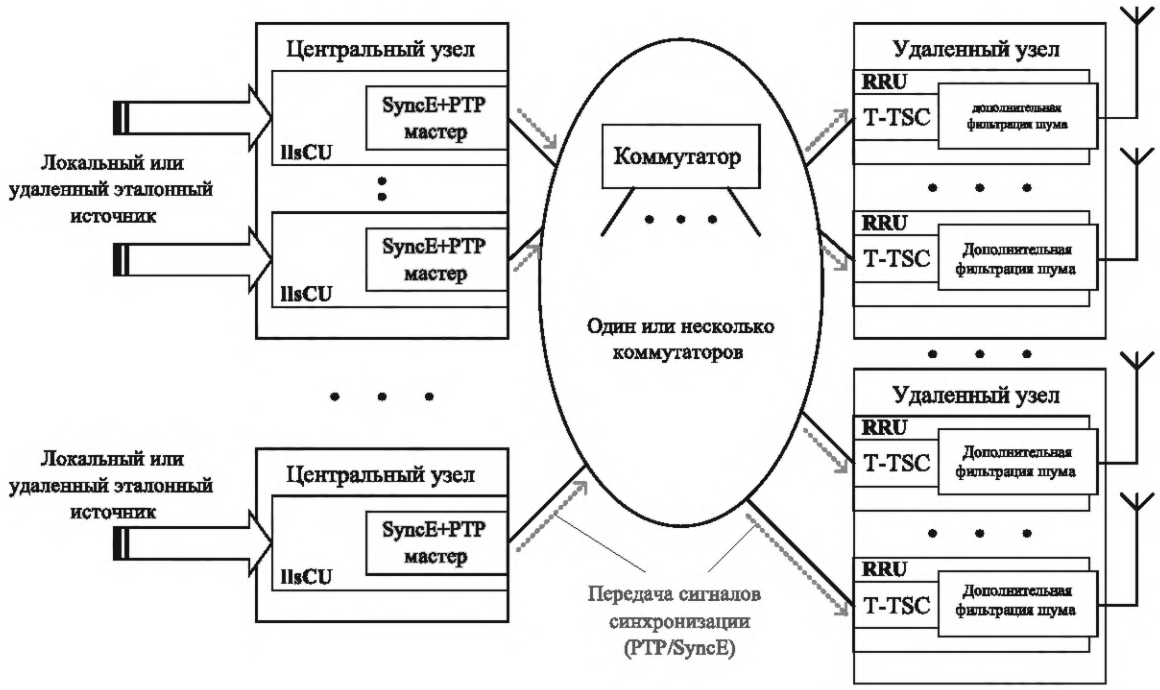


Рисунок 28 — Конфигурация С2

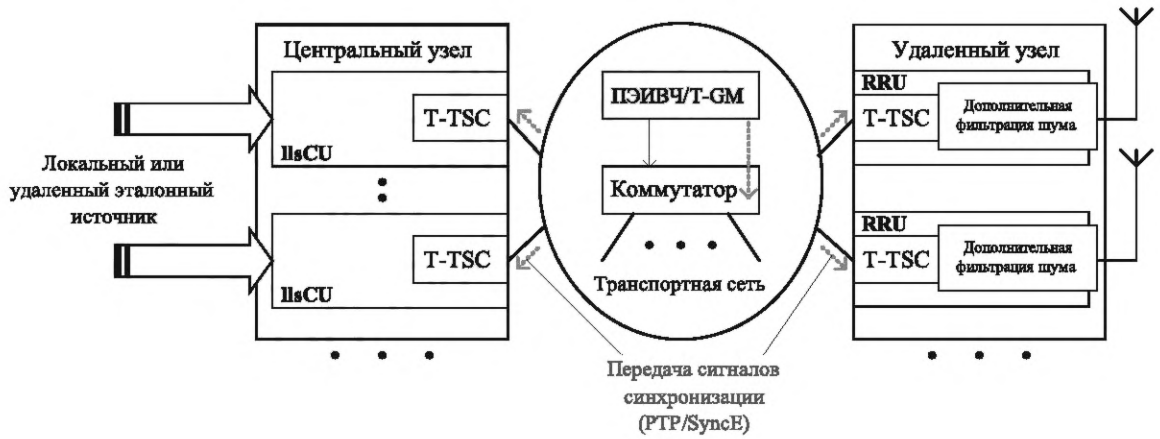


Рисунок 29 — Конфигурация С3

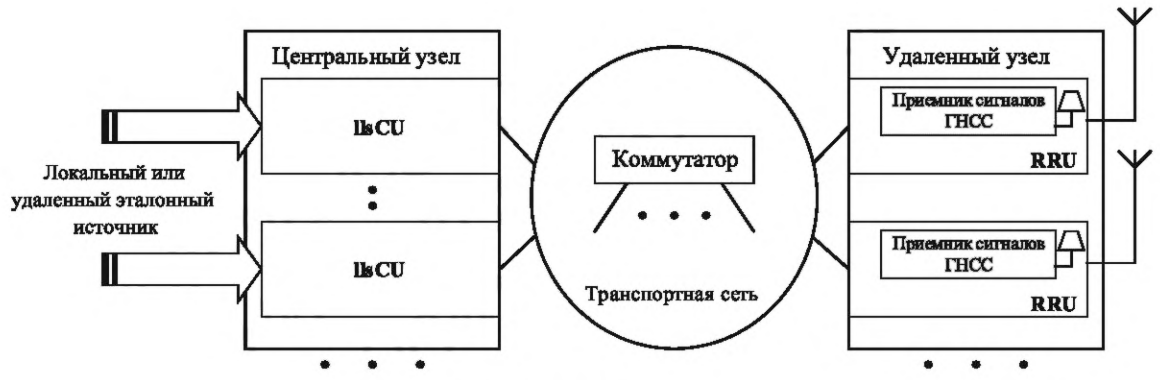


Рисунок 30 — Конфигурация С4

Конфигурации С1 — С3 с учетом требований к точности синхронизации сигналов и архитектурой построения сети могут поддерживать SyncE, а также телекоммуникационный профиль PTP (см. [16]) с полной сетевой поддержкой PTP (обязателен для сетей 5G, рекомендован для сетей 4G) или телекоммуникационный профиль PTP (см. [17]) с частичной сетевой поддержкой PTP (может применяться для сетей 4G, но не рекомендован к использованию), используя в качестве технической поддержки для улучшения точности синхронизации граничные или прозрачные часы.

Конфигурации С1 и С2 (см. рисунки 27 и 28) применяются при организации ССС с использованием синхронного Ethernet (PTP + SyncE); конфигурации С2 и С3 характеризуются наличием коммутаторов между центральными и удаленными узлами, а конфигурация С3 — расположением ПЭИВЧ/уПЭИВЧ.

Представленная на рисунке 27 конфигурация С1 с прямой трансляцией сигнала синхронизации от центрального узла к удаленному узлу по топологии точка—точка между центральным и удаленным блоками и с использованием поддержки SyncE может применяться на начальном этапе с последующим масштабированием и переходом к конфигурации С2.

В качестве предпочтительного подхода рекомендуется использовать конфигурацию С3. Данная конфигурация предполагает организацию синхронизации всей сети сегмента доступа (fronthaul). При этом через центральный узел, который синхронизируется от локального или удаленного эталонного источника, с выхода ведущих часов (T-GM) при использовании поддержки SyncE через сегмент доступа (fronthaul) передается сигнал синхронизации на ведомые часы удаленного узла БС, где также осуществляется фильтрация фазового шума. В данном варианте конфигурации коммутаторы транспортной сети также получают сигнал синхронизации от первичного эталонного источника частоты и времени.

6.3 Рекомендации по построению системы синхронизации сигналов в сетях связи четвертого и пятого поколений

Основным принципом планирования и оптимизации структуры системы ЧВО для сетей связи четвертого и пятого поколений является учет вариантов развертывания БС. Варианты развертывания определяются наличием возможности уверенного и надежного приема сигналов от ГНСС.

Перечень вариантов развертывания, а также требуемых видов и методов синхронизации, приведен в таблице 2.

Таблица 2 — Виды и методы синхронизации для различных вариантов развертывания БС

Вариант развертывания сети 5G	Управление помехами в сети 5G	Требуемые виды синхронизации	Методы синхронизации
Плотная городская застройка	Необходимо	Частотная и временна́я синхронизации	ГНСС или PTP
Плотная городская застройка, внутри зданий (офисы, предприятия)	Необходимо	Частотная и временна́я синхронизация	Нет видимости для ГНСС, переход к ССС на основе PTP
Пригородная застройка, внутри жилых зданий	Необходимость отсутствует	Используется TDD, необходима частотная и временна́я синхронизации	Нет видимости для ГНСС, необходима синхронизация методом PTP
Пригородная (сельская) застройка	Необходимость отсутствует	Частотная синхронизация	ГНСС

Приложение А
(справочное)

Типовая архитектура построения системы синхронизации шкалы времени на базе NTP

А.1 Система СШВ на базе NTP имеет иерархическое построение и включает 16 уровней (страт) с 1 по 16 (см. рисунок А.1). Более низкое значение уровня (страты) представляет более высокую точность. Часы NTP на уровнях с 1 по 15 находятся в синхронизированном состоянии, часы NTP на уровне 16 не синхронизированы. Каждый последующий уровень получает сигналы синхронизации от предыдущего уровня. Нулевой уровень образуют эталонные источники времени, к которым относятся, например, приемники сигналов ГНСС, атомные часы.

А.2 Часы NTP на нижележащих уровнях являются ведомыми по отношению к вышестоящим часам NTP (ведущим). Каждые ведомые часы NTP могут получать сигналы синхронизации от нескольких ведущих часов NTP. Выбор источника синхронизации ведомыми часами NTP осуществляется на основе страты, информация о которой содержится в сообщениях, передаваемых часами NTP.

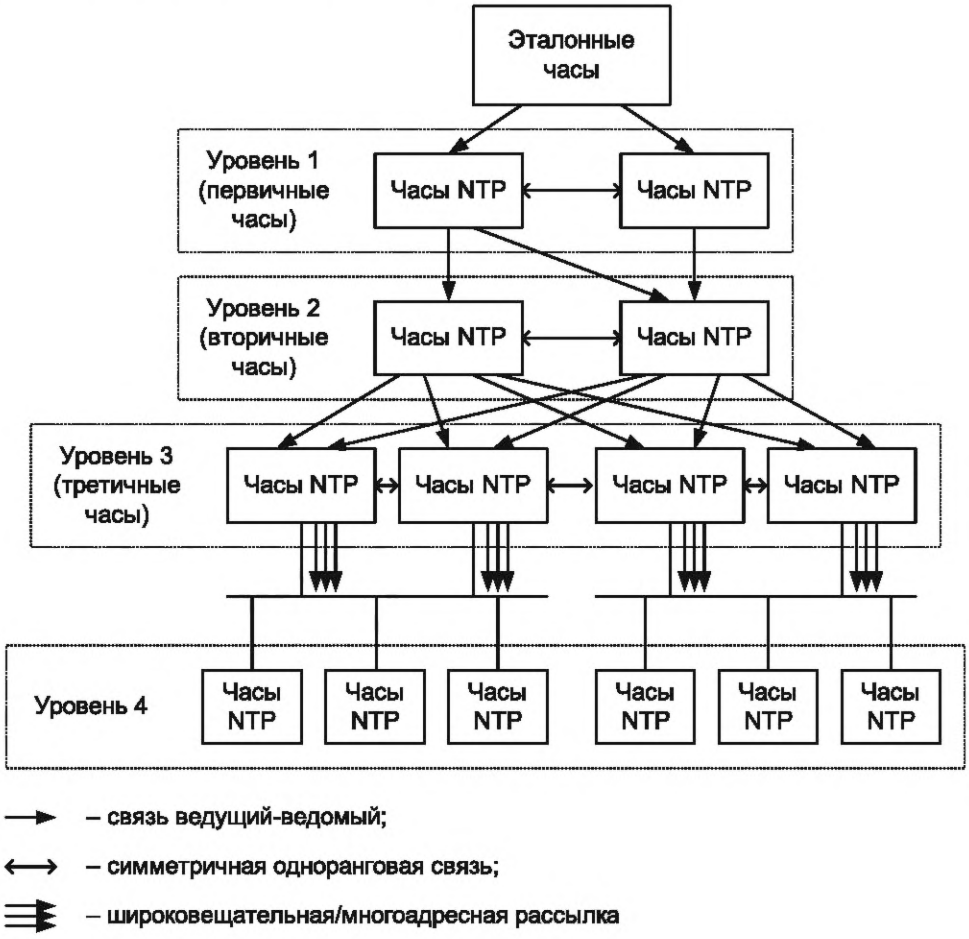


Рисунок А.1 — Типовая архитектура построения системы синхронизации шкалы времени на базе NTP

Приложение Б
(справочное)

Типовые решения по построению систем тактовой сетевой синхронизации

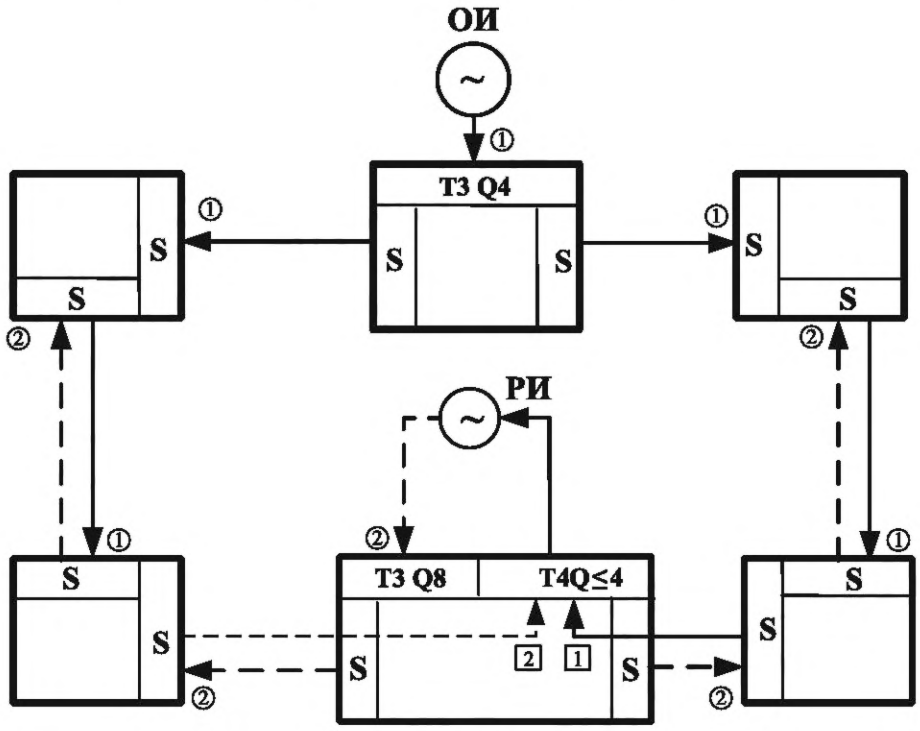


Рисунок Б.1 — Рекомендуемая схема синхронизации кольцевой транспортной сети с количеством сетевых элементов не более 20 (вариант 1)

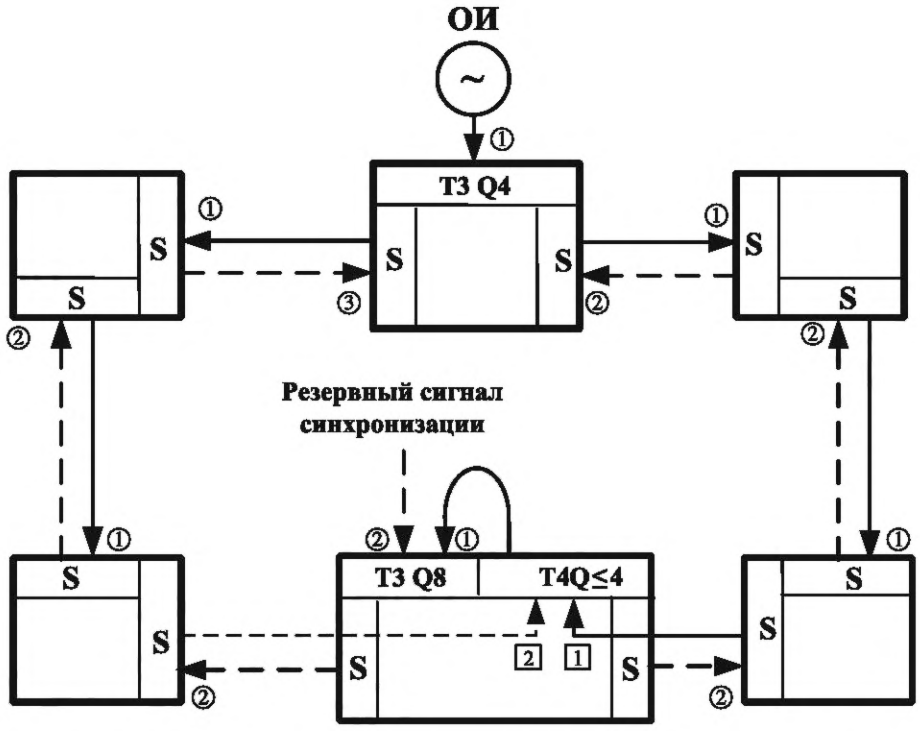


Рисунок Б.2 — Рекомендуемая схема синхронизации кольцевой транспортной сети с количеством сетевых элементов не более 20 (вариант 2)

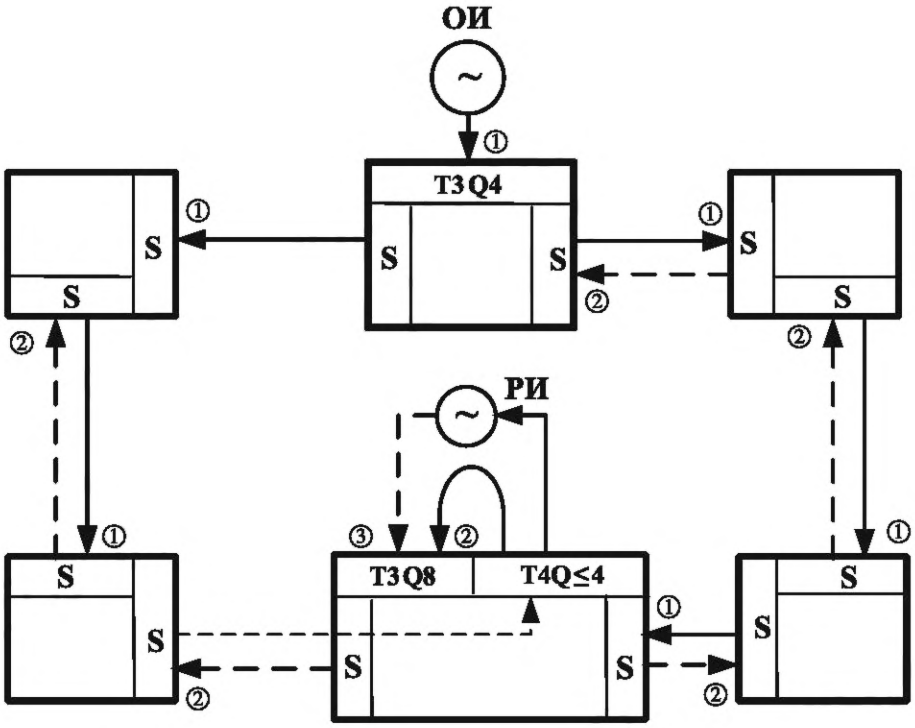


Рисунок Б.3 — Рекомендуемая схема синхронизации кольцевой транспортной сети с количеством сетевых элементов не более 20 (вариант 3)

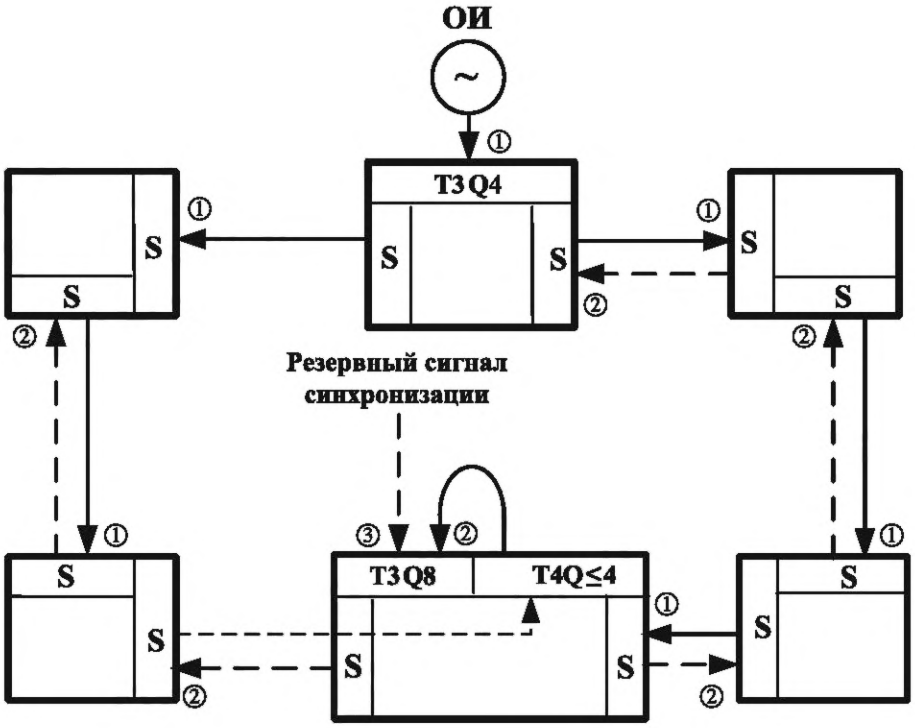


Рисунок Б.4 — Рекомендуемая схема синхронизации кольцевой транспортной сети с количеством сетевых элементов не более 20 (вариант 4)

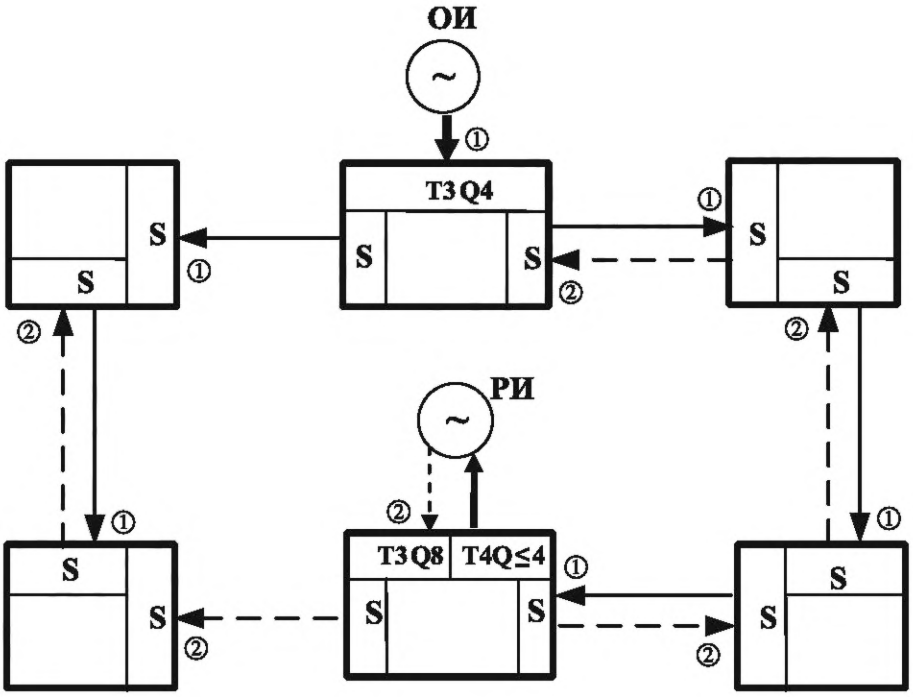
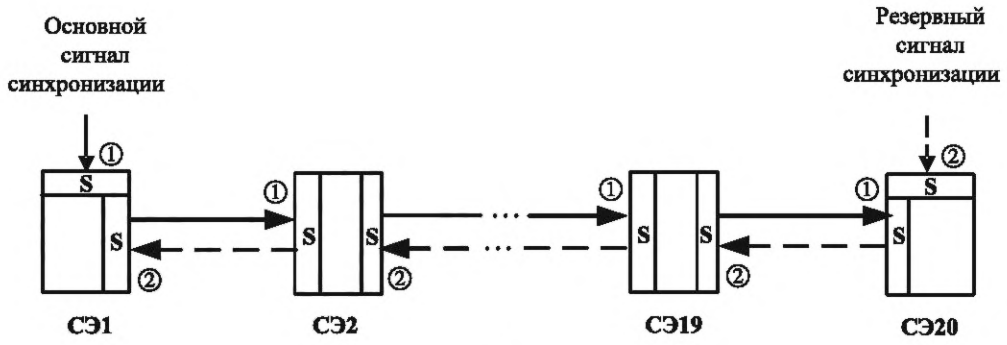
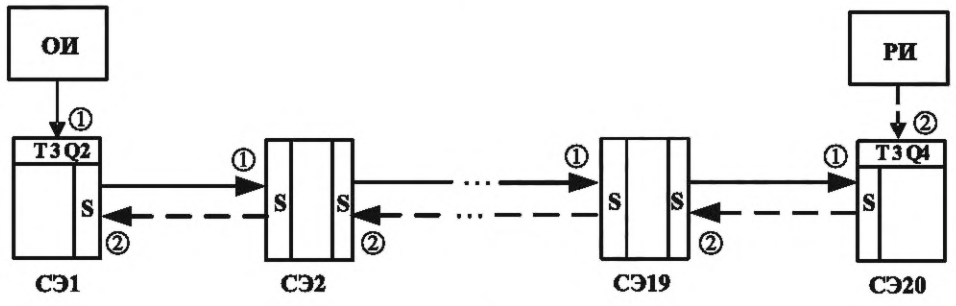


Рисунок Б.5 — Допускаемая для использования схема синхронизации кольцевой транспортной сети с количеством сетевых элементов не более 20 в каждом из полуколец

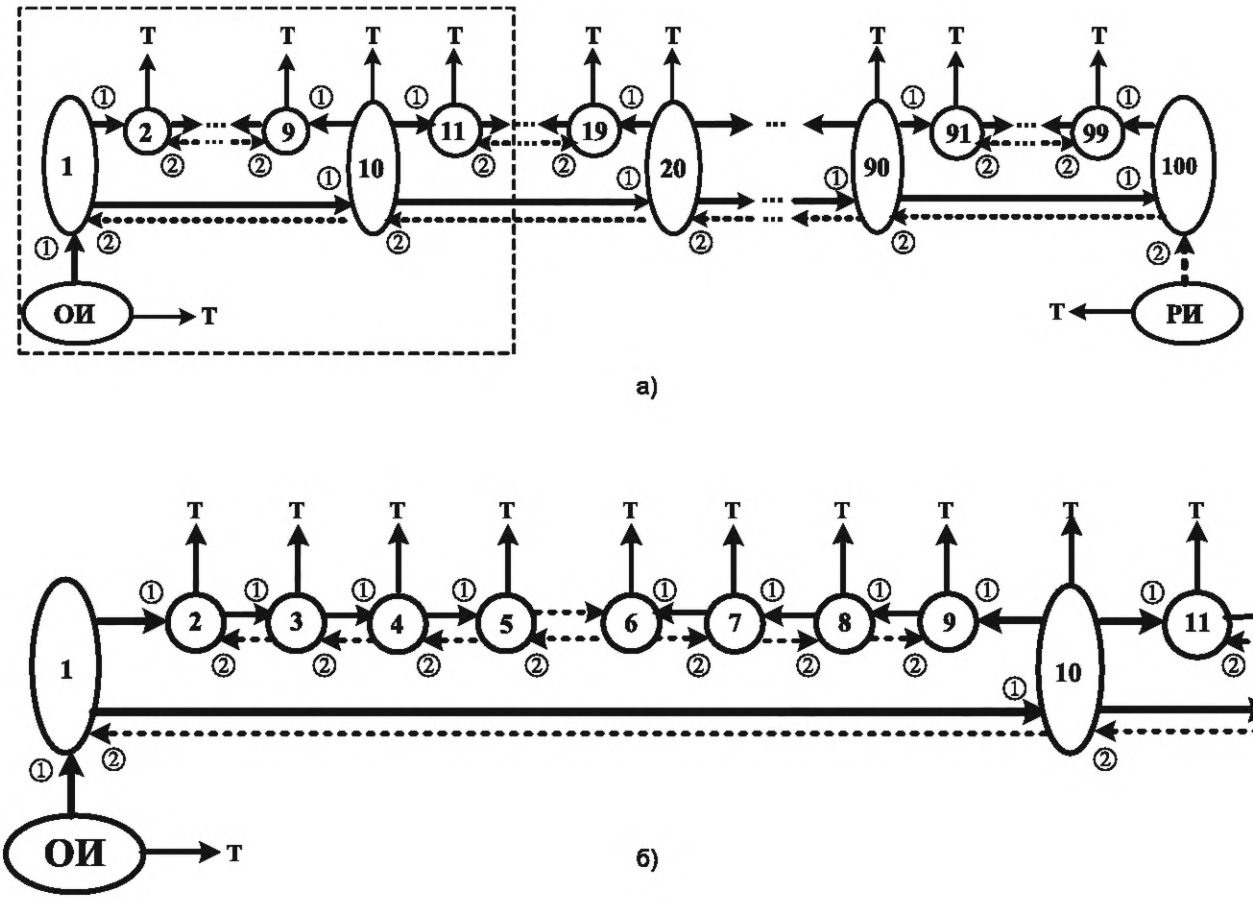


а)



б)

Рисунок Б.6 — Схемы синхронизации линейной транспортной сети с количеством сетевых элементов не более 20



Т — сигнал синхронизации для сетей более низкого уровня

Рисунок Б.7 — Схема синхронизации линейной транспортной сети, построенной по иерархическому принципу с количеством элементов до 100

Приложение В
(справочное)

Классификация часов системы временно́й синхронизации

Таблица В.1 — Классификация часов

Класс часов	Интерфейс	
	входной	выходной
ПЭИВЧ/уПЭИВЧ	ГНСС, 5, 10, 2,048 МГц, 2,048 Мбит/с	1PPS, ToD, 5*, 10, 2,048 МГц, 2,048 Мбит/с
Гроссмейстерские часы (T-GM)	1PPS, ToD, КВ, 5*, 10, 2,048 МГц, 2,048 Мбит/с	1PPS, ToD, PTP, 5*, 10, 2,048 МГц*, 2,048 Мбит/с
Прозрачные часы (T-TC)	PTP	PTP
Граничные часы (T-BC, T-BC-A, T-BC-P)	1PPS*, ToD*, PTP, 5*, 10, 2,048 МГц, 2,048 Мбит/с	1PPS, ToD, PTP, 5*, 10, 2,048 МГц*
Ведомые часы (T-TSC, T-TSC-A, T-TSC-P)	1PPS*, ToD*, PTP, 5, 10, 2,048 МГц, 2,048 Мбит/с	1PPS*, ToD*, 5*, 10*, 2,048 МГц*
* Необязательный интерфейс.		

Приложение Г
(справочное)

Эталонные модели цепей синхронизации

Г.1 Эталонные модели цепей синхронизации предназначены:

а) для определения оптимальной модели сети, подходящей для представления наихудшего случая доставки сигналов синхронизации с использованием граничных часов (T-BC);

б) определения сетевых норм и их соответствия требованиям к точности синхронизации по времени для различных классов потребителей (конечных приложений);

в) распределения бюджета ошибки по времени.

Г.2 Эталонные модели, приведенные в настоящем приложении, основаны на короткой и длинной цепях синхронизации. Количество часов в короткой цепи синхронизации равно 12. Количество часов в длинной цепи синхронизации равно 22.

Г.3 В эталонной модели, приведенной на рисунке Г.1, предполагается, что сигналы частоты и времени передаются с использованием PTP. T-GM выступает в качестве источника частоты и времени и может получать эталонные время и частоту от приемника сигналов ГНСС.

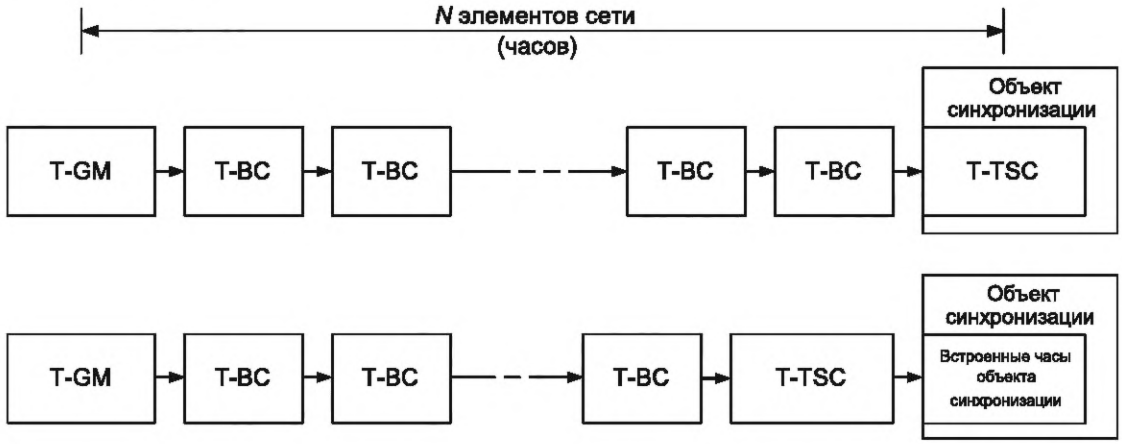


Рисунок Г.1 — Эталонная модель цепи синхронизации без поддержки SyncE

Г.4 В эталонной модели, приведенной на рисунке Г.2, предполагается, что сигналы времени передаются с использованием PTP. Сигналы частоты передаются на физическом уровне. Например, с использованием системы передачи СЦИ или SyncE.

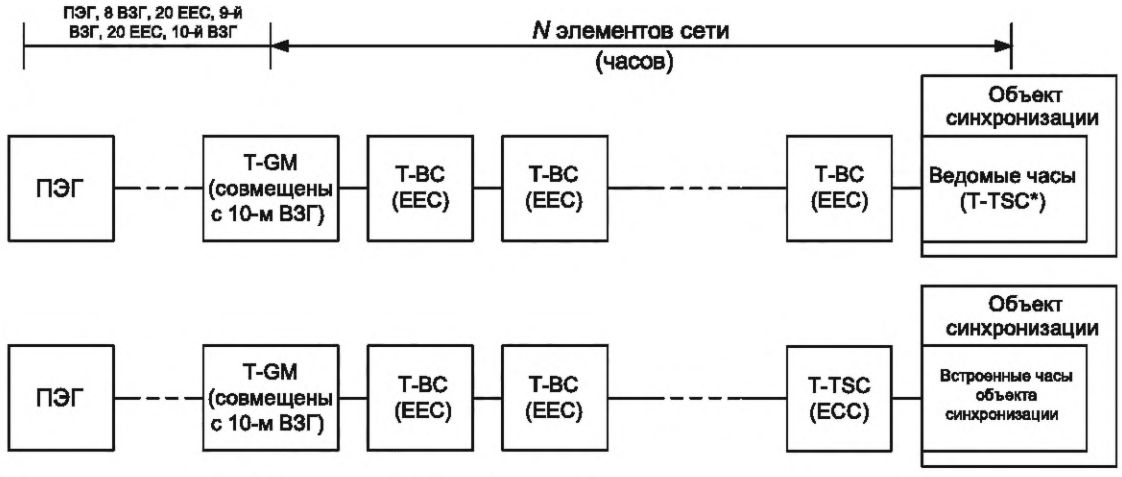


Рисунок Г.2 — Эталонная модель цепи синхронизации с поддержкой SyncE

Г.5 При использовании в цепи синхронизации прозрачных часов (T-TC) применяется эталонная модель, приведенная на рисунке Г.2. Максимальное количество последовательно включенных T-TC равно 8. T-TC преимущественно располагаются вблизи потребителя сигналов синхронизации. После T-TC могут быть установлены T-BC.

Г.6 Количество часов в цепях синхронизации зависит от класса применяемых часов.

Г.7 Эталонная модель цепи синхронизации на базе кластера приведена на рисунке Г.3.

Г.8 На рисунке Г.3 показаны:

- длинная цепь синхронизации, состоящая из *N* элементов сети (часов) и включающая T-GM, T-BC, совместно используемые потребителями сигналов синхронизации, T-BC, индивидуально используемые потребителями сигналов синхронизации (БС), и T-TSC;
- короткие цепи синхронизации, включающие до *M* элементов сети (часов), а именно: общие граничные часы (T-BC) и сегмент цепи синхронизации до конкретного потребителя сигналов синхронизации (БС) (предполагается, что зоны покрытия БС внутри одного кластера пересекаются, что требует согласования их работы).

Количество элементов сети (часов) в длинной цепи (*N*) не зависит от количества элементов сети (часов) в коротких цепях (*M*) и всегда их превосходит (*N* > *M*).

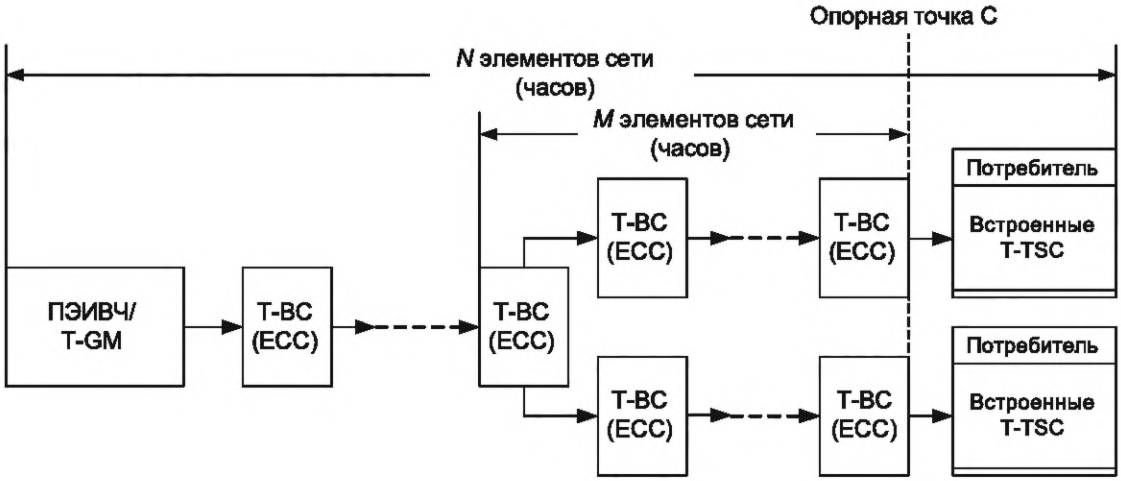


Рисунок Г.3 — Эталонная модель цепи синхронизации на базе кластера

Г.9 В соответствии с рисунком Г.3:

- общие T-BC считаются за 1, а T-TSC не учитывается в параметре *M*,
- T-GM, T-BC и T-TSC считаются за 1 в параметре *N*.

Г.10 Максимальное количество часов в короткой цепи (*M*) определяется конечным потребителем сигналов синхронизации (приложением), для которого установлены нормы на максимальную относительную ошибку времени. Например, это относится к БС, использующим технологии внутриполосной и межполосной агрегации несмежных несущих частот с или без MIMO или разнесения канала передачи, для которых установлена норма на максимальную относительную ошибку времени равная 260 нс.

Г.11 На рисунках Г.4 и Г.5 показаны модели цепей синхронизации, включающие участки с РРЛ. При расчете количества граничных часов в цепи синхронизации каждый ретранслятор учитывается за одни граничные часы.

Г.12 Для цепи синхронизации, приведенной на рисунке Г.4, количество граничных часов, учитываемых в расчетах, будет равно *N* + *M* + 1. Для цепи синхронизации, приведенной на рисунке Г.5, количество граничных часов, учитываемых в расчетах, будет равно *N* + 2*M*.

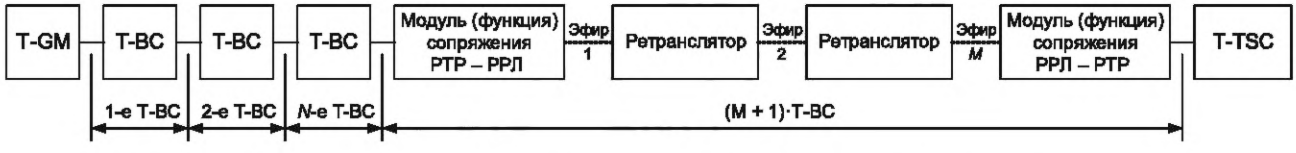


Рисунок Г.4 — Модель цепи синхронизации с протяженной РРЛ, включающей несколько ретрансляторов

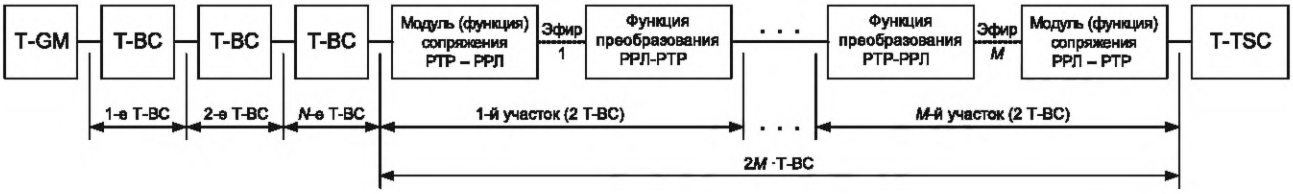


Рисунок Г.5 — Модель цепи синхронизации, включающей несколько коротких РРЛ

Г.13 На рисунке Г.6 приведена модель цепи синхронизации, включающей участок с оборудованием xPON или xDSL.

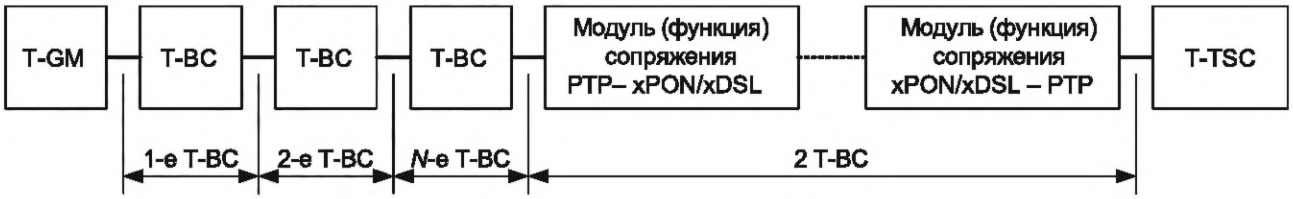


Рисунок Г.6 — Модель цепи синхронизации, включающей участок с оборудованием xPON или xDSL

Г.14 Модели, приведенные на рисунках Г.4 — Г.6 носят справочный характер и могут применяться при оценке помех, вносимых оборудованием РРЛ, xPON или xDSL.

Библиография

[1] МСЭ-Т G.811 (04/2016) Характеристики хронирования первичных эталонных генераторов. Поправка 1[1)]

[2] МСЭ-Т G.811.1 (08/2017) Характеристики хронирования улучшенного первичного эталонного генератора

[3] МСЭ-Т G.812 (06/2004) Характеристики хронирования задающих генераторов, пригодных для использования в качестве узловых генераторов сетей синхронизации

[4] МСЭ-Т G.813 (03/2003) Характеристики хронирования ведомых тактовых генераторов аппаратуры СЦИ (SEC)

[5] МСЭ-Т G.823 (03/2000) Управление джиттером и вандером на цифровых сетях, основанных на иерархии 2048 кбит/с

[6] МСЭ-Т G.8262/Y.1362 (03/2020) Характеристики хронирования ведомого тактового генератора синхронного оборудования. Поправка 1

[7] МСЭ-Т G.8262.1/Y.1362.1 (11/2022) Характеристики хронирования ведомого тактового генератора синхронного оборудования с улучшенными характеристиками

[8] МСЭ-Т G.8265/Y1365 (10/2010) Архитектура и требования для доставки значений частот в пакетном режиме

[9] МСЭ-Т G.8265.1/Y.1365.1 (11/2022) Телекоммуникационный профиль протокола точного времени для синхронизации по частоте

[10] Федеральный закон от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ «О связи»

[11] МСЭ-Т G.704 (10/98) Структуры синхронных циклов, используемых на уровнях иерархии 1544, 6312, 2048, 8448 и 44736 кбит/с

[12] МСЭ-Т G.781 (11/2022) Функции уровня синхронизации для частотной синхронизации на физическом уровне. Поправка 1

[13] МСЭ-Т G.803 (03/2000) Архитектура транспортных сетей, основанная на синхронной цифровой иерархии (СЦИ)

[14] МСЭ-Т G.8261/Y.1361 (08/2019) Синхронизация и аспекты синхронизации в пакетных сетях

[15] МСЭ-Т G.8251 (2022) Изм. 1 (06/2023) Контроль дрожания и блуждания в оптической транспортной сети (ОТС)

[16] МСЭ-Т G.8275.1/Y.1369.1 (119) Телекоммуникационный профиль на основе протокола точного времени для фазовой/временно́й синхронизации с полной сетевой поддержкой хронирования

[17] МСЭ-Т G.8275.2/Y.1369.2 (11/2022) Телекоммуникационный профиль протокола точного времени в электросвязи для временно́й/фазовой синхронизации с частичной сетевой поддержкой хронирования

[1)] Публикации МСЭ-Т доступны в Секторе стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (gost.e-ecolog.ru).

УДК 621.395:006.354 ОКС 33.040

Ключевые слова: система синхронизации, сеть связи с коммутацией каналов, сеть связи с коммутацией пакетов, синхронная цифровая иерархия, протокол точного времени, эталонный источник

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 14.12.2023. Подписано в печать 12.01.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 4,80.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru