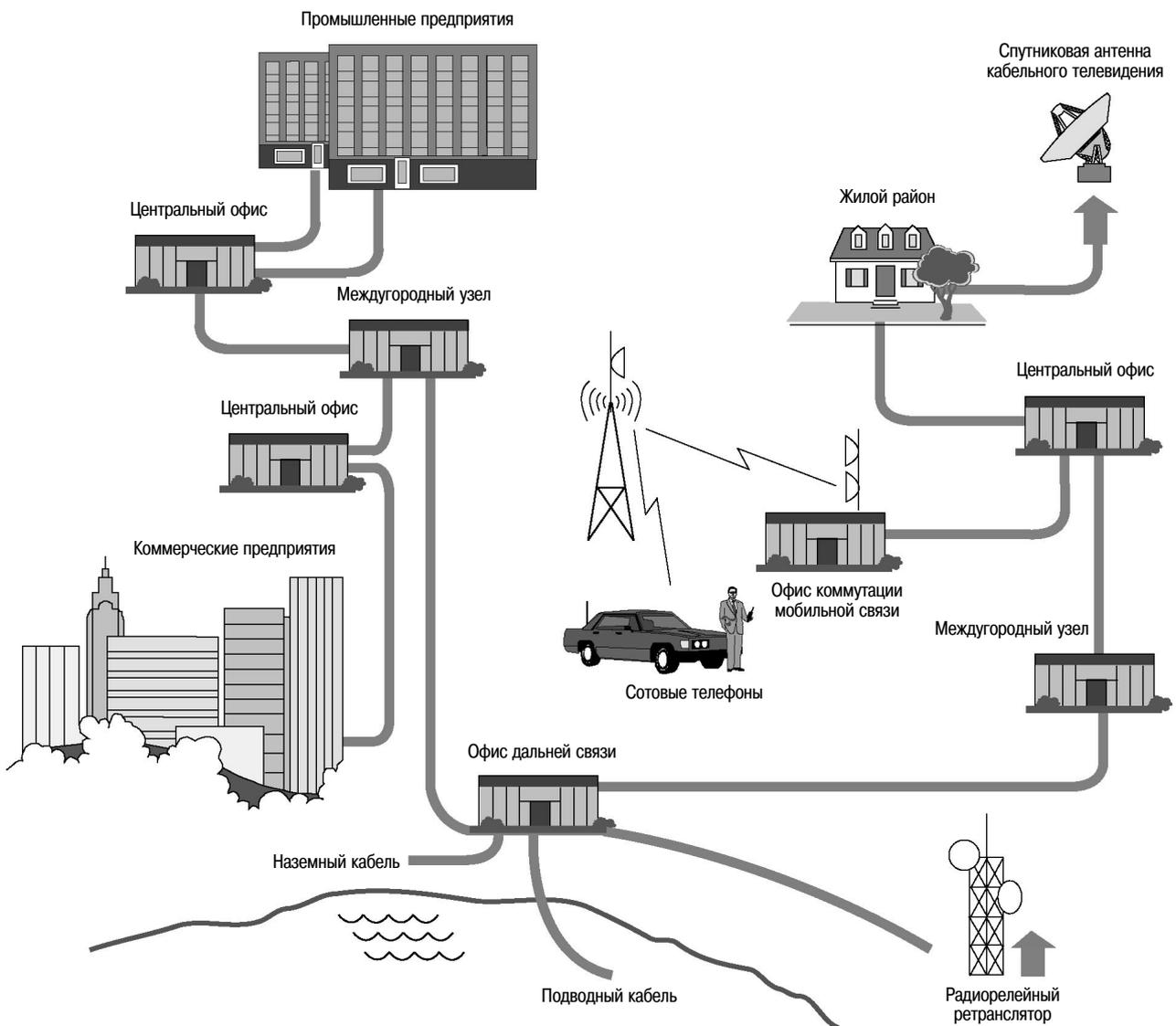


# Синхронизация телекоммуникационных сетей:

## Основные понятия

Сообщение по применению 1264-1





# Содержание

<b>I. Введение</b> .....	4
<b>II. Необходимость синхронизации</b> .....	5
Основные положения .....	5
Влияние проскальзываний на предоставляемые услуги ..	6
Необходимость синхронизации SDH и SONET .....	8
Пакеты (пучки) ошибок, вызванные синхронизацией ....	8
Требования к рабочим характеристикам синхронизации - Сети общего пользования .....	8
Требования к рабочим характеристикам синхронизации – Корпоративная (частная сеть) .....	9
<b>III. Архитектура синхронизации</b> .....	11
Основные методы синхронизации:	
Плезиохронная работа .....	11
Иерархический передатчик – приемник .....	11
Взаимная синхронизация .....	11
Импульсное дополнение .....	11
Указатели .....	12
Синхронизация телекоммуникаций .....	12
Генераторы источника: первичный эталонный генератор .	13
Генераторы приемника .....	14
Стандарты генераторов .....	15
<b>IV. Характеристики синхронизации</b> .....	17
Влияние первичного эталонного генератора .....	17
Характеристики устройства .....	17
Влияние генератора приемника .....	18
Идеальная работа .....	19
Работа в условиях стресса – сетевые генераторы ....	19
Работа в условиях стресса – генераторы СРЕ .....	20
Работа в режиме удержания .....	21
Стандарты сопряжения .....	21
<b>V. Введение в планирование синхронизации</b> .....	22
Основные принципы .....	22
Проблемы планирования .....	24
<b>VI. Заключение</b> .....	25

# I. Введение

Стремительное развитие цифровых систем коммутации и средств передачи информации, внедрение технологий SDH и SONET привело к значительному возрастанию роли систем синхронизации в сетях телекоммуникаций. Новые сферы применения и виды предоставляемых услуг также вызывают повышенные требования к характеристикам и работе сетей синхронизации.

Точная работа и тщательное планирование систем синхронизации требуются не только для того, чтобы избежать неприемлемых рабочих характеристик, но чтобы ослабить скрытые, дорогостоящие и трудноопределимые проблемы и уменьшить малозаметные взаимные влияния сетей различного подчинения.

Данный документ содержит основные сведения о тактовой сетевой синхронизации. В Разделе II рассмотрены основы синхронизации и доказывается необходимость синхронизации сетей. В качестве примеров приведены некоторые виды сбоев, вызванные плохим качеством синхронизации, такие как проскальзывания, пропуски кадров и пучки ошибок. Обсуждается влияние этих сбоев на качество предоставляемых услуг и различных применений.

В разделе III описываются различные архитектуры построения сетей синхронизации, используемые для поддержания приемлемого качества синхронизации. В этом разделе рассмотрены первичные эталонные источники (генераторы) и приемники сетевой синхронизации. Наряду с описанием функционального назначения этих источников синхронизации приводится относительная важность каждой функции для работы и планирования сетевой синхронизации. Раздел III завершает обсуждение требований к синхронизации ETSI, ANSI и ITU.

В разделе IV рассмотрены рабочие характеристики тактовой сетевой синхронизации. Показано влияние первичных эталонных генераторов, средств передачи синхронизации и приемников тактовой синхронизации на рабочие характеристики. В этом разделе показано, что частота тактовой синхронизации приемников обычно отличается от частоты первичного эталонного генератора, к которому они подсоединены. Такой сдвиг по частоте оказывает огромное влияние на рабочие характеристики сетей синхронизации.

Раздел V раскрывает основные принципы планирования сетевой синхронизации. Также обсуждаются наиболее общие проблемы планирования сети.

Ссылки заключены в квадратные скобки. Полный перечень ссылок приведен на странице 26.

## II. Необходимость синхронизации

### Основные положения.

Синхронизация - это средство поддержания работы всего цифрового оборудования в сети связи на одной средней скорости. Для цифровой передачи информация преобразуется в дискретные импульсы. При передаче этих импульсов через линии и узлы связи цифровой сети все ее компоненты должны синхронизироваться. Синхронизация должна существовать на трех уровнях: битовая синхронизация, синхронизация на уровне канальных интервалов (time slot) и кадровая синхронизация.

Битовая синхронизация заключается в том, что передающий и принимающий концы линии передачи работают на одной тактовой частоте, поэтому биты считываются правильно. Для достижения битовой синхронизации приемник может получать свои тактовые импульсы с входящей линии. Битовая синхронизация включает такие проблемы как джиттер линии передачи и плотность единиц. Эти проблемы поднимаются при предъявлении требований к синхронизации и системам передачи.

Синхронизация канального интервала (time slot) соединяет приемник и передатчик таким образом, чтобы канальные интервалы могли быть идентифицированы для извлечения данных. Это достигается путем использования фиксированного формата кадра для разделения байтов. Основными проблемами синхронизации на уровне канального интервала являются время изменения кадра и обнаружение потери кадра.

Кадровая синхронизация вызвана необходимостью согласования по фазе передатчика и приемника таким образом, чтобы можно было идентифицировать начало кадра. Кадром в сигнале DS1 или E1 является группа битов, состоящая из двадцати четырех или тридцати байтов (канальных интервалов) соответственно, и одного импульса кадровой синхронизации. Время кадра равно 125 микросекундам. Канальные интервалы соответствуют пользователям конкретных (телефонных) каналов связи.

Тактовый генератор сети, расположенный в узле источника, управляет частотой передачи через этот узел битов, кадров и канальных интервалов. Вторичный генератор сети расположенный в принимающем узле, предназначен для управления скоростью считывания информации. Целью тактовой сетевой синхронизации является согласованная работа первичного генератора и приемника с тем, чтобы принимающий узел мог правильно интерпретировать цифровой сигнал. Различие в синхронизации узлов, находящихся в одной сети, может привести к пропуску или к повторному считыванию принимающим узлом посланной на него информации. Это явление называется проскальзыванием.

Например, если оборудование, передающее информацию, работает на частоте, большей, чем частота принимающего оборудования, то приемник не может отслеживать поток информации. В этом случае приемник будет периодически

пропускать часть передаваемой ему информации. Потеря информации называется проскальзыванием удаления.

В случае, если приемник работает на частоте превышающей частоту передатчика, приемник будет дублировать информацию, продолжая работать на своей частоте и все еще осуществляя связь с передатчиком. Это дублирование информации называется проскальзыванием повторения.

Для управления проскальзываниями в потоках DS1 и E1 используются специальные буферы (См. рис.1). Данные записываются в буфер принимающего оборудования с частотой первичного генератора, а считываются из буфера тактовой частотой принимающего оборудования. На практике могут применяться различные размеры буферов. Обычно буфер содержит более одного кадра. В этом случае принимающее оборудование при проскальзывании будет пропускать или повторять целый кадр. Это называется управляемым проскальзыванием.

Основной целью сетевой синхронизации является ограничение возникновения управляемых проскальзываний. Существуют две основные причины возникновения проскальзываний. Первая причина - отсутствие частоты синхронизации из-за потери связи между генераторами, приводящее к различию тактовых частот. Вторая причина - фазовые сдвиги либо в линиях связи (такие, как джиттер и вандер), либо между первичным и ведомым генераторами. Последнее, т.е. фазовые сдвиги между частотами первичного генератора и приемника, как будет показано выше, являются основной причиной возникновения проскальзываний в сетях связи.

Проскальзывания, однако, не являются единственными сбоями, вызванными отсутствием синхронизации. Плохая синхронизация в сетях SDH и SONET может привести к избыточному джиттеру и потере кадров при передаче цифровых сигналов, как изложено в разделе «Необходимость синхронизации SDH и SONET» на стр.7\_. В корпоративных (частных) сетях плохая синхронизация оборудования пользователя (CPE) может привести к возникновению пакетов (пучков) ошибок в цифровой сети. (См. «Пакеты ошибок, вызванные синхронизацией» на стр.8). Поэтому, несмотря на то, что минимизация проскальзываний остается основной целью синхронизации, при проектировании сетей синхронизации необходимо рассматривать и другие сбои, связанные с синхронизацией.

## Влияние проскальзываний на предоставляемые услуги.

Влияние одного или более проскальзываний на качество предоставляемых услуг в цифровых сетях связи зависит от типа этих услуг [1-6]. Ниже описано влияние одиночных проскальзываний на различные виды услуг.

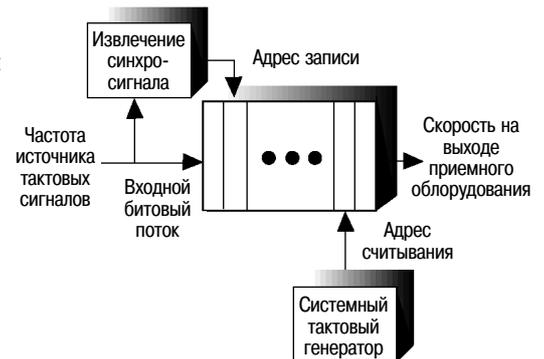


Рисунок 1 - Буфер проскальзывания

### Последствия проскальзывания

Звук	Случайные прослушиваемые щелчки
Факс	Искаженные строки
Данные в звуковом диапазоне	Искаженные данные
Видео	Появление стоп-кадра
Зашифрованные данные	Потеря сообщений
SONET/SDH	Дополнительные затраты на выравнивание указателей Искажение данных на границе с сетью PDH

Плохая синхронизация влияет на качество предоставляемых услуг. Ее последствия проявляются от раздражения абонента принимаемым звуком при телефонных переговорах до катастрофической потери информации при передаче зашифрованных данных

При предоставлении услуг телефонной (голосовой) связи, как показано в [1], проскальзывания могут вызвать случайные звуковые щелчки. Эти щелчки не всегда слышны и не приводят к серьезным искажениям речи. Поэтому услуги телефонной связи не критичны к проскальзываниям. Частота появления проскальзываний до нескольких проскальзываний в минуту считается допустимой.

Как показано в [2], где рассматривается влияние управляемых проскальзываний на передачу факсимильных сообщений группы 3, одиночные проскальзывания приводят к искажению или пропаданию строк в принятом факсимильном сообщении. Проскальзывание может вызвать пропадание до 8 сканированных линий. Это соответствует пропуску 0,08 дюйма вертикального пространства. На стандартной отпечатанной странице проскальзывание выглядит как отсутствие верхней или нижней половины отпечатанной строки. Длительное появление проскальзываний приведет к необходимости повторной передачи страниц, подвергшихся их влиянию. Повторная передача не может быть автоматизирована и осуществляется пользователем вручную.

Влияние проскальзываний на передачу данных при помощи модемов проявляется в виде длинных пакетов ошибок [3]. Продолжительность такого пакета ошибок зависит от скорости передачи данных и типа модема находится в диапазоне от 10 миллисекунд до 1,5 секунд. В период появления этих ошибок оконечное приемное устройство, подключенное к модему, принимает искаженные данные. В результате пользователь должен осуществить повторную передачу данных.

При возникновении проскальзываний во время сеанса видеотелефонной связи происходит пропадание изображения. Абонентов просят повторно установить связь для восстановления изображения.

Влияние проскальзываний на передачу цифровых данных зависит от используемого протокола. В протоколах, не предусматривающих возможности повторной передачи, возможны пропуски, повторения или искажения данных.

Возможна потеря кадровой синхронизации, вызывающая искажения множества кадров при возобновлении поступления импульсов кадровой синхронизации. Протоколы с повторной передачей имеют возможность обнаружить проскальзывания и инициировать повторную передачу. Для инициализации и выполнения такой ретрансляции обычно требуется одна секунда. Поэтому проскальзывания будут влиять на пропускную способность, обычно приводя к потере секунды времени передачи.

При цифровой передаче изображений (например, видеоконференция), как показывают тесты, приведенные в [4], проскальзывание обычно вызывает искажение части изображения или его «замораживание» на время до 6 секунд. Серьезность и длительность искажений зависит от применяемого оборудования

кодирования и компрессии. Наиболее значительные искажения возникают при использовании низкоскоростного декодирующего оборудования.

Наибольшее влияние проскальзывания оказывают при предоставлении услуг по передаче шифрованных данных [4]. Проскальзывание приводит к потере ключа кодирования. Потеря ключа приводит к недоступности переданных данных до повторной передачи ключа и повторного осуществления связи. Поэтому вся связь останавливается. Что более важно, необходимость в ретрансляции ключа значительно влияет на безопасность. Для многих приложений, связанных с проблемами безопасности, число проскальзываний, превышающее 1 в день, считается неприемлемым.

### Необходимость синхронизации SDH и SONET .

С появлением SDH и SONET к сетям синхронизации предъявляются новые требования. SDH и SONET являются высокоскоростными синхронными транспортными системами. Элементы сетей SDH и SONET требуют синхронизации, так как передаваемый ими оптический сигнал является синхронным. Однако, потеря синхронизации сетевыми элементами SDH/SONET не приводит к возникновению проскальзываний. Это обусловлено тем фактом, что рабочая нагрузка в SDH и SONET передается асинхронно. Для идентификации начала кадра SDH и SONET используют указатели. Несовпадение скоростей передачи и приема вызовет изменения в указателе (см. Рис.2).

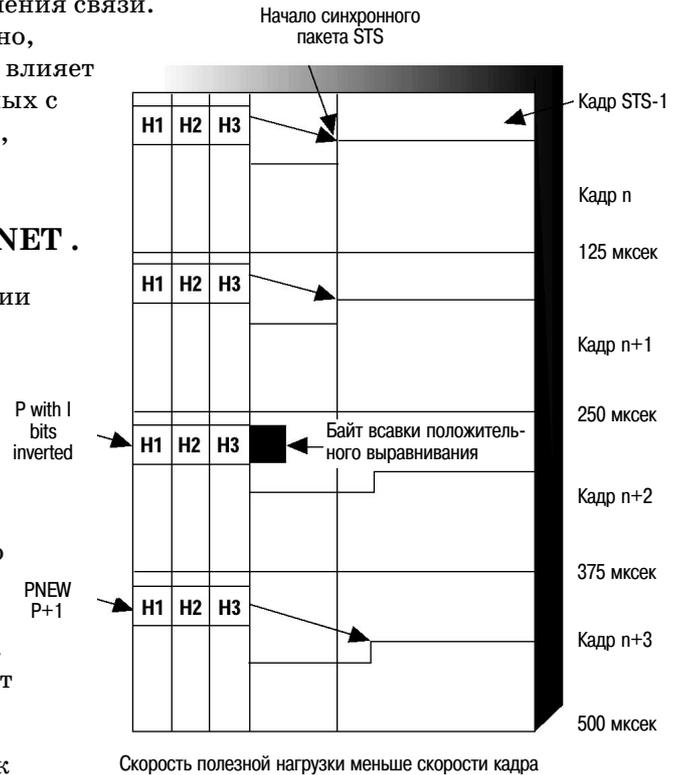


Рисунок 2 - Выравнивание указателя SONET

Однако, выравнивание указателя может привести к возникновению джиттера и вандера в передаваемом сигнале. Джиттер это быстрое (>10 Гц) изменение фазы сигнала («дрожание фазы»). Вандер - это медленное (< 10Гц) изменение фазы сигнала («дрейф фазы»). Избыточный джиттер SDH/SONET может привести к потере кадровой синхронизации. Избыточный вандер может вызвать проскальзывание на конечном оборудовании. Поэтому целью синхронизации сетей SDH/SONET является ограничение числа выравниваний указателя, осуществляемых сетевыми элементами SDH/SONET. Это достигается ограничением кратковременных шумов (<100 секунд) в сети синхронизации путем использования более стабильных тактовых генераторов на всей сети.

### Пакеты (пучки) ошибок, вызванные синхронизацией.

В частных сетях синхронизация может вызвать дополнительные сбои (ухудшения) в форме пакетов ошибок. Рассмотрим частную сеть, в которой тактовые генераторы оборудования, размещенного на территории пользователя (CPE), соединены в цепь. Кратковременное ухудшение опорной частоты первого CPE повлияет на работу всего оборудования в цепи (см. Рис.3). В ответ

на кратковременную ошибку большинство генераторов CPE выработает пакеты ошибок на всех выходных линиях. Второй генератор в цепи определит наличие ухудшения, вызванного первым генератором, и будет реагировать подобным образом, вырабатывая ухудшения (сбои) на всех своих выходах. Таким образом, пучок ошибок распространяется (и произвольно увеличивается) по всей сети CPE.

Пучки ошибок, вызванные синхронизацией, по своей природе являются кратковременными переходными процессами и обычно мало отличаются от избыточно ошибочных линий передачи. Поэтому проблемы синхронизации могут быть ошибочно приняты за высокий коэффициент ошибок линий передачи. Таких трудностей можно избежать при использовании правильно разработанных генераторов CPE и при тщательном планировании распределения синхронизации в частной сети. Необходимо отметить, что такие проблемы пучков ошибок обычно не возникают в сетях общего пользования.

### Требования к рабочим характеристикам синхронизации- Сети общего пользования.

Для управления частотой проскальзываний, событиями выравнивания указателей и пучками ошибок, вызванных синхронизацией, ITU и ANSI установили несколько требований к рабочим характеристикам синхронизации.

Для международных соединений порог скорости проскальзываний для «приемлемого» соединения установлен ITU на уровне одного проскальзывания за каждые пять часов. Для достижения удовлетворительной скорости проскальзываний при сквозной передаче долговременная максимальная нестабильность частоты на выходе цифровой системы синхронизации составляет  $1 \times 10^{-11}$ . Это требование было установлено как ANSI [7], так и ITU [9,10]. Требования к кратковременной нестабильности допускают от 1 до 10 микросекунд с ошибками в день на выходе каждого сетевого тактового генератора [7,9].

В настоящее время принимаются новые кратковременные требования [7]. Это преследует две цели. Во-первых, это гарантирует, что случайные изменения синхронизации не приведут к появлению проскальзываний. Во-вторых, это ограничивает период кратковременной нестабильности сигнала синхронизации, что, в свою очередь, ограничивает число выравниваний указателя и результирующий джиттер в сетях SDH/SONET. ANSI требует, чтобы длительность кратковременного шума с ограниченной полосой пропускания на выходе генератора не превышала 100 наносекунд [7].

### Требования к рабочим характеристикам синхронизации - Корпоративная (частная сеть)

В настоящее время в стадии разработки находятся спецификации ETSI [8], выдвигающие требования к джиттеру и вандеру в сетях

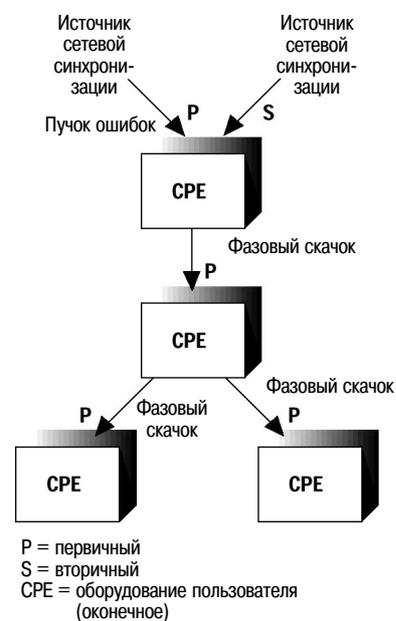


Рисунок 3 - Ошибки каскадирования в частных сетях

синхронизации, подходящих для SDH и PDH. Устанавливаются пределы для различных уровней (layers) сетевой синхронизации, а также рабочие характеристики генераторов оборудования SDH. В данном документе приводятся стандарты для тех администраторов сетей, которые придерживаются ETSI.

Для частных сетей существует несколько требований к рабочим характеристикам синхронизации. Рабочие характеристики синхронизации для частной цифровой сети могут быть в 1000 раз хуже, чем для сети общего пользования [4]. В соответствии с требованиями ANSI первый CPE в цепи синхронизации частной сети должен обеспечивать 4,8 миллисекунд времени с ошибками в день. Это соответствует приблизительно 40 проскальзываниям в день на один CPE. Кроме того, ANSI в настоящее время не имеет требований, ограничивающих число пучков ошибок, вызванных синхронизацией в частных сетях. Однако, это временное требование. Ожидается, что в ближайшие несколько лет эти требования изменятся до 18 микросекунд ежедневных ошибок синхронизации и отсутствия пучков ошибок, вызванных синхронизацией.

Основной причиной плохих рабочих характеристик частных сетей является использование в CPE генераторов низкого качества Stratum 4. Кроме того, частные сети могут иметь сложные неограниченные архитектуры с большим количеством каскадно соединенных эталонных источников синхронизации. При использовании генераторов 4 уровня проскальзывания вызываются не только ошибками передачи, но и сбоями, вызванными оборудованием. Кроме того, синхронизация CPE может стать серьезным источником ошибок на передающих устройствах частных сетей. Более подробно эта проблема обсуждается в разделе IV «Влияние генератора приемника, работа в условиях стресса - генераторы CPE».

### III. Архитектура синхронизации.

#### Основные методы синхронизации.

Для синхронизации цифровых сетей используется несколько основных методов: плезиохронная работа, иерархическая работа приемника - передатчика, взаимная синхронизация, импульсное дополнение (стаффинг) и указатели. Все они подробно рассматриваются ниже.

#### Плезиохронная работа.

Каждый узел получает эталонный сигнал от своего независимого источника синхронизации (рис.4). Допустимая частота проскальзываний сохраняется благодаря жесткой точности синхронизации на обеих сторонах соединения. Стандарты определяют границу стабильности генераторов, используемых для синхронизации плезиохронных соединений. В сетях, использующих плезиохронные ситуации, управляющие генераторы должны поддерживать долговременную нестабильность частоты в пределах  $1 \times 10^{-11}$ . Это типовой режим работы для соединения через административные границы.

#### Иерархический передатчик - приемник.

Источник первичного эталонного сигнала в управляющем узле генерирует размноженный и распределенный эталонный сигнал синхронизации (рис.5). Управляющий узел посылает свой эталонный сигнал на принимающие узлы. Эталонный синхросигнал иерархически распределяется по сети. Двумя главными компонентами этой сети являются генераторы приемника, используемые для регенерации эталонного сигнала синхронизации, и цифровые тракты, используемые для передачи синхросигналов по сети.

#### Взаимная синхронизация.

При взаимной синхронизации информация о синхронизации совместно используется всеми узлами сети (рис.6). Каждый генератор посылает и принимает сигналы эталонной синхронизации на все другие генераторы в сети. Синхронизация цепи определяется путем усреднения всех сигналов синхронизации, получаемых каждым генератором от всех других генераторов в сети. Теоретически, эта работа может обеспечить идентичные сигналы синхронизации на каждый узел, но в реальных условиях, при наличии несовершенных генераторов и несовершенной передачи информации о синхронизации, синхронизация подвержена флуктуации и стремится к общей частоте.

#### Импульсное дополнение (стаффинг)

Этот метод используется для передачи асинхронных потоков выше уровня DSI / EI. Цифровые потоки, подлежащие мультиплексированию, уплотняются дополнительными ложными импульсами. Это увеличивает их скорости до скорости независимого местного генератора. Исходящая скорость мультиплексора выше, чем сумма входящих скоростей. Ложные

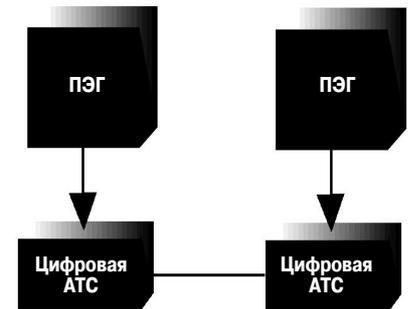


Рисунок 4 - Плезиохронная работа

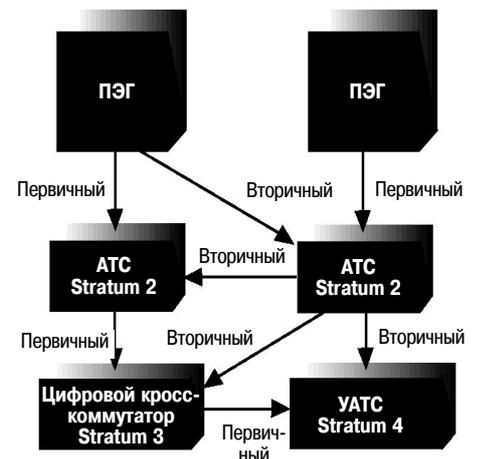


Рисунок 4 - Иерархическая структура источник-приемник

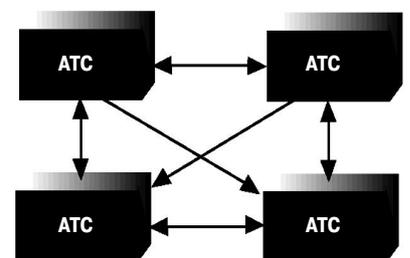


Рисунок 6 - Режим взаимной синхронизации

импульсы не несут никакой информации, они кодируются для идентификации. На стороне приемника ложные импульсы удаляются. Полученные пробелы в потоке импульсов затем удаляются, восстанавливая первоначальный поток данных.

**Указатели.**

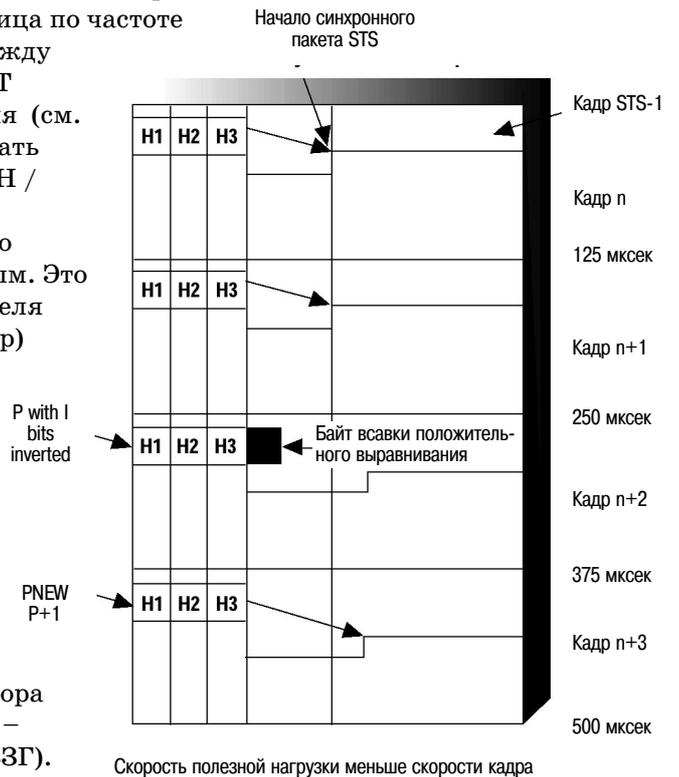
Этот метод используется в сетях SDH и SONET для передачи полезной нагрузки, не обязательно синхронной с тактовой частотой генератора SDH / SONET. Для индикации начала кадра в полезной нагрузке используются указатели. Разница по частоте между сетевыми элементами SDH / SONET или между полезной нагрузкой и оборудованием SDH / SONET выравнивается путем смещения значения указателя (см. рис. 7). Поэтому нет необходимости синхронизировать полезную нагрузку относительно оборудования SDH / SONET. Оборудование SDH / SONET обычно синхронизируется таким образом, чтобы количество выравниваний указателя сохранялось минимальным. Это желательно, так как каждое выравнивание указателя вызывает дрожание и дрейф фазы (джиттер и вандер) полезной нагрузки.

**Синхронизация телекоммуникаций.**

Для синхронизации сетей E1 / DS1 большинство администраторов телекоммуникационных сетей использует метод иерархического источника – приемника (ведущий- ведомый). Источником основного эталонного сигнала синхронизации сети является один или более первичных эталонных генераторов (ПЭГ). Эталонный сигнал этого генератора распределяется по сети, состоящей из генераторов – приемников или ведомых задающих генераторов (ВЗГ). (рис.5).

Узел с наиболее стабильным генератором назначается узлом - источником. Узел – источник передает эталонную синхронизацию на один или более принимающих узлов. Рабочие характеристики принимающих узлов обычно такие же или хуже, чем у узла источника. Узел приемника захватывает эталонную частоту синхронизации источника и затем передает ее другим узлам приемника. Поэтому синхронизация распределяется вниз по иерархии узлов.

Принимающие узлы обычно разрабатываются для приема одного или большего числа эталонных сигналов. Один эталонный сигнал является активным. Все другие альтернативные эталонные сигналы являются резервными. В случае, если активный эталонный сигнал потерян, узел приемника может переключать эталонные сигналы, и подключается к альтернативному эталонному сигналу. Таким образом, каждый принимающий узел имеет доступ к синхронизации от одного или нескольких источников. Большинство сетей спроектированы таким образом, что всем генераторам приемникам подается два или более разных



**Рисунок 7 - Выравнивание указателя SONET**

эталонных сигналов. В частных сетях это может быть невозможным из-за ограниченной возможности соединений между узлами.

Генераторы размещаются в соответствии с иерархией, основанной на уровнях рабочих характеристик. ANSI [7] назначает уровни рабочих характеристик как уровни слоев (Stratum): слои 1,2,3,4E и 4, в порядке от лучших к худшим. ITU (9) назначает 4 уровня рабочих характеристик: первичный эталонный генератор, транзитный узел, локальный узел, терминал или узел СРЕ. Слой 1 или ПЭГ являются управляющими узлами для сети. Слой 2 или генераторы транзитного узла обычно находятся в коммутационных устройствах и в некоторых видах цифрового кроссового оборудования. К третьему слою, или генераторам местных узлов относится большая часть местного коммутационного оборудования, цифровые кроссовые системы, некоторые учрежденческие АТС (PBX) и мультиплексоры T1. Слой 4, или генераторы СРЕ, включают большую часть мультиплексоров T1, PBX, банков каналов и эхоподавителей.

### **Генераторы источника: Первичный эталонный генератор.**

Первичный эталонный генератор (ПЭГ) является управляющим генератором для сети, обеспечивающей точность установки частоты лучше, чем  $1 \times 10^{-11}$  (7). Одним из классов ПЭГ является генератор слоя 1. Генератор слоя 1, по определению, является свободным генератором (7). Он не использует эталонный сигнал синхронизации для получения или запуска его синхронизации. Генераторы слоя 1 обычно состоят из нескольких цезиевых стандартов частоты.

Тем не менее, ПЭГ может быть выполнен не только на основе первичных атомных стандартов частоты (7). Другими примерами ПЭГ являются генераторы систем всемирного координированного времени (GPS) и LORAN – C. Эти системы используют местные рубидиевые или кварцевые генераторы, которые запускаются информацией о синхронизации, получаемой от GPS или LORAN – C. Они не считаются принадлежащими к слою 1, т.к. они запускаются принудительно, но по своим параметрам классифицируются как первичные эталонные генераторы. Эти генераторы способны поддерживать погрешность от нескольких единиц  $10^{-13}$  до нескольких единиц  $10^{-12}$ .

Влияние скорости проскальзываний на ПЭГ обычно не принимается во внимание. Сеть, синхронизируемая от двух ПЭГ, будет подвержена в наихудшем случае пяти проскальзываниям в год, обусловленным нестабильностью частот генераторов. По сравнению с характеристиками генераторов приемников эта цифра пренебрежимо мала, как показано в разделе IV. Поэтому, среди операторов телекоммуникационных сетей наблюдается тенденция в большей степени полагаться на ПЭГ, а для синхронизации их сетей использовать множество таких генераторов.

## **Генераторы приемника (ведомые задающие генераторы).**

Главным предназначением генератора приемника (ВЗГ) является восстановление синхронизации из опорного сигнала и поддержание синхронизации как можно ближе к синхронизации узла источника. Для этого требуется, чтобы генератор приемника выполнял две основные функции. Во-первых, он должен воспроизводить синхронизацию генератора источника эталонного сигнала, даже несмотря на то, что эталонный сигнал может быть ошибочным. Во-вторых, он должен сохранять адекватные временные состояния в отсутствие эталона синхронизации.

Обычным режимом работы ВЗГ является извлечение сигнала синхронизации из эталонного сигнала ПЭГ. В этом режиме генератор приемника должен иметь способность выявлять возможные короткие ошибки эталонного сигнала. Этими ошибками могут быть нестабильность синхронизации (джиттер) или краткие прерывания эталонного сигнала (пучки ошибок). Эти ошибки обычно вызываются устройством, транспортирующим эталонный сигнал от генератора источника к генератору приемника.

Генератор приемника использует низкочастотные фильтры для выявления кратковременной нестабильности частоты синхронизации. Для выявления кратких прерываний генераторы приемника разрабатываются с двумя или большим числом входов эталонных сигналов для того чтобы они могли переключать эталонные сигналы при наличии кратковременных искажений (ухудшений). Большинство сетевых генераторов (ANSI слой 2,3 и 4E, транзитные и местные генераторы ITU) разработаны таким образом, чтобы вызвать ошибку временного интервала длительностью не более 1000 нсек при каждом переключении эталонного сигнала или другом переходном событии [7,10]. Кроме того, сетевые генераторы разрабатываются для сохранения ежедневных ошибок временного интервала в пределах 1-10 мксек при отсутствии прерываний.

Генераторы слоя 4 (СРЕ) не предъявляют каких-либо требований к их режиму восстановления синхронизации. В ответ на краткие прерывания генератор слоя 4 будет обычно вызывать 10-1000 мксек ошибку временного интервала. Кроме того, этот фазовый скачок будет сопровождаться пучком ошибок. Поэтому, СРЕ очень неустойчивы к ошибкам устройств (см. раздел IV «Влияние генератора приемника, работа в условиях стресса – генераторы СРЕ,» стр. 18, для характеристик типичного слоя 4).

Вторым режимом работы является генератор приемника, действующий при потере всех своих эталонных сигналов синхронизации. Режим удержания (holdover) служит для запоминания последней известной частоты источника и для поддержания необходимой погрешности частоты после потери всех опорных сигналов синхронизации. СРЕ может входить в свободный режим, когда оно теряет все эталонные сигналы

синхронизации. Свободный режим относится к такому режиму работы, при котором синхронизация, исходящая от генератора управляется местным осциллятором, а для корректировки частоты генератора не используется память о частоте внешнего эталонного сигнала.

## Стандарты генераторов.

ITU и ANSI классифицируют генераторы приемников в уровнях, соответствующих их рабочим характеристикам. ITU обозначает генераторы как транзитные, местные и генераторы оконечных устройств (CPE). ANSI назначает генераторы слоям 2,3,4E и 4, в соответствии с убывающими значениями характеристик. Чтобы удовлетворить определенному уровню рабочих характеристик, генератор должен отвечать требованиям нескольких функций. Ими являются: перестройка временных отношений, функция удержания, погрешность в свободном режиме, дублирование аппаратной части и возможности внешней синхронизации. Эти функции кратко описаны в Таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Стандарты генераторов ITU

Функция	Транзитный узел	Местный узел	Терминал CPE
Погрешность	Нет требований	Нет требований	$5 \times 10^{-5}$
Удержание			
Первоначальный сдвиг частоты	$5 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-8}$	Нет требований
Долговременный	$1 \times 10^{-9}$	$2 \times 10^{-8}$	
Ошибка временного интервала	1 мксек	1 мксек	Нет требований
Наклон изменения фазы	$61 \times 10^{-6}$	$61 \times 10^{-6}$	Нет требований

Таблица 2. Стандарты генераторов ANSI

Функция	Слой 2	Слой 3	Слой 4E	Слой 4
Погрешность	$1.6 \times 10^{-8}$	$4.6 \times 10^{-6}$	$3.2 \times 10^{-5}$	$3.2 \times 10^{-5}$
Удержание	$1 \times 10^{-10}$	$3.7 \times 10^{-7}$	Нет требований	
Ошибка временного интервала	1 мксек	1 мксек	1 мксек	Нет требований
Наклон изменения фаз	$61 \times 10^{-6}$	$61 \times 10^{-6}$	$61 \times 10^{-6}$	Нет требований
Дублирование	Требуется	Требуется	Нет требований	Нет требований
Внешние входы	Требуется	Требуется	Нет требований	Нет требований

Наиболее важным требованием в генераторах приемника является возможность перестройки (реорганизации) сохранения синхронизации. Это объясняется тем, что генераторы приемника часто могут быть подвержены кратким прерываниям их эталонного сигнала синхронизации. Краткое прерывание обуславливает перестройку генератора. Перестройка определяется как переключение генератором его эталонного сигнала или внесение погрешности небольшой длительности. Переключение аппаратных средств генератора тоже считается перестройкой. В условиях перестройки все генераторы, за исключением генераторов 4го слоя CPE, должны вызывать

ошибку временного интервала не более 1 мкс по отношению к ее источнику синхронизации. Кроме того, если генератор вызывает ошибку временного интервала, он не может быстро подстроить фазу. Фаза должна изменяться со скоростью менее  $61 \times 10^{-6}$ . Требование к скорости изменения фазы необходимо потому, что генераторы прямого потока могут остаться «привязанными» к генератору, начавшему перестройку.

Требования к функции удержания значительно различаются для разных сетевых генераторов. Слой 2 и транзитный узел должны иметь относительную погрешность по частоте  $1 \times 10^{-10}$  и  $1 \times 10^{-9}$  в первые 24 часа после пропадания эталонного сигнала [7,10].

Эти строгие спецификации необходимы, потому что эти генераторы обычно используются для управления синхронизацией в переговорных пунктах, имеющих десятки тысяч трактов. Эта спецификация гарантирует, что ни один из трактов не подвергается более, чем одному проскальзыванию в первые 24 часа режима удержания. Напротив, т.к. слой 3 и местные генераторы обычно используются в небольших офисах и влияют на меньшее число трактов, для них допускается появление до 255 и 14 проскальзываний соответственно в каждом тракте в первые 24 часа.

Для генераторов слоя 4 CPE не требуются обеспечения режима удержания. Генератор слоя 4 без задержки будет немедленно переходить в состояние свободного режима при каждой потере эталонного сигнала синхронизации.

Состояние свободного режима относится к стабильности генератора, когда он работает на своих собственных внутренних осцилляторах без принудительного запуска или корректировки предыдущим состоянием внешнего эталонного сигнала. Для генераторов с функцией удержания свободный режим наблюдается только при длительном пропадании эталонного сигнала (от недель до месяцев) и он является исключительно редким. Т.о. спецификации погрешности свободного режима являются наименее критичными из всех спецификаций генератора. Эта мысль подчеркивается тем фактом, что ITU не определяет погрешности свободного режима. Для генераторов слоя 4 CPE их свободный режим будет определять характеристики проскальзывания даже во время кратковременной потери эталонного сигнала.

Дополнительными требованиями является то, что генераторы слоя 2 и 3 ANSI должны иметь дублирующую аппаратную часть и входы внешних генераторов. Дублированная аппаратная часть гарантирует, что оборудование продолжает работать при аппаратном сбое генератора. Вход внешнего генератора предназначен для дополнительной внешней синхронизации. Он используется для подачи синхронизации непосредственно на генератор. Этот вход полезен для планирования гибкой синхронизации, при которой сигнал эталонной синхронизации для генератора может и не заканчиваться в цифровой системе.

## **IV. Характеристики синхронизации.**

Характеристики синхронизации в иерархической сети передатчика -приемника определяются тремя компонентами: погрешностью управляющего генератора, характеристиками устройств, распределяющих эталонный сигнал, и характеристиками генераторов приемника, получающего эталонный сигнал через эти устройства. В дальнейшем будет показано, что нестабильность частоты синхронизации управляющего генератора обычно слабо влияет на общую нестабильность в сетях синхронизации. Характеристики синхронизации в основном определяются комбинацией характеристик устройств распределения и генератора приемника. В реальных сетях генератор приемника, подсоединенный к управляющему генератору, будет работать с долговременной частотой, отличающейся от частоты управляющего генератора. Нестабильность частоты генератора приемника обычно в 10 –100 раз превышает нестабильность частоты управляющего генератора. Поэтому, генераторы приемника служат причиной большей части ошибок синхронизации и проскальзываний в сетях.

### **Влияние первичного эталонного генератора.**

Влияние ПЭГ на уровень проскальзываний обычно крайне незначительно. Цезиевые генераторы, GPS и LORAN - С будут обычно иметь долговременные погрешности по частоте порядка от нескольких единиц на 10-13 до нескольких единиц на 10-12. Это приводит к уровням проскальзывания, колеблющимся от проскальзывания один раз в пять лет до трех проскальзываний в год. Это является небольшой частью допустимого значения в пять проскальзываний / день для сквозного соединения и обычно не принимается во внимание.

### **Характеристики устройства.**

Для определения характеристик устройства, служащего для передачи эталонного сигнала синхронизации существует два основных фактора. Ими являются ошибки и нестабильности синхронизации (джиттер и вандер).

Устройство, используемое для распределения эталонного сигнала синхронизации, может иметь значительное число событий прерывания. Число появлений пучков ошибок может колебаться в среднем от 1 до 100 событий в день, в зависимости от типа устройства, расстояния и других факторов. Например, требованием ИТУ для сквозного соединения характеристика значительно поврежденных секунд, (SES) равна 175 событий в день [11]. SES – это секунда передачи, когда происходит по крайней 320 ошибочных событий CRS–6. Это приблизительно эквивалентно частоте битовых ошибок  $1 \times 10^{-3}$  на протяжении секунды. Требования к характеристикам в ANSI равны 40-50 SES в день, в зависимости от расстояния.

Такие постоянные ухудшения неизбежно повлияют на распределение эталонного сигнала синхронизации. Как

описывалось выше, генератор приемника будет реагировать на каждую ошибку. Генератор может отклоняться на время до 1 мксек в ответ на каждую ошибку в его эталонном сигнале синхронизации. Накапливание ошибок устройства передачи, приводящее к возникновению фазовых ошибок в генераторе приемника, будет значительно влиять на уровень проскальзываний в сети, что может привести к десяткам микросекунд смещений фазы в день в том случае, если сеть плохо спланирована.

Нестабильность частоты эталонного сигнала зависят от технологии, используемой оборудованием для передачи эталонного сигнала. Если эталонный сигнал передается асинхронно (например, при передаче DS3), эталонный сигнал обычно будет иметь джиттер менее 600 нсек и незначительный вандер. Эти уровни обычно не принимаются во внимание.

Эталонные сигналы, передаваемые через спутник, будут иметь избыточный вандер. Это вызывается небольшими перемещениями спутника относительно его геостационарного положения. Величина вандера обычно равна 1,8 миллисекунд в день. Это делает спутниковую передачу неподходящей для использования в качестве эталонного сигнала синхронизации.

Эталонные сигналы синхронизации, передаваемые в качестве полезной нагрузки по сети SDH/SONET, могут иметь значительный вандер. Сигнал DS1 или E1, размещенный и переданный по SDH/SONET, может иметь вандер длительностью в несколько десятков микросекунд в день. [12]. Поэтому синхронизация никогда не передается как полезная нагрузка по SDH/SONET. В сетях, использующих передачу по SDH/SONET, для передачи синхронизации используется оптический носитель, т.к. он не подвержен выравниваниям указателя и возникающим в результате джиттеру и вандеру.

### **Влияние генератора приемника.**

Генератор приемника это генератор, выход синхронизации которого, управляется сигналом синхронизации от генератора источника равного или более высокого качества. Как было показано выше, генераторы приемника должны воспроизводить синхронизацию источника эталонного сигнала, даже несмотря на то, что эталонный сигнал может быть ошибочным, и он должен в течение адекватного времени удержания поддерживать синхронизацию в отсутствие всех эталонов синхронизации.

Характеристики генератора приемника выявляются при его работе в трех режимах:

- Идеальная работа
- Работа в условиях стресса
- Работа в режиме удержания

Идеальная работа описывает кратковременное поведение генератора, она важна для управления выравниваниями

указателя в сетях SDH и SONET. Работа в условиях стресса это типичный режим работы генератора приемника, при котором ожидается, что генератор приемника получает синхронизацию от генератора источника через устройство, имеющее кратковременные ухудшения. Наконец, работа в режиме удержания определяет характеристики генератора в том редком случае, когда все эталонные сигналы, подаваемые на генератор, потеряны.

#### **Идеальная работа.**

При идеальной работе генератор приемника не испытывает прерываний от входного эталонного сигнала синхронизации. Даже несмотря на то, что это не типично для реальных сетевых операций, понимание характеристик генератора в условиях идеальной работы показывает границы характеристик генератора. Также важно ограничить кратковременный шум генератора. Кратковременный шум генератора будет влиять на появление выравнений указателя в сетях SDH/SONET и возникновение в результате этого джиттера и вандера полезной нагрузки SDH/SONET.

При идеальных условиях генератор приемника должен работать в строгой фазовой привязке с входящим эталонным сигналом. Для кратких интервалов наблюдений, меньших, чем постоянная времени петли фазовой автоподстройки (PLL), нестабильность частоты синхронизации определяется кратковременной нестабильностью местного генератора, а также влиянием шумов квантования и PLL. При отсутствии прерываний эталонного сигнала, нестабильность выходного сигнала синхронизации ведет себя как фазовая модуляция белого шума. Высокочастотный шум является ограниченным и некоррелированным (белым) для больших периодов наблюдений относительно времени наблюдения PLL.

#### **Работа в условиях стресса - сетевые генераторы.**

Эта категория работы отражает характеристики генератора приемника в условиях реальной сети, когда возможны краткие прерывания эталонного сигнала синхронизации. Как описывается в разделе IV, «Характеристики устройства», стр.15, эти прерывания являются кратковременными, при этом время эталонного сигнала синхронизации недоступно. Число прерываний может колебаться от 1 до 100 в день.

Все прерывания будут влиять на генератор приемника. Во время прерывания эталонный сигнал синхронизации не может быть использован. Когда эталонный сигнал восстанавливается, или если прерывание сохраняется и генератор переключает эталонные сигналы, сохраняется одна ошибка, относящаяся к реальной временной разнице между местным генератором приемника и вновь восстановленным эталонным сигналом. Ошибка временного интервала, возникающая из-за каждого прерывания, зависит от конструкции генератора, но должна быть меньше 1 мксек [7,10]. Эта случайная ошибка синхронизации будет накапливаться, как случайный набег, вызывающий появление частотной модуляции

белого шума в сигнале синхронизации принимающего генератора.

В дополнение к частотной модуляции белого шума, прерывания могут привести к частотному сдвигу между генератором приемника и генератором источника. Это происходит из-за смещения фазы в генераторе приемника во время восстановления эталонного сигнала. Число смещений зависит от конструкции генератора. Величина этого смещения играет решающую роль для рабочих характеристик долговременной синхронизации генератора приемника.

Это смещение будет накапливаться в цепочке генераторов приемников. Конечным результатом является то, что возникает сдвиг частоты между всеми генераторами в цепочке синхронизации. Величина сдвига по частоте увеличивается с количеством генераторов в цепи. Поэтому, в условиях реальной сети, генераторы приемника будут работать с долговременной частотой, слегка отличающейся от частоты первичного эталонного генератора. Величина этого частотного смещения является функцией возможностей характеристик генератора приемника (смещения его ошибки временного интервала во время перестроек) и числа кратковременных прерываний (SES) устройства, передающего эталонный сигнал.

Таким образом, существует длительное частотное смещение, вызванное кратковременными сбоями устройства и уходом частоты приемника, что является основной причиной проскальзываний в сети. Долговременный сдвиг по частоте может изменяться от нескольких единиц на 10 –12 до нескольких единиц на 10 – 10 , в зависимости от сетевой конфигурации и от характеристик генератора и устройства. Этот сдвиг по частоте на несколько порядков хуже, чем разница частот между двумя первичными эталонными генераторами. По этой причине, среди операторов сетей существует растущая тенденция устанавливать в сети множество источников первичного эталонного сигнала и ограничивать количество каскадов эталонной синхронизации, подключенных к сети.

#### **Работа в условиях стресса – генераторы CPE.**

При работе в условиях стресса (экстремальных внешних воздействий) функционирование генераторов CPE слоя 4 совершенно отличается от работы других сетевых генераторов. Это обусловлено тем, что большинство генераторов CPE не имеют фазовой автоподстройки для ограничения ошибок временного интервала, возникающих вследствие кратковременных прерываний. Большинство CPE плохо работают при кратковременных ошибках на входах тактовой синхронизации.

Когда генератор слоя 4 подвергается кратковременному прерыванию, он сигнализирует о невозможности использования эталонного сигнала и переключает эталонный сигнал на запасной источник синхронизации. Этот запасной источник может быть либо другим эталонным сигналом синхронизации, либо его внутренним генератором. Во время этого переключения

генератор обычно будет выдавать большой, быстрый фазовый скачок длительностью 10-1000 мксек. Этот фазовый скачок возникает на всех исходящих линиях CPE.

Генераторы, расположенные вниз по направлению потока, не способны оставаться «привязанными» к эталонному сигналу при таком фазовом выбросе. Для устройства, расположенного вдоль сети, фазовый скачок не отличается от ошибки устройства. В результате, генератор расположенный вдоль сети, будет переключать свой эталонный сигнал, вызывая другой фазовый выброс и дальнейшее распространение событий ошибок. Поэтому одна ошибка в устройстве в верхней точке цепи синхронизации может привести к ошибкам всех линий и узлов, расположенных ниже по цепи синхронизации. (Рис.8).

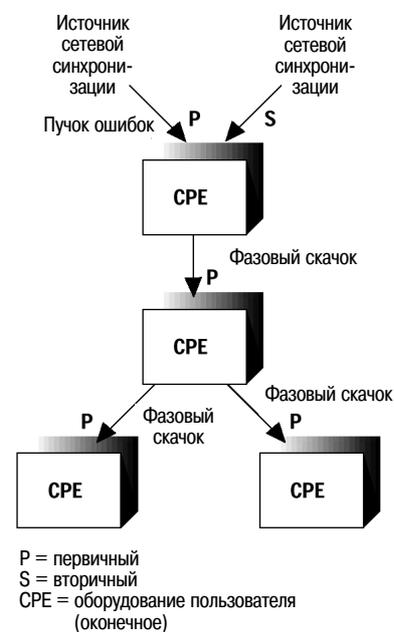
Частных сети, использующие генераторы слоя 4, обычно имеют слабые рабочие характеристики. Они могут быть в 1000 раз хуже, чем в сетях общего пользования, работающих при эффективной долговременной нестабильности частоты от  $1 \times 10^{-9}$  до  $1 \times 10^{-7}$ . Обычным является появление десятков проскальзываний в день/CPE. Кроме того, фазовые выбросы, вызванные плохой синхронизацией, появляются как ошибки передачи. Синхронизация CPE может вызвать до сотен до сотен ошибок передачи в день. Избыточные ошибки передачи в частных сетях являются обычным симптомом плохих рабочих характеристик синхронизации [14,15].

### Работа в режиме удержания

Генератор приемника будет работать в режиме удержания в тех редких случаях, когда он теряет все свои эталонные сигналы синхронизации на значительный период времени. Существует два основных фактора, влияющих на характеристики удержания: начальный сдвиг по частоте и дрейф частоты. Начальный сдвиг частоты вызывается возможностью установки частоты местного генератора и шумом эталонного сигнала синхронизации, когда генератор впервые переходит в режим удержания. Дрейф частоты возникает из-за старения кварцевых генераторов. Требования ITU, предъявляемые к генератору, рассматривают влияние обоих факторов на характеристики удержания по отдельности. Требования ANSI к удержанию рассматривают объединенные характеристики.

### Стандарты сопряжения

Современные стандарты генераторов не гарантируют приемлемой работы в условиях стресса. Требования к сопряжению ANSI и ITU разработаны только для идеальных условий. В условиях идеальной работы ежедневная ошибка временного интервала должна сохраняться в пределах 1-10 мксек, а долговременный сдвиг частоты должен быть менее чем  $1 \times 10^{-11}$ . Однако, из-за неопределенности характеристик при работе в условиях стресса, допускается, что долговременные рабочие характеристики реальной сети могут быть хуже, чем  $1 \times 10^{-11}$ .



**Рисунок 3 - Ошибки каскадирования в частных сетях**

## Введение в планирование синхронизации.

Роль планирования синхронизации заключается в определении распределения синхронизации в сети и в выборе генераторов и оборудования, используемых для синхронизации сети. Это включает выбор и определение местоположения управляющего генератора (ов), распределение функций первичных и вторичных сигналов синхронизации и анализ сети, гарантирующий, что достигаются и сохраняются приемлемые уровни характеристик.

### Основные принципы.

Чтобы обеспечить наилучшие характеристики и устойчивость сети синхронизации, следует придерживаться нескольких правил и процедур. Наиболее важными из них являются отсутствие замкнутых петель синхронизации, поддержание иерархии, следование принципу BITS, использование наилучших возможностей для транспортировки эталонных сигналов синхронизации и сведения к минимуму их каскадирования.

Петли синхронизации возникают, когда генератор использует для отслеживания свой собственный эталонный сигнал синхронизации (рис. 8). При возникновении таких петель, частота эталонного сигнала становится нестабильной. Генераторы в петле синхронизации медленно начнут работать с погрешностью полного диапазона генератора. Это приводит к тому, что генератор показывает характеристики во много раз хуже, чем в свободном режиме или в режиме удержания. Поэтому важно, чтобы поток эталонных сигналов синхронизации в сети разрабатывался бы таким образом, чтобы петли синхронизации не могли формироваться ни при каких обстоятельствах. Ни одна комбинация первичных и/или вторичных эталонных сигналов не должна привести к петле синхронизации. В правильно спланированной сети всегда можно избежать петель синхронизации.

Поддержание иерархии важно для достижения наилучших рабочих характеристик в сети. В идеальных условиях или в условиях стресса передача синхронизации с лучших на худшие генераторы оптимизирует рабочие характеристики.

Синхронизация все еще будет сохраняться при нормальной работе, если синхронизация передается с худшего на лучший генератор. При этом могут немного пострадать рабочие характеристики, т.к. лучший генератор менее чувствителен к кратковременным сбоям сети и будет накапливать меньше ошибок временного интервала. Только в том случае, если генератор, расположенный выше по сети, входит в режим удержания или в свободный режим, это приводит к нарушению иерархии и вызывает основные проблемы. В этом случае генератор с худшими характеристиками, расположенный выше по сети и находящийся в режиме

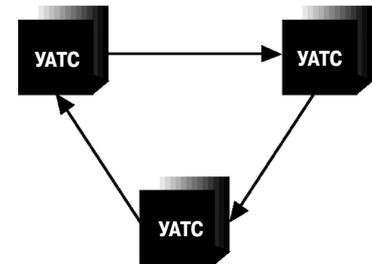


Рисунок 9 - Петля синхронизации

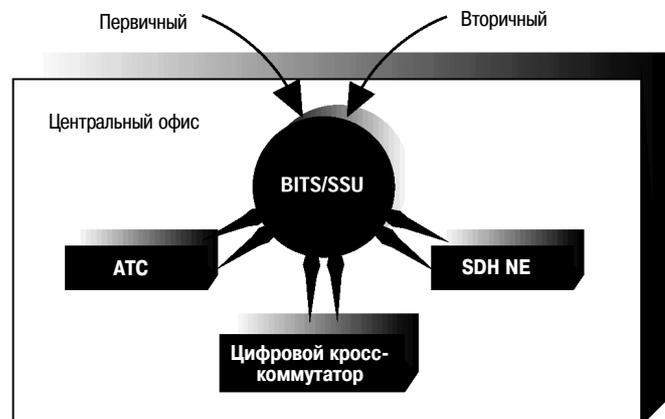


Рисунок 10 - Конфигурация BITS/SSU

удержания, может иметь частотную погрешность хуже, чем может обеспечить генератор, расположенный ниже по сети. Генератор, расположенный ниже по сети, не будет оставаться ведомым и тоже перейдет в режим удержания. Это приводит к появлению множества генераторов, работающих в режиме удержания и к возникновению избыточных проскальзываний в сети.

Большинство сетевых администраторов при распределении синхронизации следует принципу BITS (создание интегрированного источника синхронизации) или SSU (рис. 10). При использовании метода BITS или SSU наилучший генератор в офисе предназначен для приема эталонных сигналов из-за пределов этого офиса. Все другие генераторы в офисе синхронизируются от этого генератора. Во многих случаях BITS или SSU является генераторами сигнала синхронизации, единственным назначением которого является синхронизация. Другие администрации полагаются на синхронизацию BITS или SSU от коммутационных систем или кросс-коммутаторов. Генератор BITS или SSU должен быть генератором, который наилучшим образом действует в условиях стресса и удержания и является наиболее надежным. В соответствии с принципом BITS или SSU, рабочие характеристики синхронизации офиса будут определяться генератором BITS/SSU, т.к. только генератор BITS/SSU подвержен стрессу в отношении его эталонного сигнала синхронизации.

Для сведения к минимуму количества проскальзываний необходимо применять лучшее оборудование для передачи эталонного сигнала синхронизации. Наилучшее оборудование должно вырабатывать эталонный сигнал с наименьшим числом сбоев. Это относится к эталонному сигналу, который имеет наименьшее среднее число SES и свободен от избыточной нестабильности синхронизации (джиттера и вандера). Эталонные сигналы, являющиеся полезными нагрузками на SDH/SONET, не должны использоваться для синхронизации, т.к. они подвержены обработке указателя, которая добавляет избыточный джиттер и вандер к эталонному сигналу. Подобным же образом, эталонные сигналы, которые передаются услугами ATM, будут иметь значительный вандер и не должны использоваться для синхронизации.

Каскадирование эталонных сигналов синхронизации по сети должно сводиться к минимуму (рис.11). Характеристики синхронизации будут всегда ухудшаться, т.к. синхронизация передается от генератора к генератору. Чем больше генераторов и оборудования в цепи синхронизации, тем больше будет накопленное ухудшение и тем больше частотный сдвиг. Каждое устройство будет добавлять ухудшения, на которые должны будут реагировать генераторы в цепи. Поэтому, для обеспечения наилучших характеристик цепи синхронизации должны оставаться короткими.

## Проблемы планирования.

Невозможно твердо придерживаться всех принципов планирования синхронизации одновременно.

Это особенно справедливо для частных сетей. Ограниченная возможность соединений частных сетей часто приводит к отсутствию вторичных эталонных сигналов и длинным цепям синхронизации. Кроме того, архитектура сети может сделать неизбежными нарушения иерархических ситуаций. Отсутствие вариантов внешней синхронизации в большей части CPE делает применение конфигурации BITS невыполнимой. Кроме того, большая часть частных сетей основывается на плохих характеристиках генераторов CPE слоя 4. При наличии всех этих факторов разработка адекватно действующего плана синхронизации частной сети может быть затруднена.

В сетях связи внедрение оборудования SDH и SONET может повлиять на количество каскадов в сети. Элементы сети SDH/SONET повторно синхронизируют оборудование. Так как оборудование становится SDH или SONET, цепи генераторов SDH /SONET могут появиться между офисами сети. Кроме того, так как большинство генераторов SDH /SONET имеют худшие характеристики, чем слой 3, возникают проблемы иерархии. Поэтому, с появлением SDH или SONET план синхронизации должен быть пересмотрен, чтобы гарантировать адекватные характеристики и устойчивость сети.

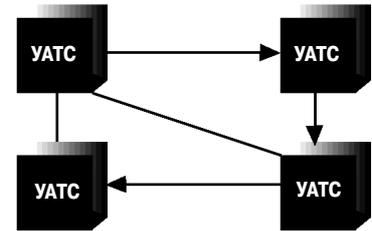


Рисунок 11 - Избыточное каскадирование

## **VI. Заключение.**

В данной работе был представлен обзор сетевой синхронизации. Было показано, что характеристики синхронизации оказывают значительное влияние на предоставление услуг по передаче цифровых данных, услуг передачи кодированных сообщений и на развитие новых технологий, таких как SDH и SONET. Главным фактором воздействия на характеристики синхронизации в реальной работе сети является частотный сдвиг, который генератор приемника демонстрирует относительно источника первичного эталонного сигнала (ПЭГ), к которому он «привязан». Это ухудшение характеристик может управляться введением нескольких первичных эталонных генераторов, путем использования устойчивых генераторов и правильного планирования синхронизации.

## Литература



- [1] AT&T, "Effects of Synchronization Slips," ITU-T Contribution COM SpD-TD, No. 32, Geneva, November, 1969.
- [2] J. E. Abate, and H. Drucker, "The Effect of Slips on Facsimile Transmission," ICC'88, 1988 IEEE.
- [3] H. Drucker, and A.C. Morton, "The Effect of Slips on Data Modems," ICC'87, CH2424-0/87/0000-0409, 1987 IEEE.
- [4] J. E. Abate, et al, "AT&T's New Approach to the Synchronization of Telecommunication Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 27, No. 4, April 1989.
- [5] K. Inagaki, et al, "International Connection of Plesiochronous Networks Via TDMA Satellite Link," International Conference on Communications, 1982 IEEE, 0536-1486/82/0000-0221.
- [6] M. Decina and Umberto de Julio, "Performance of Integrated Digital Networks: International Standards", International Conference on Communications, 1982 IEEE, 0536-1486/82/0000-0063.
- [7] American National Standard for Telecommunications, "Synchronization Interface Standards for Digital Networks," ANSI T1.101-1994.
- [8] European Telecommunication Standards, "The Control of Jitter and Wander Within Synchronization Networks," Draft ETS DE/TM-3017.
- [9] ITU-T Recommendation G.811, "Timing requirements at the output of primary reference clocks suitable for plesiochronous operation of international digital links."
- [10] ITU-T Recommendation G.824, "The control of jitter and wander-within digital networks which are based on the 1544 kbit/s hierarchies."
- [11] ITU-T Recommendation G.821, "Error performance of an international digital connection forming part of an integrated services digital network."
- [12] G. Garner, "Total Phase Accumulation in a Network of VT Islands for Various Levels of Clock Noise," Contribution to ANSI T1X1.3, Number 94-094, September, 1994.
- [13] ITU-T COM XVIII D.1378, "Standard Clock Testing Methodology," 1987.
- [14] "When the Timing is Right, Networks Run Like Clockwork," AT&T DataBriefs, Vol. 2, No. 4, November 1992.
- [15] "AT&T ACCUNET Synchronization Planning Service Makes Phantom Problems Disappear," AT&T DataBriefs, Vol. 2, No. 4, November 1992.

Для получения дополнительной информации по изделиям, предназначенным для измерений и испытаний, а также по их применению и обслуживанию, пожалуйста, обращайтесь в ближайшее представительство

или посетите нашу страницу в сети Internet  
по адресу: <http://www.hp.com>

---

Дополнительная информация:  
Сообщение по применению 1264-2  
Сообщение по применению 1264-3

**Содержащаяся здесь информация может быть изменена.  
Напечатано в США, июль 1995 г.**

**Авторское право компании Хьюлетт-Паккард ©, 1995 5963-6867E**