

Игорь ШКЛЯРЕВСКИЙ

Сети синхронизации: выделенное оборудование (часть 2)

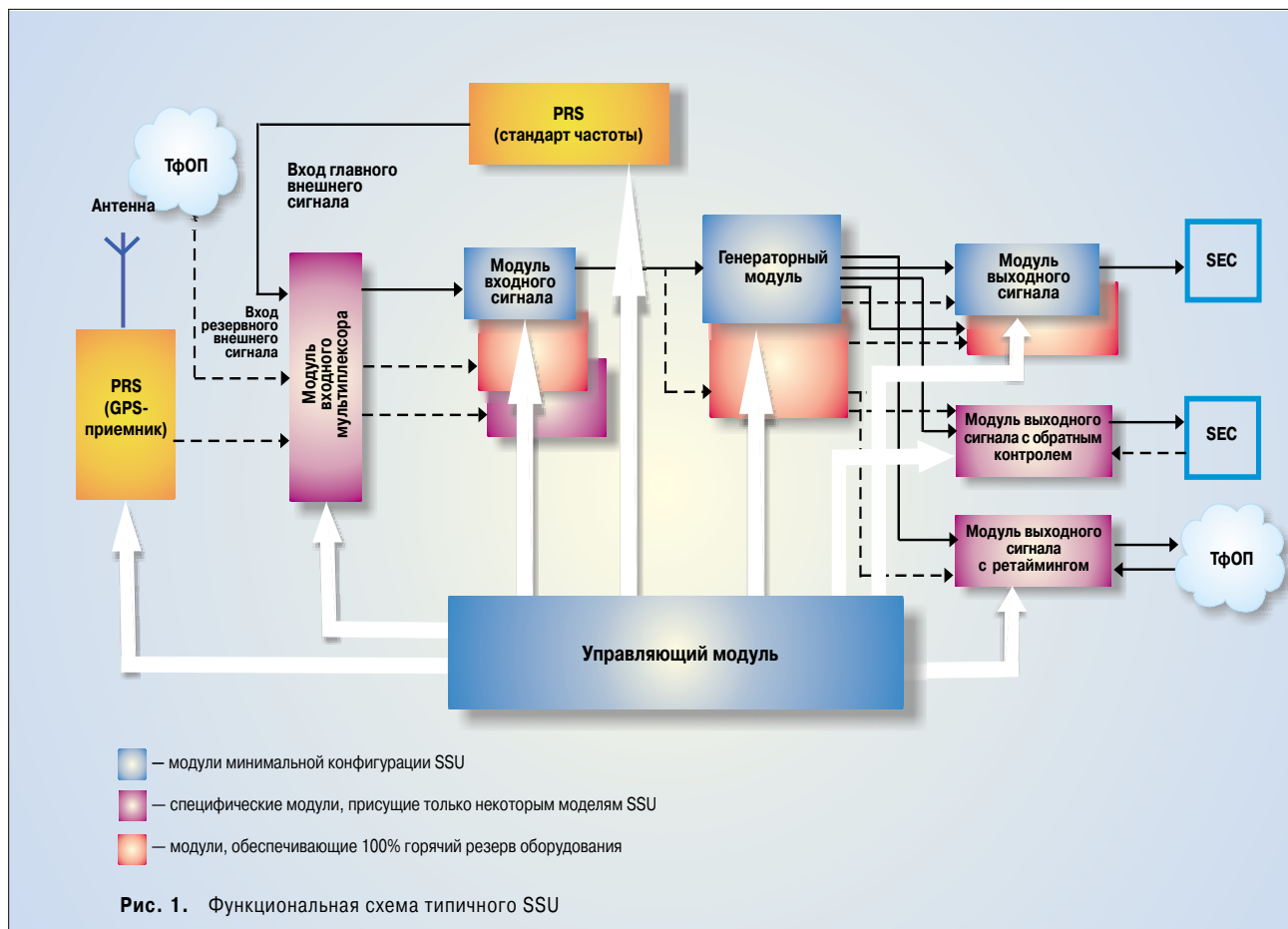
В продолжение первой части настоящей статьи [1] рассмотрим состав типичного SSU (Synchronization Supply Unit – *выделенное устройство синхронизации*), функциональная схема которого показана на **рис. 1**.

Упомянув в предыдущей статье, что SSU, содержащий в своем составе PRS (Primary Reference Source – источник эталонного сигнала синхронизации), можно назвать PRC (Primary Reference Clock – *первичное устройство синхронизации*), обратим внимание, что Рекомендации G.811-812 содержат требования не только к долговременной относительной точности частоты (не хуже 1×10^{-11} за период более 1 недели), но и ряд других: тип внешних интерфейсов оборудования, уровень джиттера и вандера выходного сигнала синхронизации и т. п., полный перечень которых читатель может найти в Рекомендациях. Необходимо отметить, что все рассмотренные нами модели SSU удовлетворяют всем требованиям общего характера, приведенным в Рекомендациях, поэтому соответствие оборудования SSU требованиям конкретного уровня иерархии на практике определяется только наличием в его составе PRS или, в отсутствие PRS, типом и характеристиками встроенного генераторного модуля SSU. Различные виды PRS рассмотрены нами в первой части статьи, а к рассмотрению генераторных модулей мы перейдем в следующем разделе.

**Выбор всегда нелегок.
Как лучше выбрать SSU
и систему управления
для СС?**

Генераторные модули SSU

Поскольку SSU, в общем, представляет собой генератор сигнала синхронизации с заданными функциональными возможностями и техническими характеристиками, генераторный модуль можно считать одним из основных модулей SSU. Существует два технических решения генераторных модулей, главным образом применяющихся в SSU: это *кварцевые генераторы*, как правило, термостатированные (различные их модификации обозначаются английскими аббре-



виатурами ОСХО – Oven Controlled Crystal Oscillator, Double OCXO – и т. п.) и атомные генераторы (стандарты частоты) на ячейках с парами рубидия, называемые для простоты *рубидиевыми генераторами*. Устройству, схемотехническим решениям, особенностям конструкции и характеристикам различных генераторов можно было бы посвятить отдельный материал, а в рамках настоящей статьи мы ограничимся сказанным. Характеристики генераторных модулей одного и того же типа, использующихся в SSU, также довольно однотипны у большинства производителей, что можно наблюдать в соответствующих разделах **таблицы**. На сегодняшний день заметная разница существует лишь между кварцевыми и рубидиевыми генераторами. Наличие той или иной опции в составе SSU как раз и определяет уровень иерархии SSU (между вторым и третьим), да и то в последнее время есть информация о появлении кварцевых генераторов с характеристиками, по меньшей мере, не уступающими рубидиевым [6]. С целью повышения надежности SSU генераторные модули обычно дублируются, причем, как правило, производитель допускает одновременную установку в оборудование SSU как рубидиевых, так и кварцевых генераторов.

Для того чтобы правильно оценить влияние параметров нестабильности генераторного модуля на уровень SSU в целом, в следующем разделе рассмотрим более подробно определения применяемых при этом параметров и связанную с ними терминологию.

Как оценить генераторные модули на соответствие требованиям Рекомендаций

Требования к кратковременной нестабильности устройств синхронизации в Рекомендациях задаются параметром Time Deviation, TDEV («девиация времени» или, правильнее, «стандартное отклонение времени»). В то же время производители характеризуют кратковременную нестабильность своих генераторов при помощи другого параметра – Allan Deviation, ADEV (обозначается σ_y), что соответствует русскоязычному термину «стандартное отклонение Аллана», но часто упоминается, как «девиация Аллана».

Для того чтобы ответить на практический вопрос, какому уровню иерархии (по параметру кратковременной нестабильности) соответствует устройство синхронизации, укомплектованное тем или иным генераторным модулем, необходимо, в первом приближении, сравнить параметр ADEV генератора с требованиями по параметру TDEV из соответствующих Рекомендаций. Между этими параметрами существует определенная, хотя и не вполне очевидная зависимость. Как же провести такое сравнение?

Параметры сигналов синхронизации, особенности их интерпретации, применения и методики измерения достаточно полно описаны в Рекомендациях ITU-T G.810 «Definition and terminology for synchronization network» («Определения и терминология для сетей синхронизации»).

ции»). Как известно, измерения параметров синхронизации основаны на сравнении мгновенных значений фазы измеряемого сигнала синхронизации с фазой эталонного сигнала (соответственно, сравнение сигналов производит фазовый компаратор, входящий в состав измерительного прибора). Результатом измерений является зависимость от времени (или временное отклонение) этой разности фаз.

В Рекомендациях указанное отклонение называется *Time Error (TE)*, что зачастую переводится как «временная ошибка», хотя правильнее было бы – «временное отклонение». Не вдаваясь в особенности русско-, а также украиноязычных названий параметров синхронизации, которые, похоже, специалистам еще предстоит уточнить, мы будем использовать для их обозначения англоязычные аббревиатуры.

В практических измерениях вместо мгновенных значений, естественно, используются дискретные значения (выборки) TE, зафиксированные через задаваемые отрезки времени (определяемые как физическими возможностями измерительного оборудования, так и рекомендуемыми методиками измерений). Эти отрезки времени в Рекомендациях называются *sampling period (sampling interval, sampling time)*; обозначаются τ_0 , а наиболее точным русскоязычным термином, на наш взгляд, будет статистический термин «интервал выборки». Таким образом, на выходе фазового компаратора измерительного прибора (например, итальянского прибора PJS-2000 [2] или отечественного ВСП-2002, обладающих, по нашим данным, наилучшей разрешающей способностью фазовых измерений [7]) мы получаем некоторое количество N значений TE с дискретностью в один интервал выборки. Математически изменение TE во времени обозначают как функцию $x(t)$, а i -ю по счету (от момента начала измерений t_0) выборку определяют как:

$$x_i = x(t_0 + i\tau_0).$$

В Рекомендациях определено пять параметров сигналов синхронизации для использования в электросвязи (два из которых, MTE и TDEV, можно назвать основными). Все эти параметры используют представление об интервале наблюдений (*observation interval*), иногда также, с учетом характера статистической обработки параметра, называемый интервалом (временем) усреднения («*integration time*»). Интервалом наблюдений (τ) в Рекомендациях называется совокупность интервалов выборки, в пределах которой определяется тот или иной параметр, а для обозначения общего времени, в течение которого осуществляются измерения параметров, используется термин «*measurement time*», дословно переводимый как «время измерений». (Впрочем, в некоторых измерительных приборах, например, в приборах PJS-2000, ВСП-2002 вместо последнего термина может применяться термин «время записи», подразумевая процедуру записи результатов измерений на жесткий диск компьютера). Однако в отечественной метрологической науке (например [8]) сложилась другая терминология, в соответствии с которой τ называют интервалом измерений (или тоже интервалом усреднения), имея ввиду временной интервал, за который производится опреде-

ление единичного значения параметра (это может быть вычисление максимальной разности значений TE в пределах интервала измерений, как для MTE, либо вычисление корня из дисперсии, как для ADEV; в любом случае, в общем, процесс считается измерением). В то же время, суммарный интервал, в течение которого производятся измерения (например, долговременный мониторинг стыка синхронизации), называется интервалом наблюдения. В настоящей статье мы будем придерживаться отечественной терминологии.

Таким образом, для *интервала измерений*, содержащего n выборок (из общего количества N) справедливо выражение:

$$\tau = n \times \tau_0$$

Как ADEV, так и TDEV не измеряются непосредственно, а вычисляются как усредненные значения на каждом интервале измерения дискретных выборок TE. В Рекомендациях приведен математический аппарат для определения этих параметров. Желающие самостоятельно провести их сравнение могут сделать это тремя способами. Прежде всего, можно произвести вычисления непосредственно по формулам, если читатель найдет такую возможность (скажем, написать небольшую расчетную программку). Параметры ADEV и TDEV выражаются следующими математическими формулами, адаптированными для численных расчетов:

$$ADEV(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{2\sigma^2 \tau_0^2 (N-2n)} \sum_{i=1}^{N-2n} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i)^2}, \quad n=1, 2, \dots, \left(\frac{N-1}{2}\right)$$

$$TDEV(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{6n^2(N-3n+1) \sum_{j=1}^{N-3n+1} \left[\sum_{i=j}^{n+j-1} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2}}, \quad n=1, 2, \dots, N/3$$

где

N – общее количество выборок TE;

τ_0 – интервал выборки (*sampling time*);

n – количество интервалов выборки на интервале измерения τ .

Во-вторых, программу с такими возможностями можно относительно недорого купить, причем она не только производит вычисления пяти различных параметров синхронизации, но и строит графики по результатам вычислений и даже сравнивает их с шаблонами ITU-T. (Правда, исходные данные для такой программы в данном случае придется составлять вручную в виде текстового файла заданного формата). Наконец, для приблизительной оценки можно использовать приведенные далее графики зависимостей ADEV и TDEV, рассчитанные при помощи такой программы для одного и того же исходного сигнала. Сравнение этих зависимостей, представленных на **рис. 2**, позволяет понять приблизительное соотношение между указанными параметрами.

К примеру, для генераторного модуля приводятся значения $\sigma_y = 4 \times 10^{-10}$ за 100 с. Качественно соотнося это значение с первым из приведенных графиков, видим, что оцениваемый генераторный модуль примерно вдвое хуже, а затем сопоставив со значениями TDEV на вто-

ром графике, оцениваем его TDEV на 100 с как 16 нс. Сравнивая с требованиями, например, стандарта G.811, рис. 2 (3 нс в этом интервале измерений), делаем вывод о несоответствии, и т. д.

Таким образом, представленные графики позволяют приблизительно представить себе влияние данного генераторного модуля на общие характеристики SSU без углубления в детали соответствующего математического аппарата, учета влияния характера шумовой составляющей сигнала и других нюансов, отраженных в Рекомендациях. При этом необходимо понимать, что полное соответствие SSU требованиям Рекомендаций зависит и от других модулей, а также не ограничивается параметром TDEV. С другой стороны, современные SSU, по крайней мере, рассматриваемые в настоящей статье, как раз и проектируются таким образом, что все остальные модули соответствуют самым жестким требованиям (стандарт G.811), и реально лишь тип генераторного модуля да наличие/отсутствие PRS определяет принадлежность SSU к тому или иному уровню иерархии.

Входные, выходные и специфические модули SSU

В соответствии с требованиями Рекомендаций, оборудование SSU, кроме характеристик нестабильности, должно обеспечить целый ряд функциональных возможностей: функции отслеживания качества и селекции входного сигнала синхронизации, распределение сигнала синхронизации по сети синхронизации (CC) с использованием стандартных интерфейсов, повышенную надежность, достигаемую с помощью резервирования узлов и модулей оборудования, а также возможность управления оборудованием (как локально, так и в составе сети или системы управления).

На функциональной схеме типичного SSU (рис. 1) показаны основные модули SSU.

Управляющий модуль, который отвечает за следующие типичные функции:

- конфигурация оборудования SSU в процессе установки или пуско-наладочных работ;
- задание приоритетов входных сигналов и алгоритма их селекции;
- задание алгоритма генерации аварийных сообщений (как локальных, так и сетевых) и SSM (Synchronization Status Message – сообщение о состоянии синхронизации);
- реализация (совместно с остальными модулями SSU) функции «hot swar» (подразумевается следующий алгоритм этой функции: при замене любого модуля его конфигурация автоматически восстанавливается из памяти управляющего модуля; в то же время конфигурация всех модулей запоминается в памяти самих модулей, и в случае замены управляющего модуля автоматически загружается в память нового управляющего модуля);
- реализация (самостоятельно или совместно с отдельным коммуникационным модулем) внешнего коммуникационного интерфейса (X-25, Ethernet и др.).

Входные модули, в которых, как правило, реализована функция контроля качества входного сигнала

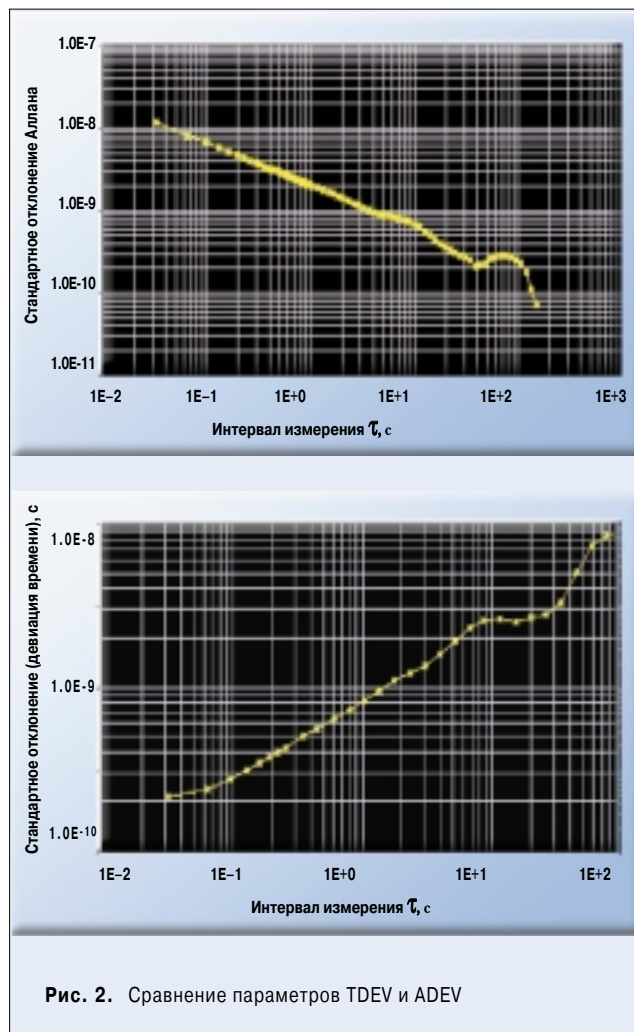


Рис. 2. Сравнение параметров TDEV и ADEV

синхронизации (по параметрам MTIE и TDEV, в соответствии с Рекомендациями) и выбора следующего по приоритетности сигнала в случае непрохождения контроля.

Выходные модули, обеспечивающие распределение выходного сигнала на нужное количество направлений.

В соответствии с требованиями Рекомендаций как входные, так и выходные модули SSU (предназначенные для использования в Европе) поддерживают следующие обязательные **внешние интерфейсы** сигнала синхронизации:

- 2048 кГц (G.703, часть 10);
- 2,048 Мбит/с (G.703, часть 6),

а также ряд интерфейсов, не являющихся обязательными (чаще всего синусоидальные сигналы 5 и 10 МГц).

Модули ретайминга, выполняющие восстановление сигнала 2,048 Мбит/с (к примеру, если он приходит на узел деградированным) с помощью перепривязки к сигналу синхронизации SSU.

Модули выходного сигнала с обратным контролем, предлагаемые только одним производителем из рассмотренных нами – бельгийской компанией Gillam FEi, предназначены для контроля использования выходного сигнала синхронизации **потребителем сигнала синхронизации**. Для этого модуль, кроме выходных разъемов, снабжен таким же количеством входных разъемов, на которые по-

Сравнительные характеристики SSU

Страна	Бельгия	США	Франция	Швейцария
Производитель	Gillam	Datum	Tekeles	Oscilloq.
Модель	US4G	SSU-2000	EPSILON	OSA5542
Общие свойства оборудования				
Возможность подключения PRS	да	да	да	да
Режим хранения частоты (holdover)	да	да	да	да
GPS в качестве внешнего эталона	да	да	да	да
Режим мониторинга вандера входного сигнала	да	да	да	да
Режим контроля использования синхронизации (контроля обратной частоты)	да	нет	нет	нет
Режим ретайминга входного сигнала (retiming — восстановление тактовой частоты входного потока 2 Мбит/с)	да	нет	нет	да
Расширяемость (оценка по 5-балльной шкале)	4	5	2	3
Надежность (оценка по 5-балльной шкале)	5	3	3	4
Стоимость (оценка по 5-балльной шкале)	4	2	5	3
Встроенный генератор (кварц)				
Стабильность в автономном режиме, в день	1×10 ⁻¹⁰	н/д	3×10 ⁻¹⁰	5×10 ⁻¹⁰
Стабильность в ведомом режиме от GPS	н/д	н/д	2×10 ⁻¹²	2×10 ⁻¹²
Полоса захвата (hold-in range)	3×10 ⁻⁷	н/д	н/д	н/д
Параметр восстановления (pull-in range)	3×10 ⁻⁷	н/д	+–1×10 ⁻⁶	н/д
Встроенный генератор (рубий)				
Стабильность в автономном режиме, в день	2×10 ⁻¹¹	н/д	1×10 ⁻¹¹	н/д
Стабильность в ведомом режиме от GPS	1×10 ⁻¹²	н/д	1×10 ⁻¹²	2×10 ⁻¹²
Полоса захвата (hold-in range)	1,6×10 ⁻⁸	н/д	н/д	н/д
Параметр восстановления (pull-in range)	1,6×10 ⁻⁸	н/д	н/д	н/д
GPS-приемник				
Количество спутников/каналов	8	8	8	6
Макс. длина поставляемого кабеля, м	400	н/д	н/д	н/д
Входной модуль				
Кол-во входных портов (в 1 плате/макс./макс. с резервированием)	2/6/4	3/27/-	2+3/6/3	1/2/-
Контролируемые параметры входного сигнала	да	да	да	да
Выбор входного сигнала	да	да	да	да
Скачок фазы на выходе при переключении, нс не более	7	н/д	10	25
Возможность мультиплексора на входе (резервирование)	да	нет	нет	нет
Разрешающая способность фазовых измерений				
Выходные модули				
(в режиме мониторинга входного сигнала), нс	0,01	40	0,1	н/д
Резервирование выходов 1+1	да (все)	да (все)	да (все)	да (до 32)
Модули восстановления (ретайминга)	да (до 64)	нет	нет	да (до 24)
Буфер ретайминга, бит	512	нет	нет	н/д
Модули с обратным контролем	да (до 64)	нет	нет	нет
Разрешающая способность фазовых измерений обратного сигнала, нс	0,48	нет	нет	нет
Макс. количество выходов в основном блоке, в т. ч.	64	160	32	32
2 Мбит/с (с резервом/без резерва)	32/64	80/160	16/32	16/32
2 МГц (с резервом/без резерва)	32/64	80/161	16/32	16/32
восстановленных 2 Мбит/с (retiming)	32	нет	нет	24
с обратным контролем	32	нет	нет	нет
Макс. количество выходов в блоках расширения	144	900	32	80
Количество выходов на 1 плате (дискретность портов)	2/4/8	20	8	н/д
Надежность				
Возможность горячего резервирования:				
процессора	нет	нет	нет	нет
входного модуля (в целом)	да	нет	да	нет
выходного модуля	да	да	да	да
генератора	да	да	да	да
приемника GPS	да	да	да	н/д
источника питания 48 В	да	да	да*	да
* — источник питания распределенный (собственный на каждом модуле)				
Управление				
Наличие фирменной системы управления	да	да	да	да
Наличие стандартного интерфейса внешнего ПО	да	да	да	да
Поддержка SSM	да	да	да	да

ступает «использованный» сигнал синхронизации (например, с выхода Т4 ведомого мультиплексора SDH). Встроенный в модуль фазовый компаратор измеряет фазовый сдвиг между исходящим и входящим сигналами и выдает аварийный сигнал в случае, если изменение этого фазового сдвига превышает допустимые, заданные при конфигурировании, пределы. Таким образом, аномальная ситуация на ведомом оборудовании сразу отражается на уровне управления оборудованием SSU либо СС в целом.

Для обеспечения повышенной надежности SSU могут дублироваться (находиться в «горячем резерве») все перечисленные модули, кроме управляющего (выход из строя управляющего модуля не влияет на текущий сигнал синхронизации, поэтому управляющий модуль может быть заменен без проблем, особенно, если он поддерживает функцию «hot swap»). Однако при ближайшем рассмотрении разные производители по-разному решают проблему резервирования. Так, например, в SSU компании Tekeles Systems все модули содержат независимые преобразователи питания (от – 48 В), так что резервирование устройства питания автоматически осуществляется на уровне резервирования модулей. Большинство же производителей используют классическое решение общего преобразователя питания, и в этом случае резервирование обеспечивается установкой двух блоков питания в SSU. Другой пример – механизм резервирования входных модулей. Наиболее надежным, но в то же время и наиболее затратным, выглядит решение бельгийской компании Gillam FEi, которая резервирует входные модули целиком, для чего применяются специальные дополнительные модули входных мультиплексоров (их тоже может быть два, дублирующих еще и друг друга).

Таким образом, мы постепенно перешли от рассмотрения типичной функциональной схемы SSU к сравнению нескольких моделей этого оборудования нескольких европейских и американского производителей.

Особенности моделей различных производителей SSU

В основном все рассмотренные модели SSU [3–6] построены по однотипной функциональной схеме, определяемой Рекомендациями G.811-G.812. Все они имеют возможность анализа качества внешних сигналов синхронизации по параметрам MTIE и TDEV (входными модулями), автоматического перехода на резервный сигнал в случае исчезновения или деградации основного сигнала, возможность горячего резервирования генераторных модулей, входных и выходных модулей, стандартные внешние интерфейсы, поддержку режима удержания частоты (Holdover) и т. д. Есть и особенности каждой из моделей. Некоторые из них были рассмотрены в процессе описания функциональных модулей, а в целом они отражены в таблице. Приведенные в таблице материалы не претендуют на полноту информации, получены в разное время из различных по степени достоверности источников (в частности, Интернет-сайтов) и призваны, в первую очередь, проиллюстрировать разнообразие подходов производителей к такому оборудованию. Фактически, каждая из моделей имеет некоторые преимущест-

ва, проявляющиеся в определенных условиях: SSU-2000 производства американской корпорации Datum имеет максимальные возможности по расширению количества входных и выходных портов, EPSILON SSU французской Tekeles Systems использует интересную распределенную архитектуру, а также, пожалуй, является одним из самых недорогих на рынке, SSU типа US4G бельгийской компании Gillam FEi имеет самое внушительное резервирование и ряд дополнительных функциональных возможностей, отсутствующих у большинства конкурентов и т. п.

О системах управления оборудованием SSU

В заключение, затронем один из важных вопросов в построении и эксплуатации СС [9] – вопрос контроля и управления сетью. Из таблицы, в частности, видно, что каждый производитель SSU предлагает для своего оборудования программное и/или аппаратное обеспечение, позволяющее управлять как отдельным комплектом оборудования, так и сетью синхронизации, построенной на таком (но только на таком!) оборудовании. Надо учитывать также высокий удельный вес стоимости системы управления в общей стоимости SSU (стоимость одной

Уникальная возможность построения корпоративных сетей

Украинский трафик БЕСПЛАТНО!

г. Киев,
ул. Красноармейская, 55,
телефон: /044/ 205 44 55,
www.Lucky.net

Lucky.Net

лицензии на использование ПО управления сетевого уровня может превышать стоимость самого оборудования SSU).

Необходимо заметить, что на практике крупным операторам почти никогда не удавалось, и вряд ли удастся в будущем исключить наличие в сети разнородного оборудования. В этой связи для некоторых операторов уже сегодня может быть проблематично делать ставку на внедрение какой-либо готовой системы управления. С точки зрения автора, здесь как раз к месту приплыли бы усилия отечественных компаний — системных интеграторов в указанной области по разработке универсального управляющего ПО (и системы управления на его основе), которое должно иметь целый ряд преимуществ для отечественного потребителя. К примеру, в разрабатываемой компанией «Информационные Системные Технологии» системе управления СС предусмотрена поддержка SSU трех производителей, поэтапное наращивание возможностей ПО, от измерений параметров и постоянного

мониторинга отдельных узлов СС до автоматической реконфигурации СС при помощи SSM и другие возможности. Не последним обстоятельством для национального оператора должна быть уверенность в отечественном происхождении ПО и вытекающих отсюда гарантиях в сфере безопасности, а также возможность технической поддержки, включая доработки по требованиям заказчика, умеренная цена продукта и т. д.

Однако более подробное рассмотрение систем управления, их особенностей, преимуществ и недостатков автор откладывает до специально посвященной этому вопросу статьи.

Литература.

1. *И. Шкляревский*. Синхронизация сетей: выделенное оборудование» (часть 1) // Сети и телекоммуникации. — 2002. — № 2. — С. 6–12.

2. *PJS-2000*. Synchronisation Measurement Instrument for Telecommunications Networks. Instruction Manual // PLLB Elettronica S.p.A, Italy, 1999.

3. SSU-2000. User Guide // USA.— DATUM, 2000, June.

4. US4G Synchronisation Supply Unit Network Clock Distributor. Product Specification // Belgium.— GILLAM Fei, 2001, May.

5. EPSILON SSU Tekeles Systems // France.— 2001.

6. SyncTrack-2. EconomicSolution. www.oscilloquartz.com.

7. *И. Шкляревский*. Измерение параметров синхронизации в телекоммуникационных сетях // Сети и телекоммуникации.— 2001.— № 5–6.— С. 8–12.

8. *А.С.Клейман* и др. Оптимальные точностные характеристики систем синтеза частоты // Всесоюз. НТК «Применение время-частотных средств и методов измерения». Тезисы докладов.— 1983.— С. 216.

9. *А. Савчук, И. Шкляревский*. Синхронизация сетей и сети синхронизации // Сети и телекоммуникации.— 2002.— № 1.— С. 6–13.

Игорь ШКЛЯРЕВСКИЙ,

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

УКРАИНА
COMPUTERWORLD



Информационно-аналитический еженедельник