

Игорь ШКЛЯРЕВСКИЙ

# Измерение параметров

## синхронизации в цифровых телекоммуникационных сетях

Потребность в синхронизации (согласовании тактовых частот приемного и передающего оборудования в сетях связи для обеспечения на принимающей стороне точного декодирования передаваемого кодированного сигнала) возникла со времен появления модуляции и уплотнения сигналов в телефонных сетях (30-е годы прошлого века). Эта потребность стала более насущной, а требования к точности синхронизации — более жесткими после начала процесса перевода сетей связи на цифровые технологии. Однако только после начала строительства транспортных сетей синхронной цифровой иерархии (SDH) и появления в телекоммуникационных сетях смешанного трафика (передача данных и видеоизображения наряду с традиционной телефонией) точная синхронизация становится жизненно важным условием для обеспечения операторами требуемого качества услуг. Таким образом, указанная тема в настоящее время только приобретает свою актуальность для украинских сетей связи.

### Коротко об истории вопроса

Зарубежные публикации на эту тему появляются с конца 70-х годов и становятся заметными, начиная с 90-х годов, в то время, когда на американском рынке, традиционно возглавляющем процесс внедрения цифровых технологий в телекоммуникации, появился спрос на технические решения и оборудование для обеспечения синхронизации цифровых сетей связи [1–3]. Примерно год-два назад указанная тема стала популярной и в России, где вопросы синхронизации затрагивались как в периодической литературе, так и в серии книг, посвященных вопросам измерений в телекоммуникационных сетях [4]. Однако даже сегодня актуальность проблем синхронизации не ослабевает, так как бурное развитие IP-технологий и внедрение их в традиционную технику связи требует еще более тщательного подхода к указанной проблеме. Таким образом, вопросы синхронизации необходимо решать всерьез и надолго.

Необходимость передачи смешанного трафика в телекоммуникационных сетях сделало точную синхронизацию жизненно важным условием обеспечения требуемого качества услуг.

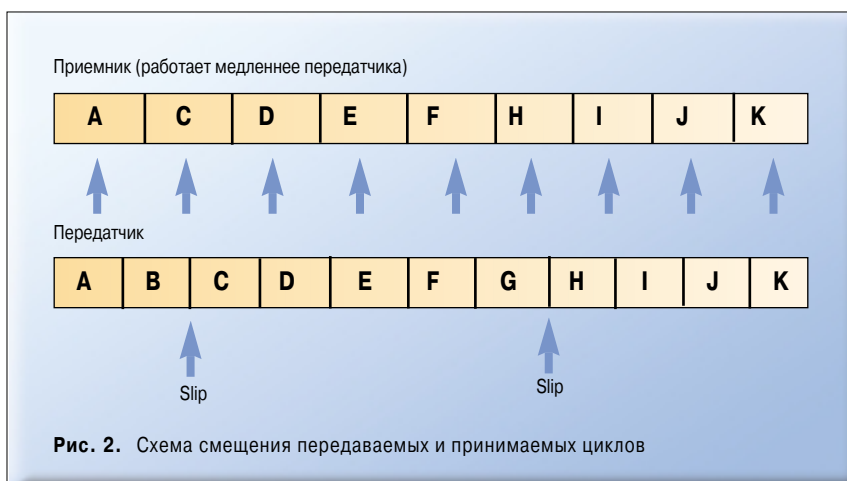
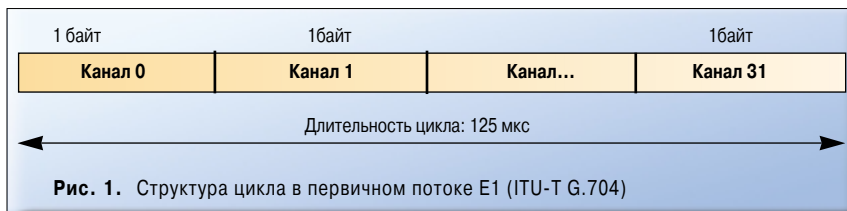
В серии статей, подготовленных автором (*ish@ist-k.kiev.ua*) по данной проблеме в результате обработки материалов зарубежных авторов, публикаций в Сети, углубленного анализа материалов предприятий-производителей соответствующего оборудования, а также на основании собственного опыта, предполагается затронуть вопросы технологии измерений параметров синхронизации, а также современных технических решений и методов планирования, применяющихся при построении сетей синхронизации как национального масштаба, так и менее крупных, но имеющих явную тенденцию к расширению, например, сетей операторов мобильной связи.

В связи с обилием англоязычной литературы на эту тему, а также с тем, что не вся русскоязычная терминология является устоявшейся, некоторые термины будут сопровождаться англоязычными эквивалентами (в скобках).

### Для чего нужна синхронизация?

Механизм синхронизации в цифровых сетях связи призван обеспечить единый для всей сети отсчет продолжительности временных интервалов, в рамках которых производится передача и прием байтов кодированной информации. На практике указанный механизм реализуется с помощью согласования тактовых частот сигналов опорных (эталонных) генераторов, встроенных в приемопередающее и коммутационное оборудование сети. Далее для краткости будем использовать термин «опорная частота» в применении к тому или иному оборудованию. Способы достижения такого согласования, их достоинства и недостатки коротко будут рассмотрены в следующем разделе, а более детально – в одной из следующих статей.

Недостаточно точная синхронизация в сети на каких-либо участках приводит к разнице скоростей приема и передачи информации на этих участках. Для большей наглядности приведем серию рисунков, отражающих результат такого рассогласования.



На рис. 1 условно показана структура одного цикла, или кадра (frame) первичного потока E1, состоящего из 32 байтов, соответствующих 32 каналам или канальным интервалам (channel или time slot).

Необходимо отметить, что в нулевом канальном интервале циклов передается сигнал цикловой синхронизации (FAS – Frame Alignment Signal), ошибочный прием которого вызывает срыв цикловой синхронизации и потерю всей информации, содержащейся в цикле. Далее, восстановление цикловой синхронизации и последующее возобновление передачи информации требует от нескольких десятков миллисекунд до нескольких секунд, в зависимости от типа применяемого оборудования и некоторых других факторов. Таким образом, срыв цикловой синхронизации влечет за собой потерю значительного количества информации, чем содержит один цикл, и вызывает заметную потерю качества предоставляемой в сети услуги, поэтому однозначно рассматривается как недопустимое явление (неисправность) в современных сетях связи.

Рис. 2 [1] иллюстрирует как при отличающихся скоростях передачи и приема сигнала происходит постепенное смещение во времени передаваемых и принимаемых байтов ин-

формации, которое может привести к описанной ранее потере цикловой синхронизации.

Однако, поскольку идеальной синхронизации достичь невозможно, при разработке протоколов передачи был предусмотрен механизм компенсации рассогласования частот, предупреждающий срыв цикловой синхронизации даже при отличающихся (в известных пределах) скоростях передачи и приема. Это – механизм управляемых проскальзываний канальных интервалов (controlled octet slip), или УП, работа которого вкратце описывается далее.

Для реализации механизма УП в приемном оборудовании предусмотрено создание эластичного буфера размером в один (или несколько) циклов. Передаваемая информация, скорость записи которой определяется опорной частотой передатчика, записывается в эластичный буфер, откуда потом считывается приемником со скоростью, определяемой, в свою очередь, опорной частотой приемника. Заполненность буфера зависит от степени соответствия скоростей записи и считывания. Если скорость записи выше, буфер переполняется и очищается, что приводит к потере цикла (циклы B и G на рисунке). Если скорость записи ниже, наоборот, приемник рано или поздно принимает повторно один и

Влияние управляемых проскальзываний  
на качество услуг в сетях связи

Таблица 1

Вид услуги	Влияние УП на качество услуги
Голосовой трафик (телефония)	Возможный щелчок
Модемная связь по аналоговой линии	Потеря данных, увеличение времени передачи
Факсимильная связь	Искажение одной или нескольких строк
Видеотрафик	Замирание кадра на экране, потеря соединения
Цифровая передача данных	Повторение передачи, увеличение времени
Кодированные данные (вокодер)	Потеря соединения, повторная передача ключа

тот же цикл. В любом случае, срабатывание буфера приводит к ошибке передачи, но не приводит к срыву цикловой синхронизации, чего и предполагалось достичь при помощи механизма УП.

Поскольку во вторичных сетях различные услуги (факс, вокодер и др.) используют различные, отличающиеся от E1, структуры цикла, а проскальзывания управляются только в рамках цикла E1, наличие УП все же приводит к появлению ошибок. **Таблица 1** показывает влияние УП на качество услуг [2, 4].

Учитывая указанное влияние, частота появления УП в сетях связи является нормируемым параметром, зависящим от категории качества предоставляемых услуг, участка коммутируемого соединения и т. п. (рекомендации ITU-T G.822, G.823).

### Джиттер или вандер?

Ранее было показано, что УП, непосредственно влияющие на качество услуг, являются защитным механизмом в сетях связи (что-то вроде электрических предохранителей в электросетях), зависящим

от рассогласования опорных частот оборудования, применяемого в этих сетях. Очевидно, что все частотные несогласованности прежде всего сказываются на фазовых характеристиках передаваемых сигналов. Однако фазовые характеристики зависят и от других факторов как физических (внешние электрические помехи, изменения физических параметров кабельных линий в некотором диапазоне температур), так и алгоритмических (скажем, смещение указателей в процедуре байтового выравнивания, или стаффинга в SDH сетях). Результирующая нестабильность фазы называется фазовым дрожанием или джиттером (jitter). Разновидность джиттера при медленных изменениях фазы (обычно — с частотой ниже 10 Гц) имеет название дрейфа фазы или вандера (wander).

Хотя на первый взгляд разделение фазовых нестабильностей на джиттер и вандер является достаточно условным, оно существует в практике эксплуатации сетей связи, в том числе в методологии соответствующих измерений. Не вдаваясь в подробности, сошлемся на устоявшееся

мнение [4, 5], что джиттер поддается фильтрации штатными системами ФАПЧ на уровне отдельно взятого оборудования передачи, в то время как вандер легко проходит без изменения через цепи фазовой синхронизации в таком оборудовании и имеет свойство накапливаться в сети, а в результате — значительно влиять на всю систему синхронизации. По этой причине измерение вандера оказывается более важным на сетевом уровне, и в рамках настоящей статьи мы сосредоточимся на описании измерения параметров, характеризующих вандер.

### Основные параметры вандера

Основными параметрами, характеризующими вандер и чаще всего применяемыми на практике, являются:

- *ошибка временного интервала* (TIE — Time Interval Error);
- *максимальная ошибка временного интервала* (MTIE — max TIE);
- *девиация времени* (TDEV — Time Deviation).

Указанные параметры (MTIE и TDEV) нормируются в рекомендациях ITU-T G.811, G.812 для различных уровней иерархии сети синхронизации. Более подробное рассмотрение этих норм и соответствующего различным уровням оборудования для построения сетей синхронизации предполагается в следующей статье.

TIE определяется как отклонение фазы измеряемого сигнала относительно эталонного, выраженное в единицах времени и измеренное в моменты начала и конца интервала измерений (S). MTIE определяется как максимальное значение TIE в пределах интервала измерений. На **рис. 3** представлена наглядная графическая интерпретация обоих параметров.

Девиация времени TDEV является параметром, зависящим от времени измерений и определяется как среднеквадратичное отклонение временных TIE. Более точные математические определения обоих параметров можно найти, например, в работе [5].

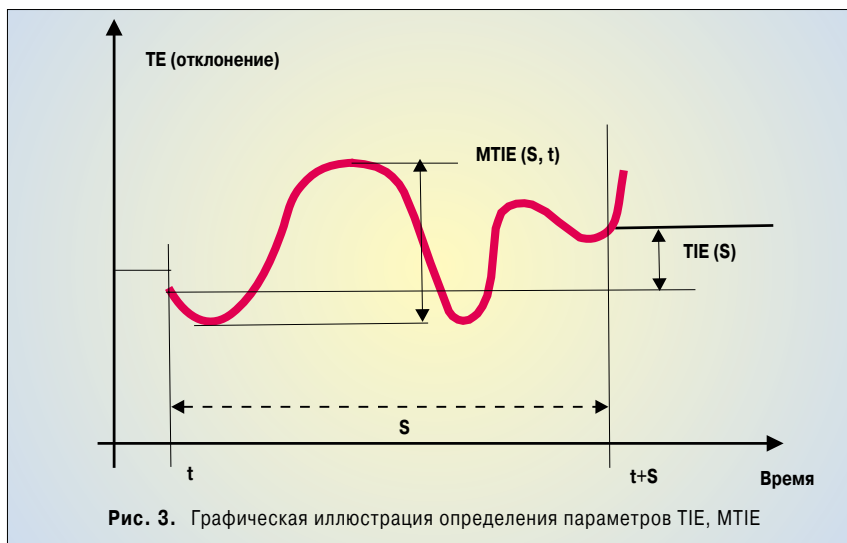


Рис. 3. Графическая иллюстрация определения параметров TIE, MTIE

### Особенности методологии и некоторые приборы для измерения параметров вандера

Измерения ПЕ являются, по сути своей, измерениями частоты измеряемого сигнала по сравнению с частотой эталонного. В качестве эталонного сигнала используется стабильный сигнал эталонного генератора, кварцевого либо на основе атомов цезия или рубидия. Современные измерительные приборы имеют, как правило, встроенные рубидиевые источники, поскольку цезиевые, хотя и более стабильны, имеют большие габариты и стоимость, а кварцевые недостаточно стабильны. Понятно, что стабильность применяемого эталонного генератора непосредственно определяет точность измерений. Кроме того, на точность измерений влияет ряд других факторов как внутренних (например, разрешающая способность фазового компаратора), так и внешних (стабильность температуры и магнитного поля окружающей среды).

Еще одной характерной особенностью измерений вандера является практически обязательная компьютерная обработка получаемых результатов как в процессе измерений, так и после его завершения. Поскольку вандер представляет собой медленный дрейф фазы, его корректные измерения должны быть достаточно протяженными во времени (до десятков суток), в то время как интервал измерений может быть равным секундам или десяткам секунд. Такой объем измерений (не менее 380 000 точек, согласно рекомендации ITU-T O.172) требует их обязательной автоматизации. Кроме того, параметры МПЕ, TDEV (и ряд других, менее распространенных) фактически получают путем математической обработки результатов долговременных измерений ПЕ, что, в частности, дает возможность разделить эти процессы как во времени, так и в отношении применяемого оборудования. Для этого в некоторых измерительных приборах реализованы версии про-



граммного обеспечения (ПО), работающего под Windows95/98/NT, способного осуществлять на стандартных компьютерах обработку результатов измерения ПЕ, полученных непосредственно на самих измерительных приборах.

Одной из особенностей обработки результатов измерений, встречающихся практически во всех типах приборов, является возможность сравнения полученных результатов с шаблонами, построенными по рекомендациям ITU-T G.811, G.812, что позволяет сразу делать вывод о соответствии измеряемого оборудования или участка сети требованиям ITU-T для соответствующего уровня иерархии.

Указанный подход, особенно в сочетании с возможностью дистанционного использования, заложенной производителями некоторых приборов (см. табл. 2), позволяет реализовывать перспективную концепцию измерительно-контрольных систем [4] с целью непрерывного мониторинга состояния системы синхронизации, способной не только констатировать фактическое наличие, но и предупреждать возникновение соответствующих проблем в сетях связи.

В табл. 2 приводится краткий перечень измерительного оборудования, ориентированного на измерение вандера. Перечень не претендует на полноту, а является лишь

Таблица 2

Краткие характеристики измерительного оборудования различных производителей				
Характеристика /Оборудование	PJS-2000 (PLLБ)	OSA 5565 (Oscilloquartz)	ANT-20E (WWG)	CTS-850 (Tektronix)
Измеряемые параметры	Вандер, опция – SDH/PDH	Вандер	SDH/PDH, джиттер, вандер	SDH/PDH, джиттер, вандер
Внутренний эталон	Рубидий	Рубидий	Кварц	Кварц
Точность эталона	$5 \times 10^{-10}$	$5 \times 10^{-10}$	$5 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
Стабильность, мес.	$5 \times 10^{-11}$ /мес.	$4 \times 10^{-11}$ /мес.	Н/д	Н/д
Хранение эталона после отключения	Да	Нет	Нет	Нет
Стабильность в режиме хранения эталона	$2 \times 10^{-11}$ /48 ч.	Нет	Нет	Нет
Разрешение фазового компаратора	0,01 нс	0,1 нс	1 нс	1 нс
Средства обработки результатов	Встроенный компьютер, ПО, внешнее ПО	ПО только для внешнего компьютера	Встроенный компьютер, внешнее ПО	ПО для внешнего компьютера
Дистанционное использование	Да	Нет	Н/д	Н/д

Измерение параметров синхронизации в цифровых телекоммуникационных сетях



Рис. 4. Результат измерения ошибки временного интервала

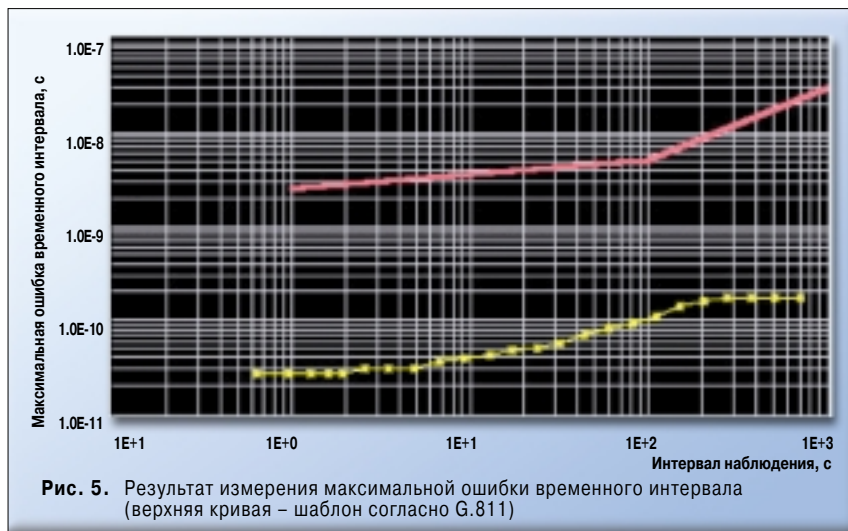


Рис. 5. Результат измерения максимальной ошибки временного интервала (верхняя кривая — шаблон согласно G.811)

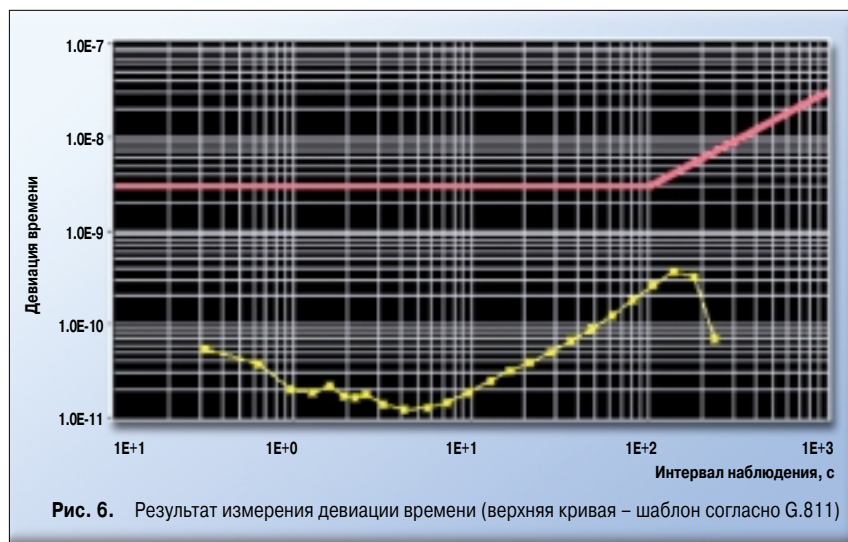


Рис. 6. Результат измерения девиации времени (верхняя кривая — шаблон согласно G.811)

иллюстрацией подходов к созданию такого оборудования различными фирмами-производителями.

Из приведенных в таблице данных видно, что с точки зрения измерения вандера приборы можно условно разделить на две группы:

ориентированные на вандер только (или в первую очередь) и универсальные, причем, только приборы первой группы, оснащенные высокостабильным рубидиевым эталоном, позволяют достичь приемлемой точности измерений и при

этом, по сведениям автора, не являются столь дорогими, как универсальные приборы. Интересным является решение, когда дополнительные возможности по измерению параметров SDH/PDH предоставляются в виде опции лишь при наличии необходимости. Из таблицы также видно, что измерительные приборы, как упоминалось ранее, не используют встроенные цезиевые стандарты частоты (по крайней мере, автор не располагает информацией об этом). Впрочем, все упомянутые приборы способны работать с внешними стандартами частоты, а сведения о существующих на сегодняшний день цезиевых стандартах, производимых в виде отдельного оборудования, автор предполагает опубликовать в одной из следующих статей.

### Некоторые результаты измерений

Для демонстрации результатов измерений вандера на рис. 4–6 представлены графические изображения измеренных автором на сети одного из киевских операторов параметров TIE, MTIE и TDEV. Измерения проводились с помощью прибора PJS-2000, любезно предоставленного автору для тестирования производителем — итальянской компанией PLLB Eletttronica S.p.A.

#### Литература:

1. Chris Smith. Network Synchronization in the PSTN // WPI EE335, 1998.
2. Spectracom Prototype Network Synchronization Plan // Spectracom Corporation, 2000.
3. Synchronization Measurement in the GSM Network // PLLB Eletttronica S.p.A, Italy, 1999.
4. И.Г. Бакланов. Технологии измерений первичной сети» ч. 2.— Москва: Эко-Трендз, 2000.
5. PJS-2000 — Synchronization Measurement Instrument // PLLB Eletttronica S.p.A, Italy, 1999–2000.

**Игорь ШКЛЯРЕВСКИЙ,**

Генеральный директор компании «Информационные системные технологии»,  
www.ist.net.ua