

СИНХРОНИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ

МЕТОДЫ, ТЕРМИНОЛОГИЯ, АППАРАТУРА



Н. Слепов

Синхронизация цифровых сетей – основа их нормальной работы. При восстановлении сигнала важна не только его форма, но и момент его детектирования приемником. Поэтому “часы” на любом из узлов транспортной сети должны показывать “одно и то же время” – т.е. работать синхронно, с точностью до пикосекунды. Как этого добиться без чрезмерно больших затрат, если узлы разнесены порой на тысячи километров?

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СИНХРОНИЗАЦИИ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ПОНЯТИЯ

Проблемы синхронизации цифровых сетей – это часть общей задачи синхронизации цифровых последовательностей, однако они имеют и некоторые специфические особенности. Две сопоставляемые цифровые последовательности могут быть синхронизированы по трем параметрам:

- по времени прихода на узел сети t – *временная синхронизация*;
- по начальной фазе синхронизируемого блока – *фазовая синхронизация*;
- по длительности интервала (τ) или частоте следования импульсов $f = 1/\tau$ – *частотная синхронизация*.

Задача временной синхронизации глобальна, но решается просто, если использовать службу *единого скоординированного времени* (UTC) или единый источник синхронизации, например навигационные системы Logan-C и GPS/ГЛОНАСС. Фазовая синхронизация актуальна только для конкретного физического устройства и достаточно просто обеспечивается системами фазовой автоподстройки, позволяющими привязывать начальную фазу сигнала к началу такта локального тактового генератора.

Проблема частотной синхронизации – наиболее сложная, поскольку она глобальна и локальна одновременно (она актуальна как для всей транспортной сети, так и для любого конкретного мультиплексора или коммутатора в точке восстановления). Подавляющее большинство проблем синхронизации относится именно к частотной синхронизации, поэтому далее будем рассматривать только ее.

В цифровых системах с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ), использующих плездохронную и синхронную цифровую иерархию (ПЦИ/PDH, СЦИ/SDH), основной вид синхронизации – тактовая, она определяет остальные (по фреймам и мультифреймам) виды синхронизации. Проблемы синхронизации возникают, когда несколько простых локальных сетей (узлы имеют топологию “звезды”

и настолько близки друг к другу, что временем распространения сигналов между ними можно пренебречь), причем каждая со своим источником тактовой сетевой синхронизации (ТСС), объединяются в сложную сеть передачи.

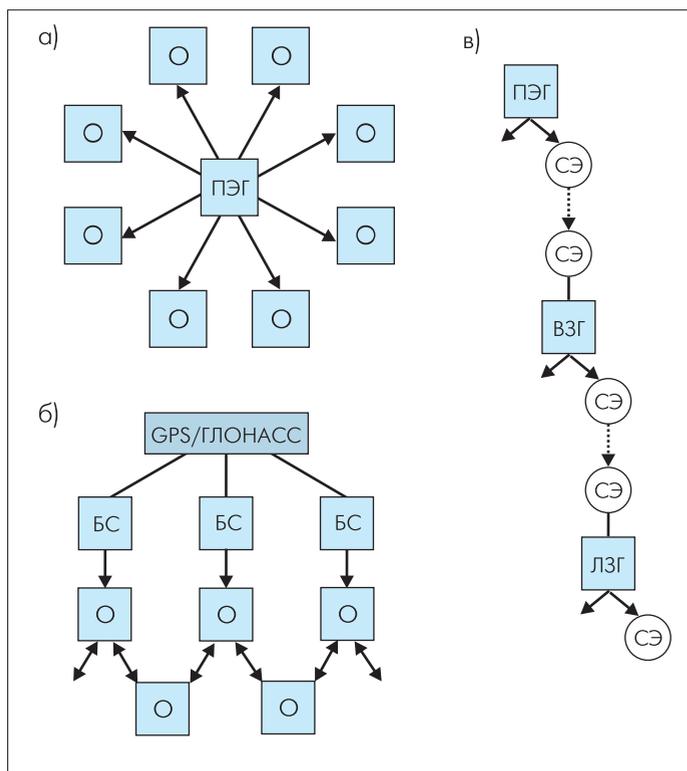
Если на передающем и принимающем узлах частоты источников тактовой синхронизации (*хронирующих источников, или таймеров*) не совпадают, за определенное время накапливается *ошибка временного интервала* (ОВИ/PIE), равная разности момента прихода (t_n) n -го импульса цифровой последовательности и момента генерации (t_g) n -го импульса источником тактовой синхронизации принимающего узла. Частота местного источника ТСС может быть выше или ниже частоты принимаемой последовательности. В зависимости от этого, когда ОВИ становится соизмеримой с длиной тактового интервала, происходит либо пропадание одного импульса, либо формирование лишнего – что приводит к срыву синхронизации. Данное явление называют *проскальзыванием* или *слипом* (slip). При передаче аудиосигнала слипы воспринимаются как щелчки – до определенного уровня это терпимо. Однако при передаче данных они приводят к нарушению связи.

Качество синхронизации можно оценить периодом времени, за который накопленная ОВИ приводит к срыву тактовой синхронизации, или *частотой проскальзываний в единицу времени*. Учитывая, что отдельные участки сложной сети могут синхронизироваться от источников различной точности, важно определить предельно допустимые значения частоты слипов. В соответствии с руководящими техническими материалами Министерства связи (РТМ МС) РФ [1] все системы ТСС классифицируются по четырем типам: *синхронный* – слипов фактически нет; *псевдосинхронный* – допускается ≤ 1 слип/70 дней; *плездохронный* – ≤ 1 слип/17 часов и *асинхронный* – ≤ 1 слип/7 с.

ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ ТСС

Общие вопросы синхронизации и основные определения описаны в рекомендации ITU-T G.810, они актуальны для сетей как с PDH, так и с SDH. Цель тактовой синхронизации – передать с требуемой точностью информацию о длине единичного тактового интервала τ_0 (или о тактовой частоте f_0) всем устройствам/узлам одной сети или всем взаимодействующим сетям. Компактную региональную сеть можно синхронизировать одним высокоточным таймером (первичным) в центральном узле сети, транслируя его такты на другие узлы сети (как в службе времени большого города). Для этого необходим не только первичный таймер, но и надежная *система распределения сигнала синхронизации* (СРСС) на все узлы сети.

Если сеть глобальная, то для синхронизации ее можно разделить на несколько региональных сетей, каждая – со своим первичным таймером и СРСС. Существуют два основных метода тактовой



Основные схемы построения сетей синхронизации:
а – одноуровневая звезда; **б** – распределенная одноуровневая;
в – иерархическая многоуровневая. БС – блок синхронизации,
 ЛЗГ – локальный задающий генератор; О – синхронизируемые узлы

синхронизации [1]: иерархический метод *принудительной синхронизации* с парами таймеров *ведущий-ведомый*, и неиерархический метод *взаимной синхронизации*. На практике распространен только первый метод. В качестве единственного он принят и на *Взаимозвязанной сети связи* (ВСС) РФ [2].

СРСС строится по трем альтернативным схемам:

- одноуровневая звезда (см. рис., а) – все узлы сети питаются от одного *первичного эталонного генератора* тактовых импульсов (ПЭГ), расположенного в центре звезды (хабе);
- распределенная одноуровневая схема (рис., б) – каждый (или каждый второй) узел сети снабжается ПЭГ или его эквивалентом – приемником сигналов единого первичного эталонного генератора;
- иерархическая многоуровневая схема (рис., в). Ее суть в том, что сигналы ПЭГ (первый уровень иерархии) распределяются по синхронизируемым элементам (СЭ) дерева сети синхронизации до второго уровня иерархии, где они управляют вторичными ис-

точниками – вторичными задающими генераторами (ВЗГ), которые через цепочки СЭ управляют локальными источниками синхронизации третьего уровня иерархии (табл. 1). Эта схема управления часто называется схемой типа *ведущий-ведомый* (или master-slave). В документах о ВСС РФ принята именно эта схема управления синхронизацией [1, 2].

ПЭГ строится на основе хранирующих атомных источников тактовых импульсов (водородный или цезиевый эталон) с точностью поддержания частоты не хуже 10^{-13} – 10^{-12} . Калибруется вручную или автоматически по сигналам UTC. Сигналы ПЭГ (а также генераторов нижних уровней иерархии) распространяются аппаратурой распределения сигнала *синхронизации* (SDU/APCC), обеспечивающей на практике от 16 до 520 интерфейсных выходов сигналов ТСС, которые по наземным линиям связи передаются для управления ВЗГ.

Стандарты предусматривают четыре режима работы хранирующих источников: – *режим ПЭГ* (мастер-узел); *режим принудительной синхронизации* (ведомый ВЗГ, транзитный и/или местный узлы); *режим удержания* (holdover) с точностью удержания $5 \cdot 10^{-10}$ для транзитного узла и 10^{-8} для местного узла и с суточным дрейфом 10^{-9} и $2 \cdot 10^{-8}$, соответственно [1]; *свободный режим* (free run) для транзитного и местного узлов с точностью удержания 10^{-8} и 10^{-6} , соответственно.

ТОЧНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ОСНОВНЫЕ ОШИБКИ ЭТАЛОННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Эталонные источники разных уровней формируют следующие эталонные синхросигналы:

- 2048 кГц – синхронный частотный сигнал в соответствии с IТУ-T G.703/13 – для синхронизации АТС, УАК (узлов автоматической коммутации), систем ПЦИ/PDN и СЦИ/SDH;
- 2048 Кбит/с – потоковый синхронный сигнал псевдослучайной последовательности в соответствии с IТУ-T G.703/9, или сигнал, получаемый из входного сигнала Е1 (от АТС или УАК) с использованием функции ретайминга (retiming, ресинхронизация). Применяется для синхронизации систем PDH, SDH и мультиплексорного оборудования;
- синхронный 64-кГц сигнал для синхронизации основных цифровых каналов (ОЦК) PDH;
- дополнительные синхронные сигналы 8 кГц; 1; 5 и 10 МГц – для синхронизации цифрового оборудования.

При этом эталонные источники обладают определенной нестабильностью, отдельные параметры которой нормируются соответствующими стандартами для каждого класса оборудования (см. табл. 1). Основные из них:

- *дрожание фазы/джиттер* (jitter) – кратковременные, с частотой выше 10 Гц, смещения фронтов сигнала тактовой синхронизации

Таблица 1. Основные стандартные обозначения и параметры элементов сетей синхронизации

Тип источника	Обозначение	Соответствие стандарту	Точность поддержания частоты, не хуже	Максимальный суточный уход частоты	Точность удержания частоты при потере внешней синхронизации	Полоса захвата	Уровень иерархии	Примечание
Первичный эталонный генератор	PRC/ПЭГ	ITU-T G.811	10^{-11}	–	–	–	1	Включает один или несколько первичных эталонных источников
Вторичный (ведомый) задающий генератор	SRC (SSU)/ВЗГ	ITU-T G.812	10^{-9}	$2 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$ /сутки	$\pm 10^{-8}$	2	Управляется от ПЭГ, служит таймером транзитного узла TNC (SSU-T по стандарту IТУ-T G.812-T) либо таймером локального (местного) узла LNC (SSU-L по стандарту IТУ-T G.812-L)
Местный задающий генератор	LNC (SSU-L)/МЗГ	ITU-T G.813	10^{-8}	10^{-8}	10^{-9} /сутки	$\pm 4,6 \cdot 10^{-6}$	3	Устройство, аналогичное ВЗГ
Блок сетевой синхронизации	SSU/Clock/БСС	PTM [1]	От $3 \cdot 10^{-10}$ до $5 \cdot 10^{-8}$	–	–	–	2 и 3	–
Генератор сетевого элемента	SEC/ГСЭ	ANSI T.1.101 Stratum 3	$4,6 \cdot 10^{-6}$	–	$5 \cdot 10^{-8}$ /сутки	$\pm 4,6 \cdot 10^{-6}$	Оконечное оборудование	Встроен в мультиплексорное оборудование

относительно их идеальных положений во времени. Для всех типов генераторов джиттер не должен превышать 5% от длительности единичного интервала в выходном сигнале 2048 кГц или 2048 Кбит/с;

- дрейф фазы/вандер (wander) – медленные, с частотой не выше 10 Гц, смещения фронтов сигнала тактовой синхронизации относительно их идеальных положений во времени. Для всех типов генераторов вандер не должен превышать 12,5% от длительности единичного интервала в выходном сигнале 2048 кГц или 2048 Кбит/с;
- полоса захвата (hold-in range) – максимальное расхождение между тактовыми частотами ведущего и ведомого генераторов, в пределах которого ведомый генератор обеспечивает автоподстройку частоты;
- ошибка временного интервала ОВИ/ТИЕ – разность между измененными значениями временного интервала T , необходимого тестируемому генератору для генерации n импульсов длительностью τ_0 ($T = n \cdot \tau_0$), и аналогичного временного интервала T_{ref} для эталонного генератора ($T_{ref} = n \cdot \tau_{ref}$): $PIE(t, n) = T(t, n) - T_{ref}(t, n)$;
- максимальная ошибка временного интервала МОВИ/МТИЕ – максимальное значение разброса временных отклонений сигналов тестируемого генератора от эталонного за некоторый период измерения T ;
- девиация временного интервала ДВИ/ТДЕВ – измеренное максимальное отклонение параметров временного интервала от их среднего значения;
- относительное отклонение частоты $\Delta f/f_n = (f_d - f_n) / f_n$, где f_d – действительная частота сигнала, f_n – заданная номинальная частота сигнала.

КЛАССЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ХРОНИРУЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ

Основных международных классификаций хронирующих источников две – на основе стандарта ANSI T1.101 и на основе рекомендаций ITU-T G.811, G.812, G.813 (табл.2). Еще существуют национальные классификации, например предложенная в РТМ МФ РФ классификация на основе понятия “блок системы синхронизации” (БСС) [1]. Статистика возникновения проскальзываний при взаимодействии двух узлов, синхронизируемых таймерами различной точности (табл.3) [3], показывает, что при существующей точности таймеров синхронный режим вообще недостижим, псевдосинхронный обеспечивают только узлы с таймерами класса Stratum 1 или G.811, а плезисинхронный режим можно поддержать, если точность таймеров взаимодействующих узлов не хуже 10^{-9} . Из отечественных таймеров последний режим обеспечивают только генераторы на основе БСС-1. Существенно, что приведенная статистика характеризует только одно звено синхронизации. В многозвенной схеме ситуация ухудшается пропорционально числу звеньев.

Таблица 2. Классы эталонных таймеров

Класс (стандарт) таймера	Точность, не хуже
Stratum 1	$1,0 \cdot 10^{-11}$
Stratum 2	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Stratum 3	$4,6 \cdot 10^{-6}$
Stratum 3E	$4,6 \cdot 10^{-6}$
Stratum 4/4E	$3,2 \cdot 10^{-5}$
G.811 (PRC)	$1,0 \cdot 10^{-11}$
G.812 (SRC)	$1,0 \cdot 10^{-9}$
G.813 (SEC)	$1,0 \cdot 10^{-8}$
БСС-1	$3,0 \cdot 10^{-10}$
БСС-2	$2,0 \cdot 10^{-8}$
БСС-3	$5,0 \cdot 10^{-8}$
Stratum 0	$1,0 \cdot 10^{-12}$
ANSI Stratum 2	$1,0 \cdot 10^{-10}$
ITU Type I	$1,0 \cdot 10^{-10}$
ITU Transit	$1,0 \cdot 10^{-9}$
ITU Local	$2,0 \cdot 10^{-8}$
British Standard	$1,0 \cdot 10^{-9}$
Belcore 3E	$1,0 \cdot 10^{-8}$
CCITT G.703	$5,0 \cdot 10^{-5}$
SCC3 (MainStreet 3645)	$2,5 \cdot 10^{-5}$ (в свободном режиме)

Таблица 3. Статистика возникновения слипов в цифровых сетях, время на один слип

Точность таймера в узле 2, не ниже	Точность таймера в узле 1, не ниже							
	$1,0 \cdot 10^{-11}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	
$1,0 \cdot 10^{-11}$	72,3 суток	2,2 ч	27,2 с	3,9 с	34,4 ч	2,5 с	5,0 с	
$1,6 \cdot 10^{-8}$	2,2 ч	65,1 мин	27,1 с	3,9 с	2,0 ч	2,5 с	5,0 с	
$4,6 \cdot 10^{-6}$	27,2 с	27,1 с	13,6 с	3,4 с	27,2 с	2,3 с	4,2 с	
$3,2 \cdot 10^{-5}$	3,9 с	3,9 с	3,4 с	2,0 с	3,9 с	1,5 с	2,2 с	
$1,0 \cdot 10^{-9}$	34,4 ч	2,0 ч	27,2 с	3,9 с	17,4 ч	2,5 с	5,0 с	
$5,0 \cdot 10^{-5}$	2,5 с	2,5 с	2,3 с	1,5 с	2,5 с	1,2 с	1,7 с	
$2,5 \cdot 10^{-5}$	5,0 с	5,0 с	4,2 с	2,2 с	5,0 с	1,7 с	2,5 с	

ОБОРУДОВАНИЕ СИНХРОНИЗАЦИИ СЕТИ

Оборудование для синхронизации сетей можно условно разделить на две большие категории: автономные хронирующие источники и датчики точного времени. Первые основаны на прецизионных атомных (водородных, рубидиевых или цезиевых) эталонах времени. Достаточно дорогие и редкие до недавнего времени, они (из-за бурного развития синхронных систем связи) производятся серийно и вполне доступны для установки в сетях. Характерные примеры подобных устройств [4]: эталоны водородные – активный VCN-1003A (погрешность по частоте $\pm 1,5 \cdot 10^{-12}$) и пассивный VCN-1004 (погрешность $\pm 3,0 \cdot 10^{-12}$); цезиевый HP 5071A (погрешность $\pm 1,5 \cdot 10^{-12}$); рубидиевый НИПИ Р-1050С ($\pm 2,0 \cdot 10^{-11}$). Более широко (в первую очередь, в качестве БСС) распространены генераторы с кварцевым первичным источником, но они не используются в ПЭГ. Характерный пример – кварцевый таймер ONIIP M0075 с суточной нестабильностью по частоте $\pm 1,0 \cdot 10^{-9}$.

Однако сегодня наиболее простое решение – датчики точного времени, работающие со спутниковыми системами точного времени. Они обладают точностью синхронизации 10^{-11} и точностью удержания частоты 10^{-10} . Наиболее доступна (из универсальных и точных) система мирового скоординированного времени UTC. Для его трансляции используются несколько спутниковых систем. Наиболее известные из них – международная спутниковая радионавигационная система LORAN-C, отечественная система позиционирования ГЛОНАСС и глобальная система позиционирования GPS (США) [5]. Последняя, в силу дешевизны приемного оборудования, получила наибольшее распространение.

На основе GPS/ГЛОНАСС были разработаны – как альтернатива ПЭГ – первичные эталонные источники (ПЭИ/PRS, точность не хуже 10^{-11}) и связанная с ними технология локальных первичных эталонов (ЛПЭ/LPR). В этой технологии сигналы UTC используются для подстройки частоты управляемых сетевых таймеров классов ВЗГ или МЗГ. Многие западные телефонные компании используют ее для таймеров класса TNC на транзитных узлах вместо традиционных улучшенных рубидиевых часов. ЛПЭ с синхронизацией от UTC перекрывают требования по точности 10^{-11} стандартов ITU-T для ПЭГ. Системы с распределенными ЛПЭ не только увеличивают надежность синхронизации цифровых сетей, но и устраняют (при использовании сообщений о статусе синхронизации SSM) саму возможность нарушения синхронизации на цифровой сети связи.

Роль российской системы ГЛОНАСС аналогична GPS, хотя ей и предстоит еще нелегкий путь, связанный с модернизацией спутниковой группировки и выпуском отечественных приемников ГЛОНАСС. Отметим, что ведущие мировые производители сетевых таймеров заявляют, что оборудование следующего поколения будет способно принимать как сигналы системы GPS, так и ГЛОНАСС [5]. Опытные образцы интегральных приемников ГЛОНАСС демонст-



рируют и отечественные разработчики, в частности – ФГУП НИИМА “Прогресс”.

Оборудование для ТСС производит ряд компаний во всем мире, таких как Oscilloquartz (Швейцария), Datum (США), Symmetricom (США); Siemens (Германия), Agilent Technologies (США), “Алто” (Санкт-Петербург), “Время-Ч” (Нижегород). Достаточно известна, например, линейка таймеров компании Hewlett-Packard, которую теперь производят фирмы Symmetricom и Agilent Technologies. Эта линейка включает таймеры для узлов всех трех уровней и систему управления сетью синхронизации – операционную оболочку HP SmartView. Для мастер-узлов выпускается внешний ПЭГ на основе цезиевого стандарта частоты HP 5701A (Agilent Technologies), обеспечивающий точность не хуже $(1-2) \cdot 10^{-12}$ (типовое значение – $5 \cdot 10^{-13}$). Прибор рассчитан на срок службы 10–15 лет, использует фреймовую синхронизацию 8 кГц для автоматической настройки, время готовности после включения – 20 минут.

Для сетей с распределенными ПЭГ или для распределительных транзитных узлов производится источник HP 55300A (Symmetricom). Его точность на большом интервале – $\sim 10^{-11}$, внешняя синхронизация – либо от HP 5701A, либо от датчика системы GPS (точность $\sim 10^{-12}$ в Р-режиме повышенной точности), либо от сигналов спутниковой системы точного времени Logan-C. HP 55300A удобен при распределении сигналов синхронизации в сетях SDH. В распределительных транзитных узлах эффективен источник HP 55400A (Symmetricom) класса ANSI Stratum 2. Его точность – 10^{-10} . Таймер оснащен интерфейсной панелью с 9 входами и 400 выходами, может управляться от HP 55300A.

СИНХРОНИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ SDH

Проблема синхронизации сетей SDH, с одной стороны, является частью общей проблемы синхронизации цифровых сетей. Но SDH привносит и свои проблемы, вызванные плавающим режимом размещения контейнеров в поле полезной нагрузки. Это фактически приводит к определенной (внутренней) асинхронности трафика, что не позволяет использовать для синхронизации поток 2 Мбит/с, выделенный при демультиплексировании из потока STM-N. Однако технология SDH предлагает и свои специфические методы решения проблем синхронизации [5].

Целостность синхронизации сети PDH основана на схеме иерархической принудительной синхронизации (*ведущий-ведомый*). Прохождение сигналов таймеров через узлы сети PDH прозрачно, так как фазы используемых для синхронизации сигналов в потоках E1 жестко привязаны к фрейму PDH. В сети SDH, восстанавливающей в каждом узле сигнал таймера из линейного сигнала STM-N, такая прозрачность теряется, и сигнал потока E1, демультиплексированный из потока STM, нельзя использовать для синхронизации без специальной процедуры ретайминга. Последнюю реализуют преобразователи сигналов синхронизации (ПСС, *retimer*), восстанавливающие исходную точность синхронизации плезихронному потоковому сигналу 2048 Кбит/с, нарушенную действием механизма указателей полезной нагрузки при прохождении через SDH-сети.

Кроме того, сети SDH наряду с привычной топологией точка-точка используют кольцевую и ячеистую топологии, для которых маршруты сигналов могут меняться в процессе функционирования сетей – а это дополнительные проблемы синхронизации.

Сети SDH имеют несколько дублирующих источников синхронизации [5], подразделяемых на внешние и внутренние.

Внешняя синхронизация – это сигнал с частотой 2048 кГц (см. ITU-T G.703, п.13):

- от внешнего сетевого таймера типа ПЭГ;

- с интерфейса канала доступа (аналог таймера транзитного узла), выделяемый из первичного потока 2048 Кбит/с;
- выделяемый из линейного сигнала 155,520 Мбит/с или 4n-155,520 Мбит/с (линейный таймер).

Внутренняя синхронизация – это сигнал 2048 кГц внутреннего таймера (аналог таймера ведомого локального узла). Его точность регламентируется производителями, и для мультиплексоров SDH выбирается на уровне Stratum3 ($4,6 \cdot 10^{-6}$).

Точность внутреннего таймера мала, ошибка накапливается при так называемом “каскадировании сигналов таймеров”, когда узел сети восстанавливает сигнал таймера по принятому сигналу и передает его следующему узлу. Поэтому использовать внутренний таймер можно только локально. В этом смысле наиболее надежны сигналы внешнего сетевого таймера и линейный сигнал STM-N. Вообще же, целостность синхронизации сети SDH лучше поддерживается при распределенных первичных эталонных источниках (рис., б) – меньше влияет топология сети, нет эффектов “каскадирования сигналов таймеров”. Однако данный метод не используется на ВСС РФ.

КАЧЕСТВО ХРОНИРУЮЩЕГО ИСТОЧНИКА

Хронирующие источники могут работать в одном из четырех режимов, следовательно, системы управления должны переключать эти режимы, причем необходим показатель, на основе которого принимается решение о переключении. В качестве такого показателя ITU-T ввел понятие *уровень качества хранирующего источника*, который может быть передан в виде сообщения о статусе синхронизации (SSM). В системах PDH (согласно новой версии стандарта ITU-T G.704) SSM передается в последовательности резервных бит в мультифрейме E1, в сетях SDH – в заголовке фрейма STM-N, где для SSM зарезервированы четыре бита (с пятого по восьмой) байта синхронизации S1. При сбое в сети узел, ответственный за распространение SSM, способен послать сообщение системе управления о необходимости использования альтернативного сигнала синхронизации. Современные системы управления сетью используют до шести уровней качества хранирующего источника (табл.4). Сообщение “Уровень качества неизвестен” означает, что сигнал хранирующего источника получен со старого оборудования PDH/SDH, не поддерживающего сервис SSM. Сообщение “Не рекомендуется использовать для синхронизации” может прийти от блока, чей интерфейс STM-N уже задействован для синхронизации. Обозначения кода качества Qn используются на схемах сетей синхронизации.

Таблица 4. Возможные уровни качества хранирующего источника

Символ // код качества	Уровень качества хранирующего источника
Unknown//0000 или Q0	Уровень качества неизвестен
PRC или G.811//0010, или Q2	ПЭГ, ITU-T G.811
TNC или G.812T//0100, или Q4	Таймер транзитного узла, ITU-T G.812
LNC или G.812L//1000, или Q8	Таймер локального узла, ITU-T G.812
SETS//1011 или Q11	ГСЭ
DUS (Don't use)//1111 или Q15	Не рекомендуется использовать для синхронизации

СИНХРОНИЗАЦИЯ В РОССИИ

Решение проблемы синхронизации цифровых сетей – в создании общей сети ТСС в рамках единой цифровой сети связи. Такой единой сетью в России может быть только ВСС РФ. Ее создание, провозглашенное в [2], было поддержано техническими решениями, основанными на международных стандартах и предложенными в РТМ МС РФ [1], а также организационными мероприятиями, например приказами Минсвязи №№ 134 и 141 (от 30 ноября и 26 декабря 1996 года).

Основные административно-технические меры предполагали построение сети с иерархической принудительной синхронизацией с узлами типа *ведущий-ведомый*. Сеть ТСС должна формироваться по региональному принципу, с качеством синхронизации на уровне псевдосинхронного режима. Предусмотрено пять регионов: Центральный (Москва), Северо-Западный (С.-Петербург), Сибирский (Новосибирск), Дальневосточный (Хабаровск) и Южный (Ростов). Предполагается создать еще три дополнительных региона с центрами в Екатеринбурге, Самаре и Иркутске. Региональные сети – типа “звезда” с ПЭГ и ВЗГ (стабильность не хуже 10^{-11} и 10^{-9} , соответственно). ВЗГ в сети могут иметь резервные взаимные связи. На каждый ВЗГ сигнал синхронизации должен поступать по двум (основному и резервному) независимым разнесенным направлениям, причем переключение на резервное направление не должно создавать в топологии замкнутых петель для циркуляции сигнала синхронизации.

Сигналы синхронизации распространяются по схемам: для узлов – мастер-узел → транзитный узел → местный узел, причем количество ведомых узлов не должно превышать 10; для сетей – ПЭГ → магистральная сеть → внутризоновая или местная сети или магистральная сеть → внутризоновая сеть → местная сеть. Таймеры в узлах синхронизации поддерживают все четыре режима работы хронизирующих источников.

Сети PDH предполагается синхронизировать сигналом 2048 кГц, полученным из входного сигнала каналов E1 2048 Кбит/с, или тактовым сигналом, переданным через интерфейс G.703 п.13; сети SDH или смешанные сети (PDH-SDH) – сигналом 2048 кГц, полученным из линейного сигнала STM-1 (155,520 Мбит/с). Отметим, что во время разработки руководящих документов [1] еще не было информации о других путях синхронизации сетей SDH, в частности – посредством устройств ПСС или мультиплексоров SDH с функцией ретайминга. Все оборудование узла или станции должно синхронизироваться от одного источника, посредством сети с топологией “звезда”. Предполагается, что режим работы ВСС РФ в целом будет не хуже плезиохронного. Однако, несмотря на определенные сдвиги в этой области, ни сеть ТСС, ни сеть ВСС так и не созданы.

Национальный оператор дальней связи ОАО “Ростелеком” в рамках незавершенной сети ВСС сумел создать собственную корпоративную сеть ТСС, которая с легкой руки Минсвязи и ЦНИИС была названа Базовой сетью ТСС и стала предлагаться для коммерческого использования другим операторам связи [6]. ЗАО “Транстелеком” также завершает создание ТСС на собственной корпоративной сети.

Окончательное развертывание сети ТСС ОАО “Ростелеком” завершится к 2005 году, однако апробацию и первоначальную приемку она уже прошла. Сеть разделена на пять указанных выше регионов, с топологией двухуровневой звезды (первый уровень – ПЭГ, второй – ВЭГ) и схемой *ведущий-ведомый* в каждом регионе. В полном соответствии с принципами синхронизации ВСС, сеть ТСС имеет основные и резервные пути передачи синхросигналов с достаточно высоким качеством.

Синхронизирующее оборудование сети ТСС – компании Oscilloquartz. Каждый регион оснащен своим ПЭГ (а Центральный – двумя: в Москве и в Московской области), к которому подключены несколько ВЗГ. Эти генераторы на границах регионов служат резервными для соседних регионов. В цепочках нижнего уровня расположено не более двух ВЗГ.

Каждый ПЭГ содержит три источника эталонного сигнала: два цезиевых стандарта частоты и один приемник навигационных сигналов GPS. Предусмотрена возможность передачи синхросигнала в соседний регион. Генераторы ВСС (таймеры коммутационных станций) практически не используются, чтобы не ухудшать качества синхронизации базовой сети.

Система управления ТСС на базовой сети позволяет постоянно контролировать состояние сигналов синхронизации, предоставляемых другим операторам связи, и следить за состоянием пограничного оборудования их систем ТСС.

Проработаны четыре класса подключения сетей ТСС операторов к базовой сети ТСС ОАО “Ростелеком” [7]:

1 класс – подключение непосредственно к выходам ПЭГ (кабель до 100 м и получение сигнала синхронизации 2048 кГц или потокового сигнала 2048 Кбит/с при большем расстоянии). Допускаются последовательные цепочки до 20 мультиплексоров SDH между двумя ВЗГ (но в сумме не более 60) и до 10 последовательных ВЗГ;

2 класс – подключение к выходу ВЗГ (2048 кГц или потоковый сигнал 2048 Кбит/с). Допускаются последовательные цепочки до 20 мультиплексоров SDH между двумя ВЗГ (но в сумме не более 30) и до восьми ВЗГ;

3 класс – подключение к выходу мультиплексора SDH при наличии на сети оператора своего ВЗГ, расположенного не дальше, чем через пять мультиплексоров SDH от точки подключения. Остальные ограничения – как во втором классе;

4 класс – подключение к коммутационным станциям (работающим в синхронном режиме) или мультиплексорам PDH, если в сети оператора сразу за точкой подключения есть свой ВЗГ. При этом допускаются последовательные цепочки до 20 мультиплексоров SDH между двумя ВЗГ или МЗГ (но в сумме не более 20) и до четырех ВЗГ или МЗГ.

Система ТСС цифровой сети ЗАО “Транстелеком” аналогична структуре ТСС



ОАО "Ростелеком" – те же пять регионов с ПЭГ и *n* ВЗГ в каждом [4]. Отличия состоят в использовании оборудования компании Symmetricom (Hewlett-Packard), большей унификации оборудования на синхронизируемой сети, а также в том, что компания планирует обеспечивать не только частотную, но и (в будущем) временную синхронизацию для обработки данных в режиме реального времени. Основа системы управления сетью ТСС (пока еще не завершенной) – операционная оболочка HP SmartView, обеспечивающая оператору единое представление и контроль функционирования аппаратуры всей системы ТСС и сети связи в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. РТМ по построению тактовой сетевой синхронизации (ТСС) на цифровой сети связи Российской Федерации. – М.: ЦНИИС, 1995.
2. Концепция развития связи Российской Федерации / Под ред. В.Б. Булгака и Л.Е. Варакина. – М.: Радио и связь, 1995. - 224 с.
3. MainStreet 3645. General Information. Release 5. Newbridge, 1994.
4. **Рыжков А.В., Кириллов В.П., Кадерлеев М.К.** Основы системы ТСС магистральной цифровой сети. – Вестник связи, 2000, №10.
5. **Слепов Н.Н.** Современные цифровые технологии оптоволоконных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000.
6. **Алексеев Ю.А., Колтунов М.Н., Улановская Л.Л., Шишигин М.В., Шлюгер Б.И.** Особенности подключения сетей ТСС операторов связи к сети ТСС ОАО "Ростелеком". – Электросвязь, 2000, № 8.
7. **Шварц М.Л.** Подключение региональных сетей к базовой сети ТСС ВСС РФ. Материалы семинара "Построение сети тактовой сетевой синхронизации (ТСС). Внедрение на сетях операторов". – М.: Гипросвязь-Консалтинг, 23-25 октября 2001.