



[www.sviaz-expocomm.ru](http://www.sviaz-expocomm.ru)

26th International Exhibition for Telecommunications,  
Control Systems, IT and Communication Services



# SVIAZ- EXPOCOMM

Expocentre Fairgrounds  
Moscow, Russia



## 13–16 May 2014

Organized by



Supported by



Ministry of Industry  
and Trade  
of the Russian Federation

12+ Advertising



Журнал включен в перечень периодических научных изданий, рекомендуемый ВАК Минобрнауки России для публикации научных работ, отражающих основное научное содержание кандидатских и докторских диссертаций.

### Учредитель

ООО "Издательский дом Медиа Паблишер"

### Главный редактор

Тихвинский Валерий Олегович

### Издатель

Дымкова Светлана Сергеевна

ds@media-publisher.ru

### Редакционная коллегия

**Аджемов Артём Сергеевич**

(д.т.н., профессор, ректор МТУСИ), Россия

**Алексеев Евгений Борисович**

(д.т.н., профессор, начальник отдела информационных ресурсов и интеллектуальной собственности МТУСИ), Россия

**Вааль Альберт**

(д.т.н., старший научный сотрудник Ганноверского университета им. Лейбница на кафедре коммуникационной техники), Германия

**Головачев Юлиус**

(управляющий консультант Detecon International GmbH), Германия

**Дулкейтс Эрик**

(д.т.н., старший исполнительный директор корпорации Detecon), Силиконовая долина, США

**Зубарев Юрий Борисович**

(д.т.н., член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ, зам. председателя экспертного совета ВАК по электронике, радиотехнике и связи), Россия

**Кирхгесснер Юрий**

(д.т.н., Директор IncotologyLtd.), Великобритания

**Кузовкова Татьяна Алексеевна**

(д.э.н., декан экономического факультета МТУСИ), Россия

**Кюркчан Александр Гаврилович**

(д.ф.м.н., профессор ФГБОУ ВПО МТУСИ), Россия

**Сеилов Шахмаран Журсинбекович**

(д.э.н., Президент Казахской академии инфокоммуникаций), Казахстан

**Сысоев Николай Николаевич**

(д.ф.м.н., декан физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова), Россия

**Шарп Майкл**

(д.э.н., вице-президент европейского института стандартизации – ETSI), Великобритания

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

**Бирюков Н.Л., Триска Н.Р., Худынцев Н.Н.**

Обзор направлений исследований МСЭ в области частотно-временного обеспечения современных сетей связи

12

**Гайдаманчук В.А.**

Перспективы создания наземного сегмента автономной спутниковой системы передачи сигналов точного времени Украины

18

**Доронин С.А.**

Частотно-временное обеспечение сетей связи общего пользования. Проектирование, эксплуатация и измерения

20

**Дрига И.А., Васильев Р.М.**

Исследование влияния нестабильности частоты опорных генераторов на работу следящих систем навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS

22

**Жуков Е.Т., Иванов А.В., Леготин Н.Н., Рыжков А.В., Толстихин И.Д.**

Принципы построения опорной сети частотно-временного обеспечения на сети связи общего пользования

24

**Илясов Б.Н.**

Опыт эксплуатации оборудования сети ТСС оператора связи

29

**Колтунов М.Н.**

Измерения основных параметров системы ТСС

32

**Нетес В.А.**

Мониторинг параметров работы сетей и временная синхронизация

36

**Новожилов Е.О.**

Методы повышения точности синхронизации частоты и времени в волоконно-оптических системах передачи

38

**Рыжков А.В., Насонов А.Ю.**

Частотно-временное обеспечение сети связи общего пользования: состояние и перспективы развития

41

**Савчук А.В.**

Результаты испытаний техники РТР на сетях ведущих операторов мобильной связи Украины

47

**Смирнов А.П.**

Современное испытательное оборудование для проверки электромагнитной совместимости технических средств радиосвязи согласно требований серии стандартов ГОСТ Р 52459.X-2009

52

## PUBLICATIONS IN ENGLISH

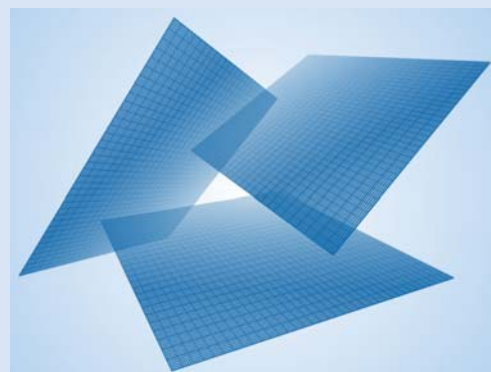
Anticipating and responding to the RF challenges of LTE-Advanced (Agilent Technologies)

54

**Oleg Varlamov.**

Research of influence of DRM broadcast transmitter nonlinearities onto the output signal parameters

59





# CONTENT

## FREQUENCY-TIME SUPPORT

**Biriukov N.L., Triska N.R., Khudyntsev N.N.**  
ITU Research overview of communications networks frequencytime support 12

**Gaydamanchuk V.A.**  
Prospects for development of earth station for Ukrainian national satellite time dissemination system 18

**Doronin S.A.**  
Frequency-time provision of public communications networks. Design, operation and measurement 20

**Driga I.A., Vasiliev R.M.**  
Investigation of the influence of frequency instability reference generators to work tracking systems navigation equipment GLONASS/GPS 22

**Zhukov E.T., Ivanov A.V., Legotin N.N., Ryzhkov A.V., Tolstikhin I.D.**  
Principles of construction of basic network frequencytime support to the public communications network 24

**Ilyasov B.N.**  
Experience in operating network equipment TCC operator 29

**Koltunov M.N.**  
Measurements of key parameters of the TCC system 32

**Netes V.A.**  
Monitoring parameters of the network and time synchronization 36

**Novozhylov E.O.**  
Methods to improve the accuracy of frequency synchronization and time in fiberoptic transmission systems 38

**Ryzhkov A.V., Nasonov A.Yu.**  
Frequencytime provision of public telecommunication network: the state and prospects of development 41

**Savchuk A.V.**  
The test results of the PTP technology in mobile networks of Ukrainian leading carriers 47

**Smirnov A.P.**  
Modern test equipment for testing the electromagnetic compatibility of radio communication equipment according to technical requirements of GOST R series 52459.X2009 52

## PUBLICATIONS IN ENGLISH

Anticipating and responding to the RF challenges of LTE-Advanced (Agilent Technologies) 54

**Oleg Varlamov.**  
Research of influence of DRM broadcast transmitter nonlinearities onto the output signal parameters 59

## Заказ журналов:

- по каталогу "Роспечать" (индекс 80714)
- "Деловая пресса" ([www.delpress.ru](http://www.delpress.ru))
- в редакции ([t-comm@yandex.ru](mailto:t-comm@yandex.ru))

Региональные подписные агентства  
<http://www.media-publisher.ru/raspr.shtml>

Периодичность выхода — 12 номеров в год  
Стоимость одного экземпляра 500 руб.

## Целевая аудитория по распространению

- Телекоммуникационные компании
- Дистрибьюторы телекоммуникационного оборудования и услуг
- Контент-провайдеры
- Разработчики и производители абонентского оборудования
- Энергетические компании
- Автотранспортные предприятия
- Компании, занимающиеся железнодорожными, воздушными и морскими перевозками
- Логистические компании
- Провайдеры охранно-поисковых услуг
- Геодезические и картографические организации
- Государственные ведомства и организации
- Строительные компании
- Профильные учебные заведения

Тираж 3000 экз. + Интернет-версия

## Редакция

### Издатель

**Светлана Дымкова**  
[ds@media-publisher.ru](mailto:ds@media-publisher.ru)

### Директор отдела развития и рекламы

**Ольга Дорошкевич**  
[ovd@media-publisher.ru](mailto:ovd@media-publisher.ru)

### Отдел распространения и подписки

[info@media-publisher.ru](mailto:info@media-publisher.ru)

### Предпечатная подготовка

ООО "ИД Медиа Паблшер"

### Поддержка Интернет-портала

**Сергей Алексаня**

### Адрес редакции

111024, Россия, Москва,  
ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514  
e-mail: [t-comm@yandex.ru](mailto:t-comm@yandex.ru)  
Тел.: +7 (495) 957-77-43

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС77-27364. Язык публикации: русский, английский.

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции. За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет

Материалы, опубликованные в журнале — собственность ООО "ИД Медиа Паблшер". Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя

All articles and illustrations are copyright. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock Company

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается

© ООО "ИД Медиа Паблшер", 2014

[www.media-publisher.ru](http://www.media-publisher.ru)

**Издательский дом**  
**МЕДИА ПАБЛИШЕР**

**Издательство**  
(495) 957-77-43  
(926) 218-82-43  
[info@media-publisher.ru](mailto:info@media-publisher.ru)

ДИЗАЙН И ВЕРСТКА  
ПОЛИГРАФИЯ  
РАЗРАБОТКА САЙТОВ  
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСТАВОК И КОНФЕРЕНЦИЙ

полный цикл подготовки книг, периодических изданий и рекламной продукции — эксклюзивный дизайн  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ЛИТЕРАТУРНОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ  
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ ОФСЕТНАЯ И ЦИФРОВАЯ ПЕЧАТЬ В КРАТЧАЙШИЕ СРОКИ  
ДОСТАВКА ГОТОВОГО ТИРАЖА

**Редакция журнала**  
научно-технический журнал  
**T-Comm**  
Телекоммуникации и Транспорт

новости экономика транспорт безопасность  
оборудование технологии услуги репортажи

ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online)  
Подписной индекс Агентства "Роспечать" — 80714

# 24 – 25 апреля 2014

Турция • Стамбул  
Гостиница «Хилтон Стамбул»



## 13-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯМ И ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ДЛЯ КАСПИЙСКОГО И ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНОВ И СТРАН СНГ



ITE Moscow LLC  
Наталья Ситникова  
Тел.: +7 (495) 935 7350 (доб. 4174)  
Факс: +7 (495) 935 7351  
E-mail: sitnikova@ite-expo.ru



ITE Turkey / EUF  
Acelya Bayraktar  
Тел.: +90 (212) 291 8310 (доб. 168)  
Факс: +90 (212) 240 4381  
E-mail: acelyab@ite-turkey.com



ITECA Caspian LLC  
Рена Абуталибова  
Тел.: +994 12 404 1000  
Факс: +994 12 404 1001  
E-mail: telecoms@iteca.az



GULF FZ LLC

ITE Gulf FZ LLC  
Яна Сапунова  
Тел.: +971 4 4332974  
Факс: +971 4 4471797  
www.ite-gulf.com

[www.caspiantelecoms.com](http://www.caspiantelecoms.com)



## VIII международная отраслевая научная конференция "Технологии информационного общества"

С 20 по 21 февраля 2014 г. в конгресс-центре МТУСИ прошла VIII международная отраслевая научная конференция "Технологии информационного общества".

Совместно с МТУСИ организаторами конференции выступили федеральные и международные организации и ведомства отрасли связи и информационных технологий: Федеральное агентство связи (Россвязь), Международный союз электросвязи (МСЭ), Региональное содружество в области связи (РСС), Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE).

Конференцию открыл ректор МТУСИ проф. А.С. Аджемов. С приветствием к участникам и гостям конференции выступил заместитель руководителя Федерального агентства связи В.В.Шелихов. На пленарном заседании выступили: Генеральный директор Исполнительного комитета Регионального содружества в области связи Мухитдинова Н.Н. и руководитель Зонального отделения для стран СНГ Международного союза электросвязи Кайыкова О.Д.

В ходе пленарного заседания были представлены доклады руководителей и специалистов ведущих международных и российских компаний, специализирующихся в области разработки информационных технологий и производства телекоммуникационного оборудования:

- "Проблемы опережающего развития национальной инфраструктуры цифровых коммуникаций в России в свете задач построения информационного общества" (Президент Международной академии связи Оситис А. П.)
- "Основные направления участия IEEE в деятельности российских научных сообществ и перспективы их развития" (директор филиала корпорации "Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE)" в РФ к.т.н., доцент Иванюшкин Р.Ю.);
- "ГИС - "Простор" — платформа для построения информационных систем" (директор центра инновационных технологий ЗАО "РНТ" Щербина А.Л.);
- "От 2G до 5G. Реальность и прогнозы" (президент Инфокоммуникационного Союза к.т.н. Крупнов А.Е.);
- "Применение решений Agilent Technologies в разработке новых телекоммуникационных стандартов" (руководитель сектора Телекоммуникаций российского отделения Agilent Technologies Плюснин С.И.);
- "Ионосферное обеспечение средств коротковолновой радиосвязи с использованием спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS"



(первый заместитель Генерального директора ЗАО "СТТ-групп" Тынянкин С.И. с докладом на тему);

- "Современный ландшафт защищенных информационных систем" (заместитель начальника отдела развития бизнеса дивизиона продаж и партнерских программ ОАО "ИнфоТекС" Бажанов А.А.);
- "Оборудование SwissQual — аппаратно-программные комплексы для проведения радиоизмерений, драйв-тестов и бенчмаркинга" (менеджер по работе с ключевыми клиентами компании ROHDE & SCHWARZ Золин В.В.).

В ходе работы конференции ее участники имели возможность ознакомиться с развернутой в конгресс-центре выставочной экспозицией "Технопарк МТУСИ". На выставке были представлены инновационные решения и образцы наукоемкой продукции, разработанной и выпускаемой научно-производственными и инженерными коллективами, функционирующими на базе инфраструктуры Университета. Также в выставочной экспозиции были продемонстрированы образцы новейшего измерительного оборудования для систем и средств телекоммуникаций, размещенные на стендах компаний Agilent Technologies и Rohde & Schwarz.

По окончании пленарного заседания и в последующий день работа конференции продолжилась в двенадцати научных секциях, на которых были представлены и обсуждены результаты научных исследований и технических разработок по следующим



тематическим направлениям:

1. Сети и системы связи
2. Радио, телевидение и системы подвижной связи
3. Информационно-телекоммуникационные технологии и услуги
4. Экономика и управление в связи

Содержание заявленных в повестку дня более чем трехсот докладов охватывало широкий спектр теоретических и научно-практических направлений, связанных с развитием инфраструктуры и технической базы отрасли связи и инфокоммуникационных технологий, а также исследований в области экономики и менеджмента в телекоммуникациях.

В работе конференции приняли участие более 500 представителей научно-исследовательских, проектно-конструкторских, учебно-образовательных организаций и эксплуатационных предприятий, специализирующихся в области разработки и внедрения современных инфокоммуникационных технологий, систем связи, а также подготовки специалистов в области инфокоммуникаций. В их числе ученые, преподаватели университетов и специалисты из Финляндии, Монголии и стран ближнего зарубежья: Казахстана, Азербайджана, Узбекистана и др.

Прошедший в МТУСИ отраслевой научный форум способствовал установлению интересных и полезных контактов, обмену новыми научно-техническими идеями и способствовал профессиональному росту молодых научных и инженерно-технических кадров.

## МТТ обеспечил для МТС LTE-роуминг с Великобританией

ОАО "Межрегиональный Транзит-Телеком" (МТТ), оператор междугородной и международной связи, транзитных и интеллектуальных услуг связи, обеспечил LTE-роуминг между российским оператором мобильной связи ОАО "Мобильные ТелеСистемы" (МТС) и крупнейшим оператором Великобритании Everything Everywhere Limited.

С 28 января 2014 г. абоненты МТС могут пользоваться услугами высокоскоростной передачи данных в сети LTE британского оператора Everything Everywhere Limited. В качестве провайдера IPX-услуг, МТТ обеспечивает передачу пакетных сервисов между сетями этих операторов.

Запуск LTE-роуминга с Великобританией является продолжением плодотворного сотрудничества МТТ с крупнейшим российским оператором мобильной связи ОАО "МТС". Ранее в 2013 г. МТТ победил в тендере, проведенном МТС на предоставление услуг IPX, и стал одним из поставщиков этого сервиса для компании на международном телекоммуникационном рынке. В ноябре 2013 г., используя сервис IPX компании МТТ, оператор МТС первым в России обеспечил своим абонентам возможность использования услуг международного роуминга в сетях четвертого поколения. Первым партнером МТС стал крупнейший оператор мобильной связи Республики Корея SK Telecom.

В качестве оператора услуг IPX МТТ осуществляет транзит пользовательских данных и служебной информации между сетями LTE с использованием присоединений к международным провайдерам и посредством собственной пакетной сети IPX. МТТ владеет собственной выделенной сетью IPX/GRX, собственной сетевой инфраструктурой в том числе за рубежом, а также имеет пиринговые соглашения с ведущими IPX/GRX провайдерами мира.



# Электроника



# Транспорт



27-29 мая 2014 г.  
Москва, ВВЦ

## 8-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

### Информационные технологии для транспорта и транспортной инфраструктуры

#### Тематика:

- Системы диспетчеризации и управления транспортным парком (грузовые автоперевозки, пассажирский транспорт, такси, спецтранспорт)
- Комплексы навигации и связи
- Системы безопасности и видеонаблюдения
- Системы контроля пассажиропотока и оплаты проезда
- Технологии снижения расхода топлива
- Информационно-развлекательные комплексы
- Автоматика, телемеханика
- Измерительные и диагностические приборы
- Силовая электроника для транспорта
- Электронные, электротехнические компоненты

#### Конференции и семинары:

- “Практические особенности внедрения навигационно-информационных технологий на современном транспортном предприятии”, тел. +7(495) 66-324-66,
- “Электронные модули и компоненты для транспортного приборостроения и машиностроения”,
- “Рекламно-информационное обеспечение пассажирского транспортного комплекса”,
- “Технологии оплаты проезда и учета пассажиропотока”,
- “Развитие систем АПС-АРС и АСДУ на метрополитене и ГЭТ”.

Одновременно с выставками:



**ЭлектроТранс 2014**

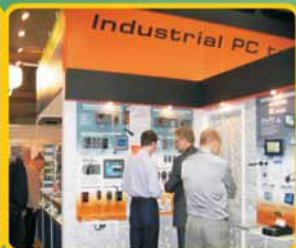
<http://www.electrotrans-expo.ru>



**ТПУ-экспо 2014**

Специализированная выставка

<http://www.tpu-expo.ru>



Оргкомитет:

+7(495) 287-4412

<http://www.e-transport.ru>

Поддержка:



## Новейшие тренды телевидения, эволюция и будущее телевидения стали основными темами XVI Международной Выставки и Форума CSTB'2014

Профессионалы телевизионной и телекоммуникационной отрасли из 27 стран обсудили важнейшие вопросы развития российского телевидения.

Мероприятия посетили 23757 человек. За три дня работы выставки и форума, с 28 по 30 февраля, участники смогли оценить достижения и технологии ведущих российских и зарубежных телекоммуникационных и вещательных компаний, операторов связи и производителей оборудования. Экспозиция заняла площадь свыше 18000 тыс. кв. м., число компаний-участников выставки составило более 500. Мероприятия прошли при поддержке Правительства Москвы, Московской торгово-промышленной палаты, Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям, Торгово-промышленной палаты РФ, а также Ассоциации кабельного телевидения России и Международной ассоциации производителей вещательного оборудования (IABM).

В экспозиционной части выставки была представлена новая экспозиция CONNECTED TV & MOBILE MULTIMEDIA, где демонстрировались технические разработки и решения на примерах потребления контента современными абонентами через IPTV, мобильное и интернет ТВ, социальные сети, онлайн видео сервисы на всех типах потребительских устройств.

В ходе деловой программы международных и российских эксперты обсудили наиболее острые вопросы развития телевидения ультравысокой четкости, представили инновационные решения и новейшие возможности для рынка, пути реализации стратегии развития телевизионной и телекоммуникационной отраслей.

Отправной точкой мероприятия стал Круглый стол "Телевидение XXI века — развитие и конкуренция традиционного вещания и инновационных сервисов", на котором выступили представители Минкомсвязи, Федерального агентства связи, топ-менеджеры крупнейших компаний рынка платного телевидения, руководители профильных ассоциаций.

Участники Круглого стола подчеркнули необходимость регулирования правил подключения платного и общедоступного телевидения, предоставления абонентам качественного и интересного контента, развития операторских инфраструктур, HD-телевидения, расширенного интерактивного телевидения, а также интернет-технологий. Продолжила программу Форума секция "Возможности Интернет-вещания".

Во второй день в рамках Форума прошло мероприятие, посвященное новейшим мобильным технологиям — Мобильный Мультимедийный Форум.

Участники активно обсуждали тему переиспользования низких частот для организации сотовой связи в инфраструктуре, а также вопрос расчистки нижней частотной полосы как единственный способ обеспечить одновременно и большое покрытие за счет высокого проникновения в здание, и низкое поглощение в стенах зданий, и в тоже время обеспечить высокие емкости сетей.

О современных мультимедийных технологиях на рынке спутникового телевидения, формировании рекомендаций и рейтингов, использовании онлайн опросов, а также методах удаленного управления и синхронизации, рассказал Руководитель службы управления проектами и технического развития компании "Триколор ТВ", Денис Высоцкий.

На ежегодной секции "Контент как основная услуга оператора платного ТВ" эксперты рассказали о мировом и российском спросе на телевизионный контент, а также использовании социальных сетей как инструмента продвижения телеканала. В ходе секции эксперты также приняли участие в круглом столе "Открытая цифра — плюс или минус?".

Особое внимание в этом году уделялось новой секции форума, посвященной вопросам Connected TV и Second Screen. Участники секции отметили, что с помощью технологий Second Screen телеканал получает высоко таргетированную аудиторию, что дает возможность использовать более точные инструменты для маркетинга. Докладчики обратили внимание на экспертную роль телевидения — оно задает зрителью вектор телесмотрения, выступает своего рода гидом. Обсуждению подверглись возможности неэфирного ТВ и online-video в медиарекламном пространстве, распределение контента на все домашние устройства и другие актуальные темы.

Тенденция все большего распространения IP-сетей не только для доставки и распределения контента, но и для организации вещания — стала основной темой IP & TV Форума, также и во второй день CSTB'2014. Выступавшие осветили широкий спектр вопросов: это и новые аппаратные решения и программные продукты для платформ и абонентских устройств, и новые технологии продвижения контента, и даже вопросы регулирования в отрасли.

Доклады директоров по маркетингу четырех крупнейших российских операторов на секции "Эволюция маркетинга операторов платного ТВ" показали, как индустрия платного ТВ чувствует себя в эпоху смены стратегии.

Новейшие возможности спутниковых систем связи и телевидения были представлены на секции "Спутники как

основное решение по доставке сигнала в России". Специалисты крупнейших международных и российских компаний, среди которых ФГУП "Космическая связь", "Газпром космические системы", Группа компаний AllegroSky, ИНТЕРСПУТНИК, Intelsat, Newtec и др. представили свои проекты по модернизации спутниковых группировок, а также по запуску новых спутников к 2015-2018 гг., которые дадут возможность не только осуществлять трансляцию программ на всей территории России и за рубежом, но и впервые позволит создать сеть спутниковой связи для доступа в Интернет.

По результатам секции "Технологии будущего", модератор Виталий Шуб подчеркнул следующие тенденции отрасли: все дальнейшее развитие индустрии телемедиа в фиксированном и мобильном вариантах диктуется телевидением и видеоиграми, происходит тектонический сдвиг в отрасли, связанный с одновременным развитием трех форматов — FHD, UHD 4K и SUHD 8K, проводные сети больше не ограничивают развития ТВ, абонентские устройства позволяют генерировать и потреблять видеоконтент практически любого формата. "Бутылочным горлышком" продолжают оставаться беспроводные сети — спутниковые, сотовые и вещательные; новое "поле боя" — LTE BROADCAST и Ka-VSat+IPTV.

\*\*\*

29 января были объявлены победители V Национальной Премии в области многоканального цифрового телевидения "Большая Цифра". В этом году борьба за получение наград велась по обновленному списку номинаций в трех категориях: "Компания-оператор", "Оборудование и технологии" и "Телеканалы". В общей сложности, на соискание премии в 2014 г. было выдвинуто 103 номинанта. Подробную информацию о категориях, номинантах и победителях премии можно получить на [www.bigdigit.ru](http://www.bigdigit.ru)

Организатор выставки и форума CSTB'2014, компания МИДЭКСПО, благодарит партнеров и спонсоров мероприятия:

Стратегический партнер выставки - компания Триколор ТВ.

Генеральный партнер Форума CSTB — группа компаний МТС.

Платиновый спонсор Форума CSTB — компания МегаЛабс

Золотой спонсор Форума CSTB — компания Huawei

17-я международная выставка и форум CSTB'2015 пройдут с 27 по 29 января 2015 г. в выставочном центре "Крокус Экспо".

**По вопросам участия и выставке и форуме, пожалуйста, обращайтесь к Организаторам.**

Подробнее: [www.cstb.ru](http://www.cstb.ru)

## Летные испытания новой гравиметрической системы

22 января 2014 г. на дирижабельной базе «Киржач» начались летные испытания новой гравиметрической системы. Специалисты Всероссийского научно-исследовательского института метрологии имени Д.И. Менделеева установили аппаратуру в gondole дирижабля AU-30. 23 января был совершен первый полет с действующим магнитно-гравиметрическим модулем на борту.

Леонид Федорович Витушкин — руководитель лаборатории гравиметрии и перспективных проектов Всероссийского научно-исследовательского института метрологии имени Д.И. Менделеева — Возглавляемая им группа ученых начала тестирование магнитно-гравиметрического модуля, используя дирижабль AU-30. Качество получаемых измерений обладает рядом преимуществ перед обычными съемками, которые производятся с самолета или вертолета. Превосходство дирижабля в том, что он способен летать предельно низко над землей и на малых скоростях, что значительно повышает эффективность гравиметрической съемки. Данные, которые будут получены в ходе дальнейших регулярных измерений, можно использовать для поиска полезных ископаемых и уточнения локальной модели гравитационного поля земли, что крайне необходимо для точной работы навигационных систем.

Специалисты из ВНИИМ им. Менделеева назвали ряд причин, по которым целесообразно использование дирижабля для гравиметрических измерений, это экономическая выгода, дирижабль дешевле в эксплуатации, чем самолет или вертолет. Исходя из общих соображений, магнитные помехи дирижабля должны быть ниже, чем у других летательных аппаратов, и основная причина — это способность дирижабля летать на малых высотах и скоростях, вплоть до полного зависания в воздухе.

По результатам первого полета ученые из ВНИИМ им. Менделеева пришли к выводу, что такая съемка перспективна. Дирижабль AU-30 позволит в будущем производить съемки там, где гравиметрическая съемка с борта самолета невозможна. Гравиметристы делают пока осторожные выводы, остается дождаться окончательных результатов испытаний, чтобы с уверенностью рассказать о начале грандиозного проекта, в котором примет непосредственное участие дирижабль AU-30.



X международный транспортный форум

icf

# Югтранс

27-28 марта 2014, Сочи

Регистрация  
участников:

+7 (495) 646-01-51

+7 (812) 448-08-48

[www.yugtrans.com](http://www.yugtrans.com)



Генеральный  
информационный  
спонсор:



Информационный  
спонсор:



Генеральный  
интернет-партнёр:



Официальный  
дизайн-партнёр:



Организатор Форума:





## Cisco, Fira de Barcelona и GSMA создали одну из крупнейших в мире сетей Wi-Fi

Компания Cisco в сотрудничестве с выставочным центром Fira de Barcelona и Ассоциацией GSM (GSMA) реализовала одну из крупнейших Wi-Fi сетей операторского класса для Всемирного конгресса мобильной связи 2014, который проходил 24-27 февраля в Барселоне. За это время более 85 тыс. посетителей конгресса из 75 стран воспользовались бесплатным Wi-Fi-доступом, сгенерировав в общей сложности 19,1 Тбайт трафика.

По предварительным подсчетам, объем трафика по сравнению с прошлогодним конгрессом вырос на 300%, что стало возможным благодаря производительности и надежности высокоплотной сети Wi-Fi. Анализ трафика показывает, что посетители использовали Wi-Fi в основном для рабочих целей и для общения в социальных сетях. Приблизительно 33% трафика пришлось на такие защищенные сервисы, как электронная почта, (затем просмотр веб-сайтов, Skype, Google и Facebook).

Другие статистические данные:

- пиковая скорость интернет-трафика составила 1,2 Гбайт/с;
- посетители, которым была предоставлена интегрированная мобильная

связь высокого качества, передали в общей сложности 19,1 Тбайт данных (выгружено из мобильных сетей 3G и 4G);

- соотношение использовавшихся устройств диапазонов 5 и 2,4 ГГц составило 58% против 42%, демонстрирует сдвиг предпочтений в сторону устройств 5 ГГц;

• 24 февраля 2014 г. только через одну точку доступа в пресс-центре конгресса было передано 280 Гбайт данных;

- к сети подключались 80 880 устройств, поддерживающих выход в Интернет, т.е. вдвое больше, чем в 2013 г.

Площадь территории, комплекса Gran Via, где ежегодно проходит Всемирный конгресс мобильной связи и где компания Cisco совместно с выставочным центром Fira de Barcelona развернула постоянную сеть Wi-Fi, составила 240 тыс. кв. м. Предложить посетителям бесплатные высокоскоростные сервисы в восьми выставочных залах позволило решение Cisco Service Provider Wi-Fi.

Вышеупомянутые показатели продемонстрировали, что сеть Wi-Fi операторского класса способна дополнять сотовые сервисы даже в самых напряженных условиях. Развертывание высокоплотной сети Wi-Fi на таком об-

ширном пространстве, которое предоставил выставочный центр, требует точного планирования, мониторинга и управления. Чтобы подготовить сеть к проведению конференции и выставки, продолжавшихся всего несколько дней, потребовалось несколько месяцев напряженной совместной работы компании Cisco и выставочного центра.

Cisco совместно с AT&T и Accuris Networks установила для безопасной аутентификации в сети Wi-Fi сеть следующего поколения Hotspot 2.0. После переключения посетителей в сеть Wi-Fi с той же легкостью, с какой они переключались в роуминг в сотовых сетях, выставочный центр предлагал новые сервисы, которые использовали поступающие от малых сот данные аналитики и информацию о внутреннем местоположении.

Проявившиеся на конгрессе тренды по объемам трафика подтверждают прогноз, сделанный в исследовании Cisco "Индекс развития визуальных сетевых технологий: прогноз развития мирового мобильного трафика на 2013-2018 гг.", согласно которому в 2018 г. мобильные устройства будут выгружать в сети Wi-Fi больше трафика данных (17,3 эксабайта в месяц), чем оставлять в мобильных сетях (15,9 эксабайта в месяц).

## Бен Сандерс завершает легендарное путешествие капитана Скотта и самую продолжительную в истории пешую полярную экспедицию

7 февраля британские полярные исследователи Бен Сандерс и Тарка Л'Эрпийер завершили легендарную экспедицию "Терра Нова" (1910-1912 гг.) капитана Роберта Фолкона Скотта.

Пройдя порядка 3000 км от берега Антарктиды до Южного полюса и обратно, Бен и Тарка установили мировой рекорд, завершив самую продолжительную в истории пешую полярную экспедицию. Путешествие, которое продлилось 105 дней, расширило границы физических возможностей и душевного мужества человека, установив высочайшую планку для будущих полярных экспедиций.

Бен и Тарка тянули за собой сани весом 200 кг и ежедневно преодолевали порядка 23 км при температуре до -50°C и сильнейшем ветре, в среднем проводя по 9 часов в пути.

Бен Сандерс сказал: "То, чего мы достигли, невозможно до конца осознать. Завершение экспедиции "Терра Нова" было мечтой всей моей жизни, и я сделал все возможное для того, чтобы оказаться здесь, на финише. День за днем это путешествие испытывало нас на прочность: как физически, так и эмоционально".

Более века назад капитан Скотт и его команда погибли, преодолев практически 2600 км — более 3/4 от всего пути. За последние 100 лет 12 человек по-



бывали на луне, свыше 500 — в космосе и больше 5 000 покорили Эверест. Но до этого момента экспедиция капитана Скотта оставалась незавершенной.

Land Rover и Intel выступают партнерами этой экспедиции и сыграли важную роль в подготовке проекта. Land Rover помогла Бену в физической подготовке к экспедиции: тренировки проходили во многих удаленных уголках Великобритании, Европы и Гренландии.

Корпорация Intel выступила технологическим партнером проекта, предоставив Ultrabook™ на базе новейших процессоров Intel® Core™ 4го поколения, с помощью которого Бен и Тарка в режиме реального времени ве-

ли блог ([www.scottexpedition.com/blog](http://www.scottexpedition.com/blog)) и делились фото и видео материалами прямо из Заполярья.

Инженеры Intel на протяжении полугодия работали над тем, чтобы техническое оборудование без перебоев функционировало в суровых климатических условиях Антарктиды. Например, они тестировали Ultrabook в специальной термокамере, замораживая устройство до -40°C. Проект осуществляется при поддержке Фолкона Скотта (внук известного капитана) и Роберта Свона (первый покоритель Северного и Южного полюса).

**Подробности экспедиции:**  
[www.intel.ru/yourworld/bensaunders](http://www.intel.ru/yourworld/bensaunders)

## Технологии Delphi помогают снизить расход топлива, вредные выбросы и повысить комфорт новой Ferrari California T

Технологии Delphi Automotive PLC улучшают комфорт и снижают расход топлива и уровень вредных выбросов новой модели Ferrari — California T. Являясь давним партнером Ferrari, Delphi поставляет ключевые компоненты для нового кабриолета с жесткой крышей, который был представлен в марте на Мотор Шоу в Женеве.

### Оптимальный комфорт для всех пассажиров

Благодаря использованию нового алгоритма программного обеспечения, легковесного модуля двухзонного климат-контроля Delphi (HVAC), конденсора и компактного компрессора с изменяемой производительностью комфорт пассажиров Ferrari обеспечивается без потери мощности двигателя.

### Силовое и распределительное оборудование

Delphi разработала всю систему силового и распределительного оборудования, которая обеспечивает правильное функционирование электрических и электронных систем новой California T. Используя все свои знания и опыт, Delphi создала оптимизированную схему, включая жгуты проводов и источники питания, которые значительно потеряли в весе, что также способствует снижению выбросов и расхода топлива.

California T — новейший автомобиль в широком ряду моделей Ferrari, которые используют новейшие технологии Delphi. С начала 1990-х годов Delphi и Ferrari совместно проектируют и разрабатывают системы климат-контроля и электрические/электронные системы, соответствующие высочайшим требованиям к производительности и качеству легендарного автопроизводителя.

Delphi Automotive PLC (NYSE: DLPH) — ведущий мировой поставщик технологий для легковых автомобилей и коммерческой техники. Штаб-квартира компании находится в Джиллингеме, Англия. Delphi имеет развитую сеть технических центров, производственных площадок и отделов по работе с клиентами в 32 странах с региональными штаб-квартирами в Башараже, Люксембурге, Сан-Пауло, Бразилия; Шанхае, Китае и Трое, Мичиган США. Delphi привносит инновации в наш мир вместе с технологиями, которые делают автомобили безопаснее, мощнее, эффективнее, поддерживая связь с окружающим миром.

# Международный научно-практический семинар "Частотно-временное обеспечение сети связи общего пользования: проектирование, эксплуатация и измерения"

12-13 ноября 2013 г. в Московском техническом университете связи и информатики (МТУСИ), под эгидой Департамента регулирования радиочастот и сетей связи (ДРРСС) Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации состоялся Международный научно-практический семинар на тему "Частотно-временное обеспечение сети связи общего пользования: проектирование, эксплуатация и измерения". Цель проведения семинара — определение приоритетных направлений и выработка рекомендаций по составу нормативно-правовых документов, перечню системотехнических решений в сфере частотно-временного обеспечения (ЧВО) на сети связи общего пользования (ССОП), обмен опытом и установление контактов между научно-производственными организациями и операторами связи.

Семинар посвящен обсуждению актуальных вопросов развития современных транспортных сетей телекоммуникаций с акцентом на задачи и методы частотно-временного обеспечения как ССОП, так и возможных потребителей синхросигналов. Основные направления работы семинара:

1) Обобщение опыта и инноваций для операторов связи по обеспечению требований и рекомендаций к частотно-временному обеспечению ССОП при проектировании, эксплуатации и измерениях в процессе внедрения новых технологий на сетях связи.

2) Определение роли ЧВО в развитии ССОП и внедрении новых перспективных технологий.

3) Уточнение задач и роли регулирующего органа администрации связи при внедрении новых перспективных технологий в сфере ЧВО ССОП РФ.

В работе семинара приняли участие специалисты России, Украины, Швейцарии и США — 75 человек, представляющие 31 организацию. Заслушано 15 докладов.

Со словами приветствия к участникам семинара обратились председатель оргкомитета — заместитель директора ДРРСС Министерства связи и массовых коммуникаций РФ Д.В. Костров, сопредседатель — проректор по научной работе МТУСИ, к.т.н. В.С. Алёшин.



В результате обсуждения докладов по проблемам ЧВО ССОП РФ, обмена опытом и сотрудничества научно-производственных организаций и операторов связи, отмечен:

1. Высокопрофессиональный уровень докладов.

2. Результаты исследований передачи сигналов частоты и времени по сетям связи с коммутацией каналов и пакетов в нашей стране и за рубежом показали возможность строительства наложенной (опорной) сети ЧВО ССОП для решения задач внедрения новых технологических решений и оборудования, позволяющих реализовать большее число разнообразных сервисов и услуг.

3. Под эгидой Минкомсвязи РФ целесооб-

разно разработать Концепцию "Частотно-временное обеспечение ССОП на основе эталонных источников Государственной службы времени и частоты РФ" для определения общей структуры наложенной сети, подготовки исходных данных для проектирования, строительства, метрологического обеспечения и эксплуатации системы распределения сигналов времени по ССОП РФ. Концепция должна учитывать состояние и развитие законодательной и нормативной базы, перспективные технологии, реальные потребности практики, существующий опыт передачи сигналов частоты и времени, метрологического обеспечения.

Наличие Концепции позволит приступить к практической реализации наложенной сети





ЧВО и разработке нормативно-правовых актов с учетом реальных потребителей сигналов частоты и времени в качестве услуги, избежать несогласованных действий операторов, минимизировать затраты при развертывании сетей LTE и повысить качество услуг в смешанных сетях и ССОП в целом. Волоконно-оптические линии передачи обладают перед системами спутниковой радионавигации, по крайней мере, для стационарных объектов рядом бесспорных преимуществ (устойчивость к электромагнитным воздействиям, повышенная информационная безопасность, высокий коэффициент готовности канала, способность обеспечить требуемую точность при передаче сигналов ЕТВ).

Семинар отмечает следующий эффект от реализации наложенной сети ЧВО.

Для операторов связи: сокращение затрат на оснащение оборудованием сетей (стоимость аттестованного приемника GPS порядка 10,0 тыс. дол.); доходы от предоставления услуги точное время (силовые структуры, космодромам, аэродромам, обсерваториям, банковским и коммерческим структурам) по аналогии с предоставлением базовой сети ТСС ОАО "Ростелеком"; исключение конфликтных ситуаций при взаимодействии сетей связи за счет работы от единых источников ЧВО (расхождение сигналов по времени и частоте).

Для граждан: получение информации о точном времени в IP-адресе; повышение качества получаемых услуг; информационная безопасность при оформлении госуслуг и коммерческих операций.

В интересах государства: развитие наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами, космодромов и ракетных испытательных полигонов, создание нового космодрома "Восточный"; становление войск Воздушно-космической обороны, развитие их телекоммуникационного обеспечения, внедрение в ПВО и ПРО технологии многопозиционной радиолокации; астрономические обсерватории РАН; внедрение современной технологии крипто-

защиты. Реализация наложенной сети ЧВО позволит повысить устойчивость и целостность сети связи для обеспечения нужд государственного управления, обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка, в том числе при чрезвычайных ситуациях и в условиях чрезвычайного положения и военного положения.

**Семинар считает целесообразным:**

1. Продолжить практику ежегодного проведения на базе МТУСИ семинаров по актуальным вопросам частотно-временного обеспечения сетей электросвязи с привлечением специалистов операторов связи и фирм — разработчиков оборудования.

2. Рекомендовать участникам направить в оргкомитет предложения по тематике следующего семинара и улучшению его работы.

3. Оргкомитету семинара на основе рекомендованных к публикации докладов сформировать тематическую подборку статей в журналах "Электросвязь", "Вестник связи" и "Т-Comm – Телекоммуникации и транспорт".

4. Просить Минкомсвязи РФ об инициации разработки Концепции "Частотно-временное обеспечение ССОП на основе эталонных источников Государственной службы времени и частоты РФ" и НПА по построению системы ТСС в пакетных и смешанных сетях связи.

5. В целях своевременной реализации системы единого точного времени на ССОП РФ организовать на сети ОАО "Ростелеком" канал связи между ГЭЧВ (НИИФТРИ и ПЭГ (ММТ9) с установкой соответствующего оборудования для проведения экспериментальных исследований, отработки схемотехнических решений и последующего использования. Привлечь Рабочую группу по ЧВО при Минкомсвязи РФ к разработке требований к каналу и оборудованию.



# Обзор направлений исследований МСЭ в области частотно-временного обеспечения современных сетей связи

Фундаментальные изменения сетевой инфраструктуры, обусловленные переходом к сетям следующего поколения (NGN), не могли не повлиять на подходы к решению задач частотно-временного обеспечения. При внедрении новых методов частотной и временной синхронизации и адаптации существующих методов к новым условиям возник целый ряд проблем, требующих серьезной научной и практической проработки. Поэтому на протяжении последних десяти лет в МСЭ-Т активизировались научно-исследовательские работы в области частотно-временного обеспечения современных телекоммуникационных сетей, результаты которых уже нашли отражение, как в международных стандартах, так и в коммерческом производстве. На сегодняшний день можно с уверенностью сказать, что сети синхронизации успешно адаптируются к новым условиям работы в пакетном окружении, а специалисты активно работают над расширением функций частотно-временного обеспечения сетей будущего. Проводится аналитический обзор основных направлений работы 15 Исследовательской Комиссии МСЭ-Т в сфере синхронизации и распределения точного времени. Перечислены действующие Рекомендации МСЭ-Т по синхронизации сетей с синхронным и асинхронным режимом передачи, построенных на базе различных транспортных технологий. Особое внимание уделено стандартизации новых технических решений, предлагаемых для частотной и временной синхронизации современных пакетных сетей (технология синхронного Ethernet и протокол точного времени PTP).

**Ключевые слова:** синхронизация, частотно-временное обеспечение, МСЭ, синхронный Ethernet, протокол PTP

**Бирюков Н.Л.,**  
доцент ИТС НТУУ "КПИ",  
иев, Украина, к.т.н., с.н.с., nlbir@mail.ru

**Триска Н.Р.,**  
начальник лаборатории ГП "УНИИС",  
Киев, Украина, к.т.н., с.н.с.

**Худынец Н.Н.,**  
доцент Одесского государственного  
экологического университета, Одесса,  
Украина, к.ф.-м.н.

## Введение

На всех этапах развития телекоммуникационных технологий одним из важных условий стабильной работы систем и сетей связи было и остается обеспечение синхронизации, то есть поддержание необходимых временных соотношений протекания процессов во времени [1]. В зависимости от актуальных технологий передачи и коммутации, изменяются содержание основополагающих задач синхронизации и способы их решения. В последние годы задачи доставки сигналов синхронизации к элементам сети полностью возлагаются на транспортные технологии с пакетным режимом передачи (Ethernet, IP/MPLS). При этом качественные показатели сигналов синхронизации должны быть не хуже, чем в сетях СЦИ, то есть удовлетворять жестким требованиям традиционных пользова-

телей сетей тактовой синхронизации, но уже в новых условиях передачи — в сетях с асинхронным, пакетным режимом передачи, прерывистым трафиком и значительным разбросом (дисперсией) времени доставки сообщений [1-3].

Современные телекоммуникационные технологии, помимо традиционной передачи тактовой частоты для согласования работы цифровых устройств на уровне тактовых интервалов требуют также временной или фазовой синхронизации, то есть передачи меток точного времени. Поэтому сейчас используют обобщающий термин "частотно-временное обеспечение" (ЧВО), под которым понимают комплекс средств и методов, направленных на решение задач формирования и переноса по сети:

- точной частоты сигналов тактовой синхронизации ( $f$ );
- фазовой синхронизации ( $\varphi$ ) и
- сообщений точного времени ( $T$ ).

Сегодня высокое качество частотной и временной синхронизации требуется для многих важных телекоммуникационных приложений, в частности, для работы систем мобильной связи стандарта LTE, Wi-Max, W-CDMA и Интернет [3, 7, 8]. Кроме того, потребности в синхронизации существуют и в других технических приложениях, например, в энергетике, геодезии и картографии, на транспорте, в банковском деле, в системах электронной подписи и т.д.

Важным средством для понимания новых технических решений в сфере ЧВО (включая

адаптацию традиционных решений к новым условиям) служит международная стандартизация, проводимая в рамках Исследовательской Комиссии 15 (ИК-15) Международного Союза Электросвязи МСЭ-Т (ITU-T).

## Из истории вопроса

Сеть тактовой синхронизации как вспомогательное средство поддержки основных технологических процессов телекоммуникаций должна была доказывать свою необходимость, а новые технологии цифровой связи старались снизить такие дополнительные издержки настолько, насколько это позволяли требования к качеству предоставления услуг. Основные этапы развития проводных телекоммуникационных технологий с точки зрения стандартизации методов синхронизации схематически представлены на рис. 1, а краткий список рекомендаций МСЭ применительно к основным технологиям передачи и параметрам синхронизации приведен в табл. 1.

### 1 этап. Плезиохронный режим передачи

Для этого этапа характерно отсутствие выделенной сетевой структуры синхронизации при ограниченной точности генераторного оборудования (ГО) узлов сети (для ЦСП ПЦИ точность составляет величину порядка десятков ppm ( $ppm \equiv 10^{-6}$ )). ГО на передающей стороне разных направлений передачи различных узлов сети не связано между собой, то есть



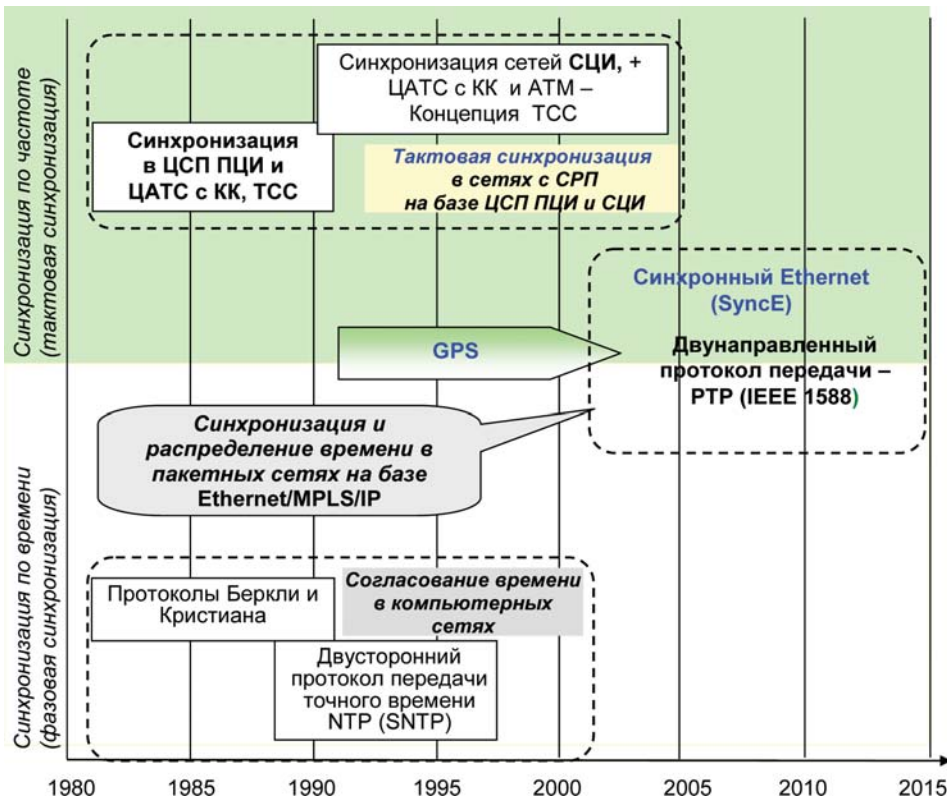


Рис. 1. Основные этапы стандартизации и внедрения методов ЧВО

работает независимо друг от друга в режиме свободных колебаний, поэтому во избежание рассогласования в каждом направлении передачи поддерживалась однонаправленная передача тактовой частоты генератора, установленного в сетевом элементе исходящей стороны. Такие ведущие генераторы, можно считать "первичными" для данного линейного тракта или секции мультиплексирования. В промежуточных и оконечных пунктах тактовая частота выделялась при регенерации сигнала и распределялась в приемной части оборудования. Кроме этого, физического уровня, обеспечивалась синхронизация на следующем, канальном уровне, по циклам передачи — строго периодически повторяющимся фрагментам информации. При объединении (группообразовании) цифровых потоков, для предотвращения расхождения процессов записи и считывания цифровых потоков с различными тактовыми частотами, использовались методы цифрового выравнивания — согласования (широко известны методы вставки - стаффинг). Система мультиплексирования с контролем проскальзывания и выравниванием скорости цифровых потоков получила название плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ), а режим передачи с поддержкой циклов — синхронного режима передачи (СРП) [1.113]. Естественное ограничение сетей ПЦИ заключается в том, что информация

может быть передана без переприема в одной линейной секции или секции мультиплексирования — схема "точка — точка".

Терминология, соответствующая данной концепции, была представлена в Рекомендации G.701 (издания 1972, 80-х годов и 1993).

Сети с пакетной передачей данных с точки зрения сетевой синхронизации также плезиохронные, с независимым ГО при ограниченной точности (например, точность ГО Ethernet 10/100 BASE порядка  $\pm 100$  ppm). Для борьбы с рассогласованием частот записи и считывания используется запись пакета в буферную память до считывания. Причем, как и в ЦСП ПЦИ, запись на приемной стороне проводится то тактам, согласованным с сигналом тактовой частоты ГО передающей стороны (для поддержания такой "локальной" тактовой синхронизации используется преамбула пакета или "синхронизирующий" код, например, манчестерский).

Но есть важные отличия плезиохронной передачи данных пакетами от плезиохронной работы ЦСП ПЦИ:

- благодаря разрыву потока данных на пакеты, такие сети допускают гибкую маршрутизацию при пересылке информации, а не только режим "точка — точка". Кроме этого, передача пакетами позволяет снизить требования к ГО до  $\pm 100$  ppm.

• На канальном уровне не поддерживается строгая периодичность передаваемых пакетов, то есть цикловая синхронизация, пакеты могут поступать во времени достаточно произвольно, а сообщение может восстанавливаться по фрагментам по меткам в пакетах. Такой режим передачи без поддержания циклов называется асинхронным (АРП).

В итоге пакетные технологии позволяют создавать экономически выигрышные решения в области коммуникаций, но платой за это оказывается плохо прогнозируемая величина времени задержки при передаче пакетов единого блока информации (дисперсия времени задержки фрагментов сообщения вызывает, так называемый, джиттер пакетов), тогда как ЦСП ПЦИ обеспечивают передачу информации в реальном масштабе времени с незначительной и практически неизменной величиной задержки.

Поэтому на данном этапе передача пакетами в произвольные моменты времени (АРП — асинхронный режим передачи [1.113]) использовалась для передачи данных, некритичных к задержкам, тогда как для передачи речи и видео использовался СРП.

Такое подробное изложение двух режимов передачи в плезиохронной сети необходимо, на наш взгляд, для понимания причин создания концепции тактовой сетевой синхронизации (ТСС) и коллизий, возникших при переходе сетей к NGN, а также направлений стандартизации ИК-15 МСЭ-Т.

## 2 этап. Сети с цифровой коммутацией каналов

Дальнейшее развитие цифровых сетей связано с появлением цифровых АТС (ЦАТС). Наряду с решением множества вопросов управления, сигнализации и т.д. следовало решить проблему согласования цифровых потоков плезиохронной сети с ГО ЦАТС. Многие блоки оборудования цифровых АТС в части доступа аналогичны блокам оборудования ЦСП с ИКМ, поэтому было логично использовать цифровую коммутацию каналов в структуре первичных цифровых потоков ИКМ — Е1. В этом случае использование методов согласования цифровых потоков различных источников плезиохронной сети, которые используются в ЦСП ПЦИ, связанного с увеличением скорости цифровых потоков, было экономически нецелесообразно и поэтому нашло ограниченное применение, а широкое распространение нашли ЦАТС, основанные на прямой коммутации каналов. Для предотвращения рассогласования скоростей цифровых потоков и потерь блоков информации в этом случае использованы: повышение точности ГО местных ЦАТС до величин

ны порядка 0,01 ppm (это позволяет снизить частоту проскальзывания цикла до приемлемой величины, позволяющей сохранять цикловую синхронизации и соединения, а интервал времени между потерями единичного отсчета ИКМ увеличить до нескольких часов), и установка буферных устройств емкостью, равной двум циклам потока E1, для сглаживания расхождения частот записи и считывания.

Кроме этого, ГО ЦАТС начинают использоваться в качестве ведущего устройства принудительной тактовой сетевой синхронизации, сначала только на местных сетях в ограниченном окружении подстанций, а затем, с развертыванием на местной сети нескольких ЦАТС, одна из них назначалась ведущей. При расширении сетей цифровой коммутации наиболее целесообразным оказалось использование дорогостоящего выделенного оборудования ГО, которое могло обеспечить точность тактовой частоты порядка 10<sup>-11</sup>, достаточную для взаимодействия национальных сетей на международном уровне. В этом случае теоретически частота проскальзывания цикла составляет почти полтора месяца, синхронизация по циклам и соединения абонентов — сохраняются.

Определения и параметры ГО, характерные для данного этапа синхронизации, можно найти, например, в Рекомендациях МСЭ-Т

G.701 — термины (на сегодня действует Рекомендация G.701 в редакции 1993 г. [4]), G.703 (1972, 1976) — стыки синхронизации, G.810 — термины, G.811 — первичное ГО и G.812 — ведомое ГО, опубликованных в 1988 году в редакциях "Синей книги" МККТТ (МККТТ — Международный Консультативный Комитет по телеграфии и телефонии, позднее переименованный в МСЭ-Т). В "Оранжевой книге" МККТТ, изданной еще в 1980 г., также были определены некоторые требования в отношении синхронизации. Например, представлены стыки синхронизации в Рекомендации G.703, подробно изложены требования к процессам согласования и ГО ЦСП ПЦИ, определены режимы работы и взаимодействия сетей с точки зрения синхронизации, включая международные соединения G.811 (1976).

**Этап. Сети с цифровой коммутацией и передачей (СЦИ и АТМ)**

Этот этап, по нашему мнению, связан с появлением синхронной цифровой иерархии (СЦИ), представленной в Рекомендациях G.707, G.708 и G.708 "Синей книги". Следует отметить, что эти рекомендации не содержали требований по синхронизации.

Терминология, метрики и требования к ТСС

с синхронным режимом работы появились в Рекомендации МСЭ-Т G.810 (1996 год [5]). В этом же году были стандартизированы требования к встроенному генераторному оборудованию СЦИ (SEC — Synchronous Equipment Clock) — Рекомендация МСЭ-Т G.813 (1996), которая дорабатывалась вплоть до 2004 г. Рекомендации МСЭ-Т G.811 и G.812, определяющие характеристики первичного эталонного генератора — ПЭГ и ведомых, вторичных генераторов — ВЗГ, также были пересмотрены к 1997 г. В этот же период появляются рекомендации G.803 (1993 и новая редакция 2000), определяющая структуру сети синхронизации, и G.781 (1999), определяющая функции слоя синхронизации.

Все сказанное в этом этапе относится к синхронному режиму передачи сети (СПГ). АРП получил развитие в технологии АТМ, которая служила технологической основой интенсивно разрабатываемой в этот период концепции B-ISDN (B-ISDN развивала принципы интегрированных цифровых сетей с интеграцией услуг — ISDN, но уже для высокоскоростных услуг). Предполагалось, что технология АТМ в будущем заменит СЦИ, поэтому в ней были тщательно проработаны вопросы эмуляции каналов, коммутации по меткам, градации качественных показателей, учитывающей вариации скорости передачи. Параметры генераторного оборудования (I.731 — ITU-T Recommendation I.731 Types and general characteristics of ATM equipment) соответствовали Рекомендации МСЭ-Т G.813, т.е. оборудованию СЦИ, а также G.781 (функции слоя синхронизации), предусматривалась возможность получения сигнала ТСС от ПЭГ или ВЗГ.

В этот же период параллельно с развитием и стандартизацией систем тактовой синхронизации велись и работы в области временной синхронизации, которые на том этапе ограничивались задачами согласования времени в компьютерных сетях. Так, в 1980-е годы появились известные алгоритмы Беркли и Кристиана, а в 1990-е — несколько версий сетевого протокола передачи времени NTP (Network Time Protocol) и его упрощенной версии — SNTP (Simple Network Time Protocol). В 1994 г. была введена в действие первая (и наиболее широко используемая до сегодняшнего дня) спутниковая навигационная система GPS, благодаря которой в любой точке Земли можно получить опорные сигналы тактовой частоты и метки точного времени. В свое время именно появление системы GPS наряду с необходимостью точной синхронизации активно внедрявшихся систем СЦИ стало ключевым фактором формирования современной концепции ТСС [9-11].

Таблица 1

**Краткий список рекомендаций МСЭ применительно к основным технологиям передачи и параметрам синхронизации**

Основной параметр:	Частота					Время, фаза
	ПЦИ	СЦИ	ОТС	SyncE	PTP	PTP
Определения/метрики:	G.701, G.810, G.780 TF.686-2 <sup>**</sup>			G.810, G.8260	G.8260, TF.686-2 <sup>**</sup>	
Архитектура	G.803		G.8251	G.8261	G.8265	G.8275
Интерфейсы физического уровня	G.703: 2,048 Мбит/с (МГц), G.703 Amd.1, V.11, G.8271: 1 сек					
Принципы, функции	G.781		G.8251	G.8261 G.8264	G.8261	G.8271
Сетевые нормы	G.823	G.825	G.8251	G.8261	G.8261.1	G.8271.1
Генераторное оборудование	G.811 PRC G.812 SSU G.813 SEC		G.8251	G.8262 EEC	G.8263 PEC <sup>1</sup>	G.8272 PRTC G.8273 G.8273.x*
Профили (протокола PTP)					G.8265 G.8265.1	G.8275.1 G.8275.2
Моделирование	G.813		G.8251			G.8271.1
Измерения, тестирование	G.810, G.812, O.171, O.172		G.8251, O.173	G.8260, O.174	G.8260, G.8261	G.8271.1

\* x = 1: G.8273.1 — GM (Grandmaster — ведущее устройство)  
 x = 2: G.8273.2 — BC (Boundary Clock — промежуточное устройство)  
 x = 3: G.8273.3 — TC (Transparent Clock — "прозрачное" устройство)  
<sup>\*\*</sup> — Рекомендация МСЭ-R: TF.686-2.02.02

<sup>1</sup> PEC — Packet Equipment Clock (встроенное генераторное оборудование при частотной синхронизации пакетным методом — по протоколу PTP)



Основные Рекомендации МСЭ-Т, принятые в этот период, приведены в таблице 1 и отражают различные аспекты синхронизации (принципы построения и эксплуатации сетей ТСС, сетевые нормы на параметры фазовых искажений — джиттера и вандера, требования к генераторному оборудованию). Они стали основой "классической" концепции тактовой сетевой синхронизации (ТСС), которая хорошо описана в литературе, например, в [9-11].

Концепцию B-ISDN сменила концепция NGN, а с ней и принципы ATM в отношении синхронизации ушли в прошлое, а некоторые другие, например, коммутация по меткам, градация качественных показателей и т.д. нашли свое продолжение в технологии MPLS.

**4 этап. Сети с пакетным режимом передачи**

В 2004 г. был задекларирован полный и окончательный переход к пакетной передаче в сети NGN. На начальном этапе внедрения пакетных систем передачи и коммутации вопросы синхронизации не принимались во внимание. Однако многочисленные опыты по обеспечению в новых пакетных сетях качества передачи классической сети СЦИ показали, что существовавшие на тот момент средства (режим эмуляции канала CES (Circuit Emulation Service), адаптивные методы и т.д.) не могли удовлетворить жестких требований к качественным показателям сети "операторского класса". Поэтому усилия экспертов МСЭ-Т были направлены на разработку для пакетных сетей простого и эффективного механизма тактовой синхронизации, который обеспечил бы для тех приложений, где это необходимо, стабильность тактовых сигналов на уровне традиционных сетей с СРП (СЦИ) [3], а также АТМ.

В результате появилась технология синхронного Ethernet — SyncE. Это означает фактический перенос на пакетную сеть классических подходов к синхронизации сети. В таблице 2 сведены показатели традиционного (несинхронного) и синхронного Ethernet, в сравнении с аналогичными показателями генераторного оборудования СЦИ (SEC). К 2008 г. стандартизация технологии SyncE была, в основном, завершена.

Параллельно с разработкой и стандартизацией технологии SyncE в последние годы активно развивалось и другое направление синхронизации пакетных сетей, основанное на использовании протокола PTP IEEE 1588 в качестве метода передачи времени и частоты в пакетных сетях. Первая версия протокола PTP появилась в 2002 г., а в 2008 г. вышла вторая версия, более адаптированная к задачам синхронизации телекоммуникационных сетей. С 2004 г.

стандартизация протокола PTP (а именно, его "телеком-профиля") активно ведется в рамках МСЭ-Т. Продолжавшееся несколько лет "состязание" пакетных методов синхронизации закончилось компромиссом в виде внедрения комбинированных решений [3, 7, 8, 12]. Примером такого комбинированного решения может служить технология TSE (Time Synchronous Ethernet), предусматривающая передачу меток точного времени по протоколу PTP в одном из зарезервированных полей в структуре пакетов SyncE [8]. Практика эксплуатации пакетных телекоммуникационных сетей показывает, что чем больше новых услуг внедряется в современных сетях связи (особенно мобильных), тем востребованнее становится технология SyncE (или ее комбинация с протоколом PTP).

**Краткий обзор Рекомендаций МСЭ-Т: синхронизации в сетях NGN**

Учитывая актуальность вопросов частотной и временной синхронизации современных пакетных сетей, проанализируем основные документы, разработанные к настоящему времени (по результатам последнего заседания ИК-15, состоявшегося в июле 2013 г.). Отдельно выделены документы, касающиеся частотной синхронизации (серия G.826x) и фазовой (или временной) синхронизации (серия G.827x).

Следует отметить, что на данный момент Рекомендации по синхронизации пакетных сетей (серии G.826x и G.827x) ориентируются на следующие варианты реализации пакетной сети:

- **Физический уровень — Ethernet** (IEEE 802.3, IEEE 802.1DTM, IEEE 802.1QTM, IEEE 802.1QTM);
- **Канальный/сетевой уровень — MPLS:** IETF RFC 3031 (2001) Multiprotocol Label Switching Architecture, ITU-T G.8110/Y.1370

(2005) MPLS layer network architecture);

- **Сетевой уровень — IP:** IETF RFC 791 (1981) Internet Protocol (IP), IETF RFC 2460 (1998) Internet Protocol, Version 6 (IPv6).

Ниже приведена краткая характеристика Рекомендаций серий G.826x и G.827x

- G.8260 (02/2012 [6]) Термины и определения по синхронизации пакетных сетей (Definitions and terminology for synchronization in packet networks). Рекомендация содержит термины и определения, используемые в новых Рекомендациях серий G.826x (частотная синхронизация) и G.827x (согласование шкал времени), а также общую информацию о принципах синхронизации и методах измерений в пакетных сетях. В G.8260 даны математические определения новых метрик, предлагаемых для оценки качества синхронизации в пакетных сетях:

- PDV (Packet Delay Variation) — вариация задержки пакетов;
- Различные модификации параметра TDEV и т.д.
- G.8261/Y.1361 (02/2012) Аспекты синхронизации в пакетных сетях (Timing and synchronization aspects in packet networks). Рекомендация описывает общие принципы и подходы к частотной синхронизации пакетных сетей:
  - методы восстановления тактовой частоты;
  - обзор технологий;
  - влияние пакетной сети на качество передаваемого сигнала синхронизации;
  - сетевые нормы на фазовые дрожания (джиттер и вандер) на физических стыках пограничного оборудования (перенос традиционных норм сетей ПЦИ и СЦИ в несколько смягченном варианте);
  - сетевые модели и сценарии взаимодействия и др.

Таблица 2

Параметры	Оборудование		
	Ethernet (обычный)	SyncE (EEC <sup>1</sup> ), Опция 1, G.8262	СЦИ (SEC), Опция 1, G.813
Прием по тактам из линии	Да	Да	Да
Точность генераторного оборудования	± 100 ppm	± 4,6 ppm/год, месяц	± 4,6 ppm
Поддержка режима работы сети:	± 100 ppm	± 4,6 ppm	± 4,6 ppm
– плезиохронного	Да	Да	Да
– синхронного	Нет	Да	Да
Возможность отслеживания тактовой частоты источника более высокого уровня, например, ПЭГ (PRC)			
– по рабочему тракту (сигналу)	Нет	Есть	Есть
– через выделенный вход (ТЗ)	Нет	Есть	Есть
Полоса пропускания		1 ÷ 10 Гц	
Джиттер на выходе:	–		
– для GbE G.8261, Amd.1 (07/2010)	–	1,5 ЕИ в полосе 2,5 кГц ÷ 10 МГц	
– для 10GbE	–	1,5 ЕИ в полосе 20 кГц ÷ 80 МГц	

<sup>1</sup> EEC — Ethernet Equipment Clock (встроенное генераторное оборудование синхронного Ethernet)

- G.8262/Y.1362 (07/2010) Характеристики синхронизации ведомого генераторного оборудования синхронного Ethernet (Timing characteristics of a synchronous Ethernet equipment slave clock). Рекомендация определяет параметры встроенного генераторного оборудования синхронного Ethernet (SEC), которые полностью совпадают с соответствующими нормами G.813 для генераторного оборудования СЦИ (SEC).

- G.8263/Y.1363 (02/2012) Характеристики синхронизации генераторного оборудования, использующего пакетные методы (Timing characteristics of packet-based equipment clocks). Рекомендация определяет параметры ведомого генераторного оборудования PEC-S-F (Packet-based Equipment Clock — Slave — Frequency) при частотной синхронизации пакетными методами (т.е. с использованием двухстороннего сетевого протокола передачи времени — обычно PTP).

- G.8264/Y.1364 (10/2008) Распределение сигналов синхронизации в пакетных сетях (Distribution of timing information through packet networks). Рекомендация определяет общие архитектурные аспекты распределения сигналов синхронизации в пакетной сети для случая частотной синхронизации с помощью синхронного Ethernet (SyncE) или пакетных методов (PTP). G.8264 устанавливает требования к реализации алгоритма обмена сообщениями о статусе сигналов синхронизации — SSM (Synchronization Status Message) в оборудовании SyncE.

- G.8265/Y.1365 (10/2010) Архитектура и требования к распределению частоты в пакетных сетях (Architecture and requirements for packet-based frequency delivery)

- G.8265.1/Y.1365.1 (10/2010) "Телеком-профиль" протокола точного времени PTP для частотной синхронизации (Precision time protocol telecom profile for frequency synchronization). Рекомендация содержит требования к настройке протокола PTP ("профилю") для обеспечения частотной синхронизации в пакетных телекоммуникационных сетях. К настоящему времени такой профиль определен только для одноадресного режима (в дальнейшем возможно расширение на другие варианты).

- G.8271/Y.1366 (02/2012) Аспекты временной и фазовой синхронизации в пакетных сетях (Time and phase synchronization aspects of packet networks). Рекомендация описывает общие принципы и подходы к временной и фазовой синхронизации пакетных сетей:

- методы согласования шкал времени;
- обзор технологий;
- источники шумов в цепочке распределения сигнала времени;

- параметры интерфейса передачи "секундной метки" - 1 pps (pulse per second);

- сетевая модель и др.

- G.8271.1/Y.1371.1 (02/2012) Сетевые нормы при временной синхронизации в пакетных сетях (Network Limits for Time Synchronization in Packet Networks). Рекомендация определяет сетевые нормы на фазовую и временную ошибку при временной синхронизации пакетными методами (т.е. с использованием двухстороннего сетевого протокола передачи времени — обычно PTP).

- G.8272/Y.1367 (10/2012) Характеристики синхронизации первичных эталонных генераторов времени (Timing characteristics of primary reference time clocks). Рекомендация определяет параметры первичных эталонных генераторов времени PRTC (Primary Reference Time Clock), предназначенных для временной синхронизации пакетными методами (т.е. с использованием двухстороннего сетевого протокола передачи времени — обычно PTP).

- G.8273/Y.1368 (08/2013) Обзор генераторного оборудования для синхронизации по фазе и времени (Framework of phase and time clocks). Рекомендация содержит общую информацию о генераторном оборудовании, используемом для временной синхронизации пакетными методами (т.е. с использованием двухстороннего сетевого протокола передачи времени — обычно PTP). Для более подробного описания различных типов генераторного оборудования разрабатывается семейство новых Рекомендаций:

- G.8273.1/Y.1368.1 (08/2013) Telecom Grandmaster

- G.8273.2/Y.1368.2 (08/2013) Telecom Boundary Clock

- G.8273.3/Y.1368.3 (08/2013) Telecom Transparent Clock.

- G.8273.3/Y.1368.3 (в работе) Telecom Time Slave Clock.

- G.8274 — Резерв на будущее

- G.8275/Y.1367 (07/2013) Распределение времени и фазы в пакетных сетях (Time and phase distribution through packet networks)

- G.8275.1/Y.1367.1 (07/2013) "Телеком-профиль" протокола точного времени PTP для фазовой/временной синхронизации (Precision time protocol telecom profile for phase/time synchronization) — поддержка тактовой синхронизации.

- G.8275.2/Y.1367.2 (2014) "Телеком-профиль" протокола точного времени PTP для фазовой/временной синхронизации (Precision time protocol telecom profile for phase/time synchronization) — частичная поддержка тактовой синхронизации.

Если проанализировать перечень Рекомендаций по исследовательскому вопросу синхронизации и распределения времени — Q13/15, которые были утверждены на последнем заседании ИК-15 в июле этого года, то можно видеть, что все они относятся к серии G.827x, т.е. к фазовой (или временной) синхронизации. Это говорит об актуальности данного направления, которое продолжает активно стандартизоваться, в то время как в вопросах частотной синхронизации пакетных сетей (серия G.826x) можно констатировать определенную стабильность — основные Рекомендации этой серии были приняты в период 2008-2010 гг.

Та же тенденция прослеживается и в перечне документов, подлежащих доработке к следующему заседанию ИК-15. Для каждой из этих Рекомендаций составлен перечень вопросов, по которым необходим научная проработка (так называемый "Living List"). Все заинтересованные эксперты могут подавать редакторам соответствующих Рекомендаций свои предложения, которые будут рассмотрены на следующем заседании. Большинство Рекомендаций относящихся к вопросу Q13/15, на которые составлен перечень актуальности — "Living List", касаются передачи точного времени.

### Актуальные направления исследований

Анализ деятельности ИК-15 МСЭ-Т в рамках исследовательского вопроса Q13/15 позволяет говорить об актуальности вопросов ЧВО и стандартизации соответствующих технических решений. Эти решения активно внедряются, взаимодействуют и конкурируют в современных сетях связи. Базовыми методами ЧВО в пакетных сетях стали технология синхронного Ethernet (SyncE) и протокол точного времени PTP (IEEE 1588v2). Все большую популярность приобретает комбинированный сценарий, предусматривающий совместное использование синхронного Ethernet для передачи тактовой частоты и протокола PTP для передачи точного времени, что становится актуальным в связи с постепенным вытеснением систем передачи СЦИ и полным переходом на пакетные методы передачи.

Процесс стандартизации средств и методов ЧВО для современных пакетных сетей связи еще не завершен, многие из недавно принятых Рекомендаций пока носят рамочный характер и нуждаются в доработке и уточнении многих параметров и технических деталей.

Для этого необходимо продолжать научно-исследовательские и экспериментальные работы в следующих направлениях:

- моделирование процессов синхронизации в пакетных сетях;



- обработка методов измерений параметров синхронизации;
- планирование сетей синхронизации (включая комбинированные варианты SyncE + PTP).

### Литература

1. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р. Синхронизация транспортных технологий при переходе к NGN // *Электросвязь*, 2009, № 10. — С.30-35.
2. Бирюков Н.Л., Коновалов Г.В., Триска Н.Р. Современные тенденции развития и стандартизации частотно-временного обеспечения сетей связи // *Электросвязь*, 2011, № 11. — С.45-48.
3. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р. Синхронный Ethernet как основа частотно-временного обеспечения современных и будущих сетей связи // *Электросвязь*, 2013, № 2. — С.8-12.
4. ITU-T Recommendation G.701 (03/93) Vocabulary of digital transmission and multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms.
5. ITU-T Recommendation G.810 (08/96) Definitions and terminology for synchronization networks.
6. ITU-T Recommendation G.8260 (04/08) Timing and synchronization aspects in packet networks.
7. J.-L. Ferrant, S. Ruffini Evolution of the standards for Packet Network Synchronization. — *IEEE Communication Magazine*, February 2011, pp. 132-138.
8. K. Hann, S. Jobert, S. Rodrigues Synchronous Ethernet to Transport Frequency and Phase/Time. — *IEEE Communication Magazine*, August 2012, pp. 152-160.
9. Брени С. Синхронизация цифровых сетей связи: Пер. с англ. — М.: Мир, 2003. — 465 с.
10. Давыдкин П.Н., Колтунов М.Н., Рыжков А.В. Тактовая сетевая синхронизация. — М.: Эко-Трендз, 2004. — 205 с.
11. Колтунов М.Н., Леготин Н.Н., Шварц М.Л. Сетевая синхронизация в системах связи. — М.: SYRUS SYSTEMS, 2007. — 240 с., ил.
12. R. Sabella, F. Testa, P. Iovanna, G. Bottari. Flexible Packet-Optical Integration in the Cloud Age: Challenges and Opportunities for Network Delaying. — *IEEE Communication Magazine*, January 2014, pp. 35-42.

### ITU Research overview of communications networks frequency-time support

N.L. Biriukov, associate professor, ITS "KPI", Kiev, Ukraine, Ph.D., Senior Scientist, nlbir@mail.ru

N.R. Triska, Head of Laboratory SE "UNIIS", Kiev, Ukraine, Ph.D., Senior Scientist,

N.N. Khudyntsev, associate professor, Odessa State University of Environment, Odessa, Ukraine, PhD in physics&mathematics

#### Abstract

The article presents an analytical overview of the main activities of ITU-T SG 15 in the synchronization and distribution of precise time area. The ITU-T Recommendations concerning the synchronization of telecommunication networks with synchronous and asynchronous transfer mode constructed based on different transport technologies are analyzed. Particular attention is paid to standardization of new technical solutions proposed for the frequency and timing of modern packet networks (synchronous Ethernet technology and Precision Time Protocol PTP (IEEE1588v.2)).

**Keywords:** synchronization, time-frequency support, ITU Recommendation, synchronous Ethernet.

#### References

1. Biryukov N.L., Triska N.R. Synchronization transport technologies in the transition to NGN / *Elektrosvyaz*, 2009, No10. pp.30-35.
2. Biryukov N.L., Kononov G.V., Triska N.R. Modern trends in the development and standardization of the frequency-time support networks / *Elektrosvyaz*, 2011, No 11. pp.45-48.
3. Biryukov N.L., Triska N.R. Synchronous Ethernet as the basis of the frequency-time support of current and future networks / *Elektrosvyaz*, 2013, No 2. pp.8-12.
4. ITU-T Recommendation G.701 (03/93) Vocabulary of digital transmission and multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms.
5. ITU-T Recommendation G.810 (08/96) Definitions and terminology for synchronization networks.
6. ITU-T Recommendation G.8260 (04/08) Timing and synchronization aspects in packet networks.
7. J.-L. Ferrant, S. Ruffini Evolution of the standards for Packet Network Synchronization. — *IEEE Communication Magazine*, February 2011, pp. 132-138.
8. K. Hann, S. Jobert, S. Rodrigues Synchronous Ethernet to Transport Frequency and Phase/Time. — *IEEE Communication Magazine*, August 2012, pp. 152-160.
9. Breny S. Synchronization of digital communication networks. Moscow, 2003. 465 p.
10. Davidkin P.N., Koltunov M.N., Ryzhkov A.V. Clock network synchronization. Moscow 2004. 205 p.
11. Koltunov M.N., Legotin N.N., Schwartz M.L. Network synchronization in communication systems. Moscow, SYRUS SYSTEMS, 2007. 240 p.
12. R. Sabella, F. Testa, P. Iovanna, G. Bottari. Flexible Packet-Optical Integration in the Cloud Age: Challenges and Opportunities for Network Delaying. — *IEEE Communication Magazine*, January 2014, pp. 35-42.

# Перспективы создания наземного сегмента автономной спутниковой системы передачи сигналов точного времени Украины

**Ключевые слова:** синхронизация времени, двусторонний метод синхронизации частоты и времени с помощью спутника связи.

Синхронизация тактовой частоты традиционно была и остается важнейшим условием предоставления услуг цифровой связи. В современных условиях качество таких востребованных услуг телекоммуникационной отрасли как мобильная связь и мультимедиа невозможно поддерживать без синхронизации времени с микросекундной и даже субмикросекундной точностью. Имеет место и обратная тенденция: сети общего пользования и корпоративные сети все чаще играют роль метрологически обоснованных систем дистанционного сличения времени по той причине, что доставка точного и единого времени самым разным пользователям становится все более критичной для функционирования важнейших сегментов экономики: связи, транспорта, энергетики, финансового сектора и др. Проведен анализ особенностей применения двустороннего метода синхронизации частоты и времени с помощью спутника связи на геостационарной орбите (TWSTFT). Рассмотрены его основные характеристики и особенности применения для сличения времени в условиях Украины.

Гайдаманчук В.А.,  
к.т.н., WIRCOM, Киев, Украина,  
gva@wircom.com.ua

Таблица 1

Технология	Макс. расстояние (км)	Неопределенность времени (нс)
GPS	~ 20 000	~ 1,6 ÷ 5
TWSTFT	~ 10 000	~ 0,4 ÷ 1,2

По разным причинам для обеспечения собственного контроля над национальной сетью распределения единой шкалы времени во многих странах стремятся перейти от широкого использования самой развитой из существующих спутниковых радионавигационных систем (СРНС) системы GPS/Navstar (США) к альтер-

нативным, не зависящим от нее способам.

В частности, Европейский Союз, Китай и Россия уже имеют собственные СРНС или близки к их внедрению и полноценному развертыванию. Вместе с тем создание и поддержка

функционирования таких систем требует значительных расходов и многие страны, разрабатывают альтернативные методы с целью обеспечить аналогичные технические параметры при меньших затратах.

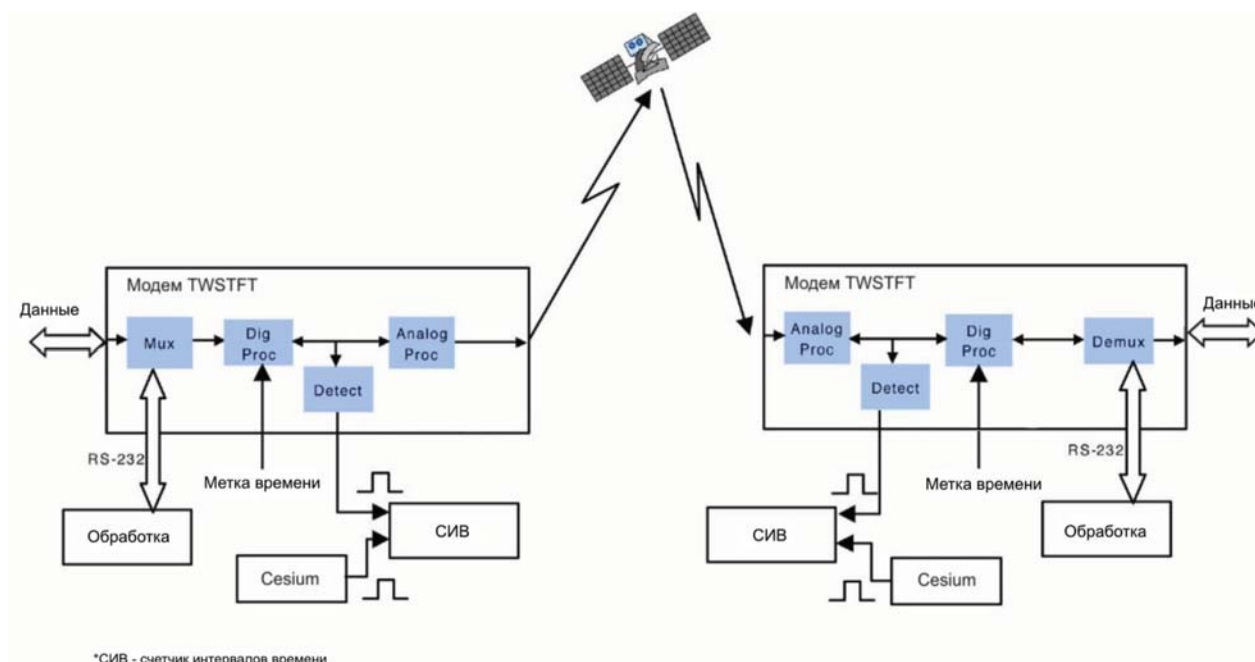


Рис. 1. Структурная схема построения системы сличения времени по методу TWSTFT



Размеры территории Украины позволяют решить эту проблему с использованием других, менее затратных методов, которые при этом по точности измерения сдвига шкал времени лучшей, чем у системы GPS.

Одним из эффективных методов, который имеет давние традиции в Украине является синхронизация шкал времени с помощью радиометеорной связи (РМС) [1]. Существуют и другие альтернативные методы:

- системы передачи точного времени на основе ВОЛС;
- системы точного времени на основе метода двустороннего сличения времени через спутниковый канал связи (TWSTFT).

Предельные параметры методов сличения времени TWSTFT и СРНС (GPS - метод общего охвата) представлены в Таблице 1. [2]

Для создания автономной системы передачи сигналов точного времени Украины предлагается применить наземные станции VSAT с модемами TWSTFT для двустороннего обмена сообщениями через спутник на геостационарной орбите, который находится в прямой видимос-

ти из пунктов обмена метками времени.

В заранее определенное время станции обмениваются информацией через спутник. Как показано на рис. 1, в каждом модеме TWSTFT есть счетчик интервалов времени (СИВ), который сбрасывают в нуль после того, как станция передает заранее обусловленную метку времени другой станции. После двойного обмена сообщениями в обеих станциях от собственной величины времени вычитают величину времени, принятую от другой станции с учетом задержек в прямом и обратном каналах. Такой алгоритм обмена позволяет быстро завершить процедуру сличения времени. При обработке результатов должен быть учтен также эффект Саньяка. Для реализации метода достаточно использовать специализированные модемы и собственный или арендованный канал спутниковой связи на относительно коротких сеансах сличения [3].

Исследования, проведенные компанией WIRCOM, подтвердили возможность использования в качестве модемов TWSTFT с незначительной модернизацией, разработанные и

производимые в Украине составные модемы для спутниковой связи [4] на основе ПАВ и цифровых фильтров; эти модемы могут послужить эффективной основой для создания наземного сегмента автономной спутниковой системы передачи сигналов точного времени Украины.

### Литература

1. Антипов И.Е., Коваль Ю.А., Обельченко В.В. Развитие теории и совершенствование радиометеорных систем связи и синхронизации. — Харьков: Коллегиум, 2006. — 308 с.
2. D.Piester, et al. Remote atomic clock synchronization via satellites and optical fibers. *Advances in Radio Science*, March 2011, pp.1-10.
3. Миллс Дэвид Л. Сличение времени в компьютерных сетях. Протокол сетевого времени на Земле и в космосе. — WIRCOM. Киев. 2011. — 446 с.
4. Гайдманчук В.А., Семенко А.И. и др. Устройство для приема сложных многопозиционных сигналов. Авторское свидетельство СССР № 1467787.

## Prospects for development of earth station for Ukrainian national satellite time dissemination system

Gaydamanchuk VA, Ph.D., WIRCOM (Kiev, Ukraine), gva@wircom.com.ua

### Abstract

Synchronization clock has traditionally been and remains essential to provide digital services. In modern conditions, the quality of these popular services telecommunications industry as mobile communications and multimedia can not be maintained without time synchronization with microsecond and even sub-microsecond precision. Holds a reverse trend: the public network and corporate networks are increasingly playing the role of metrological based systems for remote comparison of time for the reason that the delivery of accurate and the most common time for different users is becoming increasingly critical to the functioning of the most important segments of the economy: communications, transport, energy financial sector. Application specifics of two-way satellite time and frequency transfer (TWSTFT) method are analysed. Main method characteristics and advantages of its usage for time synchronization in Ukraine conditions are considered.

**Key words:** time synchronization, two-way satellite time and frequency transfer.

### References

1. Antipov I.E., Koval Y.A., Obel'chenko V.V. Development and improvement of the radio meteor theory of communication and synchronization. Kharkov: Collegium 2006. 308 p.
2. D.Piester, et al. Remote atomic clock synchronization via satellites and optical fibers. *Advances in Radio Science*, March 2011, pp.1-10.
3. Mills David L. Comparison of time on computer networks. Network Time Protocol on Earth and in space. WIRCOM. Kiev. 2011. 446 p.
4. Gaydamanchuk V.A., Semenکو A.I. and other. Apparatus for receiving a complex multi-position signals. USSR Inventor's Certificate number 1467787.

# Частотно-временное обеспечение сетей связи общего пользования. Проектирование, эксплуатация и измерения

**Ключевые слова:** частотно-временное обеспечение, сети связи общего пользования, целостность и устойчивость сети.

**Доронин С.А.,**  
Почетный метролог РФ

## Общие положения

В отношении единой сети связи Российской Федерации данный Закон определил "Требования к функционированию единой сети связи Российской Федерации, связанные с обеспечением целостности, устойчивости функционирования указанной сети связи и ее безопасности, отношения, связанные с обеспечением целостности единой сети связи Российской Федерации и использованием радиочастотного спектра, и, соответственно, они устанавливаются и регулируются законодательством Российской Федерации в области связи".

"Требования к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования", утвержденные Приказом Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 27 сентября 2007 г. N 113, то, к сожалению, не содержат каких либо упоминания о требованиях к поддержанию функционирования системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС) сетей связи, предусмотренных действовавшими до вступления в силу законодательства о техническом регулировании, нормативных документах отрасли. А про необходимость синхронизации системного времени средств связи с шкалой Координированного времени UTC (SU) (московского времени) ГПЭ времени и частоты вообще не упоминается.

К счастью, большинство операторов связи, и особенно крупных операторов связи, отчет-

ливо понимали и понимают важность поддержания параметров собственных систем ТСС в пределах требований отраслевых рекомендательных документов и рекомендательных документов международного союза электросвязи (ITU), как основного элемента обеспечения целостности, как своих сетей связи, так и сети связи общего пользования (ССОП), а также важного фактора обеспечения соответствующего качества связи.

## Организация измерений

До недавнего времени основным документом, хоть и рекомендательным, по организационному обеспечению аудита систем ТСС использовался РД45.230-2001 "Аудит системы тактовой сетевой синхронизации. Организационное обеспечение. Методика проведения". Этот документ предусматривал основные моменты связанные с проведением анализа построения системы ТСС, инструментального контроля параметров, в том числе устойчивости функционирования системы и оборудования ТСС, а так же предполагал участие государства в контроле состояния систем ТСС сетей операторов связи путем проведения аудита и выдачи по его результатам экспертного заключения, а также контроля со стороны контрольно-надзорных органов за наличием соответствующих экспертных заключений (ЭЗ) и реального состояния и соответствия систем и оборудования ТСС сетей операторов связи данным, содержащимся в экспертных заключениях.

Однако с определенного момента в отрасли сложилась практика, которая в конечном итоге могла привести к разрушению целостно-

сти сети связи общего пользования.

Минкомсвязи с момента вступления в силу Закона о техническом регулировании с 2003 года не удалось разъяснить характер отраслевых нормативных документов, которые хотя формально и попадали по законодательство о техническом регулировании, однако могли применяться в качестве рекомендательных. Роскомнадзор, осуществляющий контрольную деятельность в отрасли, в своих документах также исключил обязательность представления операторами связи, экспертных заключений при эксплуатации сетей связи, а требования о предоставлении экспертных заключений по результатам первичного аудита при вводе сетей и оборудования связи в эксплуатацию рассматривались как второстепенные.

В результате сложилась ситуация, что государство в лице Минкомсвязи РФ фактически самоустранилось от регулирования задач поддержания целостности сети связи общего пользования в части систем ТСС.

Еще большую сумятицу в регулировании состояния систем ТСС сетей связи внесло решение об объединении ФГУП ЦНИИС и ФГУП ЛОНИИС в единый НИИ — ФГУП ЦНИИС с приданием ФГУП ЛОНИИС статуса филиала.

В принципе, деятельность любой организации, выполняющей установленные государством обязательные требования в интересах третьих лиц, должна соответствовать антимонопольному законодательству, а предоставление, по-сути, государственной услуги аудита систем ТСС с выдачей обязательных ЭЗ, должно осуществляться по жестким, регулируемым государством тарифам. Однако, если при разделъ-



ном существовании двух уполномоченных Минкомсвязи ФГУП, можно было "изобразить" между ними определенную конкуренцию, то в после объединения "изобразить" конкуренцию между головной организацией и филиалом стало несколько проблематично.

Если РД45.230 предполагал, что измерения на системах ТСС могут проводить любые компетентные организации, имеющие соответствующее оборудование и специалистов, то выдача экспертных заключений была закреплена строго за отраслевыми государственными НИИ. Однако в 2012 году предъявляемые обязательные требования по технической компетентности, государственная функция контроля целостности и устойчивости сети связи общего пользования в части систем ТСС была делегирована НИЧ МТУСИ. В 2013 году в адрес одного из операторов связи поступило обращение от руководства ФГУП ЛО ЦНИИС, в котором высказывалась серьезная озабоченность отсутствием единого органа, способного осуществлять экспертизу состояния систем ТСС сетей связи, входящих в сеть связи общего пользования, и следовательно отсутствием ответственности за качество экспертных работ, а главное отсутствием целого ряда нормативных документов, на основании которых должны строится системы ТСС на пакетных сетях.

### Предложения

Выходом из создавшейся ситуации может быть либо восстановление государственного контроля в части систем ТСС сетей связи, передача функций государственного контроля аккредитованным органам, либо установление обязательных требований, ответственность за выполнение и соблюдение которых возлагается непосредственно на операторов связи, при этом за государством остается право как документарного, так и инструментального контроля. Естественно, что любой из этих подходов должен быть закреплён в соответствующих нормативных документах.

Попробуем проанализировать возможные варианты организации контроля за состоянием систем ТСС сетей связи, входящих в ТФОП.

### 1 вариант.

Назначение единого органа, осуществляющего государственную функцию по аудиту систем ТСС, как это, например, было предусмотрено в РД45.230-2001.

В современных условиях таким органом, по нашему мнению, может быть только ЛО ЦНИИС, как единственная государственная структу-

ра, имеющая соответствующую техническую компетенцию. Однако, тогда к процедуре оказания государственной услуги по аудиту систем ТСС, должны быть применены регулируемые тарифы и определен соответствующий Административный регламент. Наличие большого объема работ и временных ограничений на продолжительность оказания услуги может потребовать расширения штата государственно-го органа.

### 2 вариант.

Разработка критериев компетентности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на право проведения технической экспертизы (аудита) систем ТСС сетей связи и аккредитация их установленным порядком на право выполнения таких работ. При этом государство в рамках надзора за деятельностью аккредитованных органов должно осуществлять как документарный, так и инструментальный контроль. Такой вариант естественно требует существенных изменений в отраслевой нормативной базе.

### 3 вариант.

Ответственность за состояние (проектирование, создание и функционирование) систем ТСС сетей связи возлагается непосредственно на оператора связи. При этом оператор связи самостоятельно или с помощью сторонних организаций обеспечивает поддержание требуемого качества сетевой синхронизации внутри собственной сети, а также в точках присоединения к сетям других операторов связи. Контроль качества сетевой синхронизации в точках присоединения сетей связи осуществляется взаимодействующими операторами связи на договорной основе своими силами или с привлечением третьей стороны. При этом со стороны государства должны быть прописаны обязательные требования к контролируемым параметрам, единые методики измерений и контроля, требования к технической компетентности лиц проводящих измерения. Протоколы измерений и контроля качества сетевой синхронизации должны быть составной частью пакета документов на присоединение сетей. Государство должно оставить себе право в рамках контрольно-надзорной деятельности осуществлять как документарную, так и инструментальную проверку. Государство во всех случаях должно выступать в качестве независимой третьей стороны при возникновении спорных моментов по качеству сетевой синхронизации в точках присоединения сетей связи.

Все это должно быть в ...будущем!

А как сейчас организовывать аудит ТСС? С одной стороны ЭЗ не обязательны, с другой они как официальный документ, разъясняющий и подтверждающий качество систем ТСС сетей связи.

Вторым важным аспектом систем ТСС является их влияние на устойчивость сетей связи.

На этапе проектирования систем ТСС требования по устойчивости обеспечиваются наличием основного и дублирующего канала передачи синхросигналов, а также выбором оборудования, способного в течении заданного промежутка времени сохранять качество синхронизации на приемлемом уровне.

На этапе эксплуатации оценить реальную устойчивость системы или оборудования ТСС иногда бывает проблематично, вследствие того, что сеть находится под нагрузкой, а ухудшение качества или срыв синхронизации всегда чреват потерей трафика для оператора. Поэтому является немаловажным определить то минимальное время, в течение которого должно быть гарантировано качество синхронизации, и можно без ущерба потери части трафика, испытывать на устойчивость системы и средства ТСС в условиях автономной работы. То есть речь идет об оптимизации программ испытаний систем и оборудования ТСС на действующей сети.

В настоящее время в законопроект о внесении поправок в Федеральный закон от 26.06.2008 года "Об обеспечении единства измерений" №102-ФЗ (прошел 1-е чтение в Госдуме) Минкомсвязи РФ совместно с операторами связи внесена поправка о включении в сферу государственного регулирования измерений, осуществляемых для обеспечения целостности и устойчивости сети связи общего пользования. Принятие этой поправки будет означать, что Минкомсвязи должно будет в течении 180 дней определить требования (перечень параметров и допусков на их количественные значения) к параметрам, определяющим целостность и устойчивость сети связи общего пользования, требования к точности и достоверности их измерений и контроля. Для обеспечения таких измерений, применяемые методики измерений должны быть аттестованы, в аккредитованных на этого вида деятельности, метрологических органах, а применяемые средства измерений соответствовать утвержденному типу и проходить периодическую поверку. Вопросом, за чей счет будут разрабатываться и аттестовываться эти методики измерений, будем надеяться, что Минкомсвязи сможет решить.

# Исследование влияния нестабильности частоты опорных генераторов на работу следящих систем навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS

**Ключевые слова:** опорные генераторы, ГЛОНАСС, GPS, навигационная аппаратура потребителей.

**Дрига И.А., Васильев Р.М.,**  
ФГБУ "Главный научный метрологический центр" Минобороны России

В настоящее время требования наиболее прецизионных образцов НАП, в части погрешности фазовых измерений находятся на уровне 0,335 радиан (1,9°), что в пересчете на эквивалентную псевдодальность составляет значение 1 мм.

Измерение параметров сигналов навигационных космических аппаратов в НАП производится через нахождение корреляционных интегралов между входным сигналом и формируемым в НАП опорным сигналом, параметры которого устанавливаются в соответствии с текущими оценками параметров входного сигнала.

Для исследования влияния нестабильности частоты опорных генераторов на работу следящих систем, в процессе проведения исследований был сделан ряд допущений, а именно:

— рассматривалась только НАП эксплуатируемая в стационарном режиме, в связи с чем предполагается, что динамическая составляющая погрешности оценки фазы мала по сравнению с флуктуационной составляющей, и ею можно пренебречь;

— в период интервала времени когерентного накопления сигналов в НАП значение частоты опорного генератора изменяется линейно, что характерно для существующих типов кварцевых опорных генераторов.

Зададим модель поведения частоты и фазы сигнала опорного генератора, на основе кото-

рой формируется опорные сигналы следящих измерителей параметров сигналов НАП. Изменение частоты опорного генератора вследствие её нестабильности происходит в течение всего интервала времени  $\Delta t_k$  линейно, начиная с нулевого значения, достигая в конце интервала того значения  $\Delta f_k$ , которое случайным образом "выпало" на данный интервал. Описываемое такой моделью изменение частоты будет происходить, если производная частоты скачком изменится в начале интервала  $\Delta t_k$  и останется неизменной на всем его протяжении. В таком случае значение производной частоты может быть определено следующим образом:

$$f'_k = \frac{\Delta f_k}{\Delta t} \quad (1)$$

В соответствии с линейной моделью дополнительное изменение фазы сигнала опорного генератора  $\Delta \varphi_k$ , обусловленное нестабильностью его частоты, на интервале  $\Delta t_k$  составит:

$$\Delta \varphi_k = 2\pi \times f'_k \times \frac{\Delta t^2}{2} = 2\pi \times \frac{\Delta f_k \times \Delta t}{2}. \quad (2)$$

Среднее квадратическое отклонение изменения фазы сигнала опорного генератора  $\sigma_{\Delta \varphi}$  составит:

$$\sigma_{\Delta \varphi} = 2\pi \times \frac{\sigma_{\Delta f} \times \Delta t}{2} = 2\pi \times \frac{\delta \times f_n \times \Delta t}{2} \quad (3)$$

Характеристикой нестабильности частоты во временной области является среднее квадратическое относительное двухвыборочное отклонение (СКДО) частоты [1]:

$$\sigma(\tau) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{\Delta f_{i+1}}{f} - \frac{\Delta f_i}{f} \right)^2}{2(n-1)}} \quad (4)$$

Результаты расчета среднего квадратического отклонения изменения фазы сигнала опорных генераторов с различными значениями СКДО на несущей частоте 10 МГц и интервалах времени когерентного накопления корреляционных интегралов в дискриминаторе канала фильтрации фазы несущей частоты сигнала навигационного космического аппарата 10 мс, 100 мс и 1 с представлены на рис. 1.

Из графика, представленного на рис. 1 следует, что понизить дополнительные флуктуации фазы опорного генератора НАП можно, путем повышения стабильности частоты выходного сигнала генератора, что приводит к увеличению стоимости НАП, или, уменьшая интервал времени когерентного накопления корреляционных интегралов в дискриминаторе канала фильтрации фазы несущей частоты сигнала навигационного космического аппарата.

Случайная составляющая (среднее квадратическое отклонение) оценки фазы, обусловленная шумами входного сигнала (флуктуационная составляющая погрешности оценки фазы) выражается по формуле [2]:

$$\sigma_{\varphi} = \sqrt{\frac{\Delta f_{\text{фap}}}{q \frac{c}{v_0}}} \quad (5)$$

где:  $\Delta f_{\text{фap}}$  — ширина полосы системы слежения за фазой;



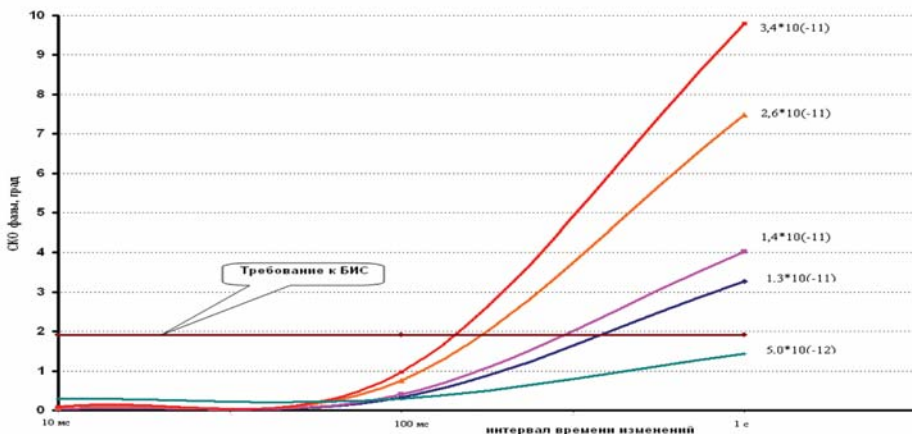


Рис. 1

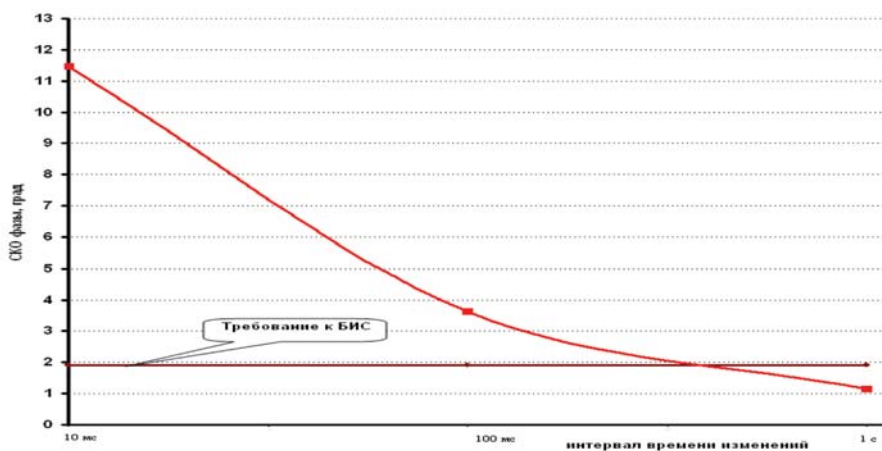


Рис. 2

$q_c/n_0$  — значение энергетического потенциала в НАП

(35 дБГц для глобальной навигационной системы ГЛОНАСС).

Для выбранных интервалов времени когерентного накопления корреляционных интегралов в дискриминаторе канала фильтрации фазы несущей частоты сигнала навигационного космического аппарата 10 мс, 100 мс и 1 с значения ширины полосы системы слежения за фазой  $\Delta f_{\text{фаз}}$  составят 100, 10 и 1 Гц соответственно.

Зависимость флуктуационной составляющей погрешности оценки фазы сигнала от интервала когерентного накопления (ширины полосы системы слежения за фазой) представлена на рис. 2.

Из графика, представленного на рис. 2 видно, что при существующем значении энергетического потенциала для глобальной навигационной системы ГЛОНАСС 35 дБГц, требования прецизионной НАП могут быть достигнуты только на интервалах времени измерений от

0,3 с и более, что соответствует максимально-му значению ширины полосы системы слежения за фазой около 3 Гц.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния нестабильности частоты опорных генераторов на работу следящих систем навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS позволяют сделать следующие выводы:

1. На интервалах времени измерений от 0,01 до 0,3 с доминирующее воздействие на погрешность оценки фазы сигнала оказывает составляющая погрешности, обусловленная шумами в составе входного сигнала, в то время как влияние нестабильности частоты опорного генератора НАП на погрешность оценки фазы наблюдается на интервалах времени когерентного накопления от 1 с и более. Данное обстоятельство необходимо учитывать при задании требований к характеристикам НАП и выборе соответствующего опорного генератора.

2. При существующем значении энергетического потенциала для глобальной навигационной системы ГЛОНАСС возможно обеспечить среднее квадратическое отклонение оценки фазы сигнала НКА на уровне 2–3° при рациональном выборе ширины полосы фильтра в фазовом дискриминаторе и нестабильности частоты опорного генератора НАП на интервалах времени измерений обратно пропорциональных ширине полосы фильтра фазового дискриминатора.

Литература

1. ГОСТ 8.576-99 "Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения времени и частоты. Термины и определения".  
 2. Перов А.И., Харисов В.Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. — М.: Радиотехника, 2010. — 800 с.

Investigation of the influence of frequency instability reference generators to work tracking systems navigation equipment GLONASS/GPS

Driga I.A., Vasiliev R.M. FGBI "Chief Scientific Metrology Centre" Russian Defense Ministry

Abstract

The effect of frequency instability reference generators to work tracking systems consumer navigation equipment signals of global navigation systems GLONASS/GPS.

References

1. GOST 8.576-99 "State system for ensuring the uniformity of measurements. Time and frequency measurement. Terms and definitions".  
 2. Perov A.I., Kharisov V.N. GLONASS. Principles of construction and operation. Moscow, 2010. 800 p.

# Принципы построения опорной сети частотно-временного обеспечения на сети связи общего пользования

Передача времени по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) является передовой технологией, позволяющей повысить уровень частотно-временного обеспечения (ЧВО) сетей связи и широкого круга различных технических систем [1]. Поэтому разработка методов и принципов реализации этой технологии является актуальной научной задачей, имеющей существенное значение для совершенствования и развития ЧВО в РФ. В системах связи синхронной цифровой иерархии (СЦИ), наиболее подходящим для передачи времени является применение метода, основанного на измерении временного положения потока данных относительно соответствующей шкалы времени. Этот метод был реализован в аппаратуре распределения сигналов времени (АРСВ), разработанной ООО "АЛТО" [2,3]. Неопределенность синхронизации шкал времени в данном оборудовании составляет около 30 нс [4,5]. В настоящее время коллективом ООО "АЛТО" в рамках проекта Synclock разрабатывается аппаратура передачи сигналов времени и частоты (АПСВЧ) по ВОЛС с неопределенностью, не превышающей 2 нс [6]. Эта аппаратура может найти широкое применение для решения задач ЧВО на более высоком уровне точности. Одной из таких первоочередных задач является создание опорной сети ЧВО на сети связи общего пользования (ССОП).

**Ключевые слова:** опорная сеть частотно-временного обеспечения, сети связи общего пользования, волоконно-оптические линии связи.

Жуков Е.Т., ИПА РАН  
Иванов А.В., Synclock  
Леготин Н.Н., АЛТО  
Рыжков А.В., МТУСИ  
Толстихин И.Д., Супертел

## Передача времени и частоты в РФ

Частотно-временное обеспечение в РФ осуществляет Государственная служба времени и частоты (ГСВЧ), деятельность которой обеспечивают организации Росстандарта, Минобороны, Минкомсвязи, Российской академии наук (РАН) и других ведомств под руководством Росстандарта.

Научно-методическое и оперативное управление работой ГСВЧ осуществляет Главный метрологический центр (ГМЦ) ГСВЧ, являющийся подразделением Всероссийского НИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) в пос. Менделеево под Москвой. ГМЦ ГСВЧ является хранителем Государственного эталона времени и частоты (ГЭВЧ) и национальной шкалы времени UTC (SU).

Передача времени и частоты потребителям осуществляется под контролем Росстандарта радиостанциями Минкомсвязи в пос. Талдом под Москвой: КВ радиостанцией РВМ на несущей частотах 4,996; 9,996; 14,996 МГц и двумя ДВ радиостанциями: РБУ в пос. Талдом на несущей 66,6(6) кГц и РТЗ в г. Ангарск под Иркутском на несущей 50 кГц. Также передача времени и частоты осуществляется с Технического телевизионного центра (ТТЦ) в Останкино.



Рис. 1. Радиостанции, передающие сигналы времени и частоты

Для ЧВО объектов Минобороны была создана Система единого времени высокой точности (СЕВ ВТ), преобразованная в дальнейшем в Государственную систему единого времени и эталонных частот (ГСЕВЭЧ) с возможностью использования её сигналов также гражданами потребителями. В ГСЕВЭЧ передача времени и частоты осуществляется в основном с помощью ГЛОНАСС (космический сегмент). В наземном сегменте используются ДВ радиостанции импульсно-фазовой радионавигационной системы РНС-Е (А) и РНС-Е (Д) близ Брянска и Сызрани, РНС-В (А) близ Александровска-Сахалинского и СДВ радиостанций связи ВМФ: РЙХ-77, РЙХ-90, РЙХ-63, РАБ-99, РЙХ-69, РЙХ-86 близ городов Архангельск, Нижний Новгород, Краснодар, Хабаровск, Молодечно (Белоруссия) и Бишкек (Киргизия) [7].

Иллюстрация расположения радиостанций, передающих сигналы времени и частоты приведена на рис. 1.

Параметры передачи времени и частоты радиостанциями РФ приведены в таблице.

Также к наземным средствам ЧВО относятся NTP-серверы, установленные во ВНИИФТРИ, которые обеспечивают синхронизацию часов компьютеров с погрешностью 1-10 мс по региональной сети и 10-100 мс по сети Интернет.

Из приведенных данных видно, что с помощью существующих наземных средств ЧВО потребители могут быть обеспечены сигналами времени с минимальной неопределенностью в 1 мкс на расстояниях до 1500 км от радиостанции.



Неопределенность по времени/частоте	Расстояние, км	Тип	Система	Примечание
0.3-2 мс / (1-10)e-8	10000	КВ	Минкомсвязь	РВМ
0,03-0.3 мс / (3-5)e-12	1000	ДВ	Минкомсвязь	РБУ
0,3-1 мс / (1-10)e-11	3000	ДВ	Минкомсвязь	РБУ
0,02-10 мкс /	200	ТВ	ТТЦ	ХЧВ *
1-2 мкс /	1500	ДВ	ГСЕВЭЧ	Поверхностная волна [3]
< 20 мкс /	10000	ДВ	ГСЕВЭЧ	Пространственная волна [3]
3-5 мкс /		СДВ	ГСЕВЭЧ	С калибровкой [3]
20-35 мкс /		СДВ	ГСЕВЭЧ	Без калибровки [3]
< 0,5 мс /		СДВ	ГСЕВЭЧ	По огибающей [3]

\*с помощью ТТЦ обеспечивается сличение хранителей частоты и времени (ХЧВ) в пределах зоны приёма

Обеспечение потребителей в глобальном масштабе осуществляется с помощью спутниковых средств ЧВО. Создание системы ГЛО-НАСС позволило использовать ее сигналы для глобального сличения ХЧВ с погрешностями 20-200 нс, (3-10)e-12 в реальном времени и 2-10 нс, (2-10)e-14 в режиме последующей обработки данных общего наблюдения спутников ("common-view").

### Перспективные задачи и требования к ЧВО

Совершенствование хранителей частоты и времени (ХЧВ) ГСВЧ и, в особенности, эталонов времени и частоты (ЭВЧ) Росстандарта и Минобороны, размещённых под Москвой, Иркутске, Новосибирске и Хабаровске, ставит задачу их сличения с погрешностью не хуже, чем 2e-14 по частоте и 2 нс по времени.

Модернизация системы синхронизации ГЛОНАСС с улучшением характеристик Центрального синхронизатора (ЦС) в г. Щёлково под Москвой и созданием резервного ЦС в г. Комсомольск на Амуре ставит задачу их взаимной синхронизации и временной привязки к ЭВЧ с погрешностью не хуже 2 нс.

Парирование уязвимости ГЛОНАСС ставит задачу создания аналогичной или лучшей

по точности системы для передачи времени и частоты.

Развитие Наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) КА, космодромов и ракетных испытательных полигонов, создание нового космодрома "Восточный" ставят задачу реализации передачи и распределения сигналов времени и частоты по ВОЛС на их объектах.

Становление войск Воздушно-космической обороны, развитие их телекоммуникационного обеспечения, внедрение в ПВО и ПРО технологии многопозиционной радиолокации ставят задачу реализации ЧВО объектов ВКО с передачей времени, в том числе по ВОЛС, с погрешностью не хуже 2 нс.

Астрономические обсерватории (АО) РАН, решающие задачи фундаментального координатно-временного обеспечения с помощью радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) и спутниковой лазерной дальнометрии (СЛД), оснащены водородными стандартами частоты и времени (ВСЧВ), которые могут сличаться с помощью указанных технологий с субнаносекундной погрешностью. Для использования этих возможностей и обеспечения контроля ВСЧВ АО РАН необходима реализация их внешних сличений с ХЧВ Росстандарта,

Минобороны и Минкомсвязи на соответствующем уровне точности, в том числе и с помощью ВОЛС.

Внедрение современной технологии криптозащиты, использующей высокоточную синхронизацию абонентов, ставит задачу ее реализации, в том числе с помощью ВОЛС, с погрешностью не более 2 нс.

Как видно из рис. 2, новые поколения технологий мобильной связи предъявляет возрастающие требования к ЧВО.

Обеспечение представленного круга потребителей, предъявляющих требования к неопределенности времени на уровне не хуже 2 нс, невозможно с помощью существующих наземных средств. Усовершенствование системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС) на ССОП в части её применения для передачи времени открывает возможность для решения этой проблемы.

В отрасли связи уже идёт развитие в этом направлении, происходит процесс конвергенции систем ТСС и систем единого точного времени (ЕТВ).

### Конвергенция систем ТСС и ЕТВ

ЧВО на ССОП первоначально развивалось по пути обеспечения точной частотой коммутационного оборудования СЦИ и систем передачи (СП), что привело к ширококомасштабному внедрению систем ТСС.

На сетях магистральных операторов связи Ростелеком (РТК) и ТрансТелеКом (ТТК) эксплуатируются водородные и цезиевые первичные эталонные генераторы (ПЭГ), используемые в качестве источников сигналов частоты для систем ТСС. На сегодняшний день в России национальная сеть связи общего пользования работает в псевдосинхронном режиме, поскольку в ней работает несколько независимых ПЭГ.

Псевдосинхронный режим в соответствии с международными Рекомендациями обеспечивает качественную связь и может существовать на сети связи практически без всяких ограничений, при этом на национальной сети в цепях передачи информации допускается прохождение до шести регионов синхронизации.

Например, сеть компании РТК, разделена по такому принципу на шесть регионов синхронизации: Дальневосточный (Хабаровск), Сибирский (Новосибирск), Центральный (Тула), Московский (Москва), Южный (Ростов), Северо-западный (Санкт-Петербург).

Необходимость синхронизации временных процессов в отрасли связи и транспорта привела к следующему этапу развития — появлению первых СЕТВ. На данный момент такие системы

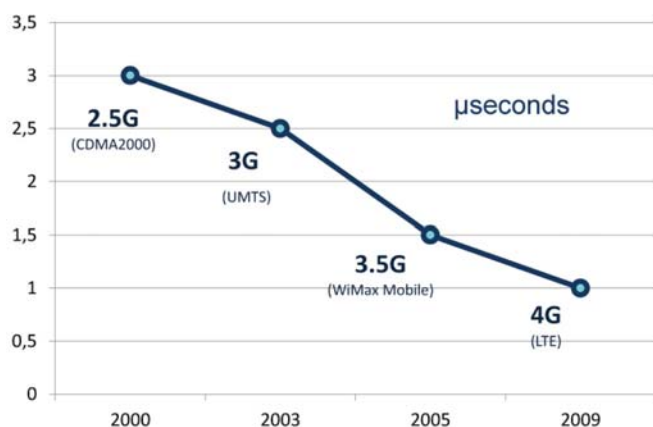


Рис. 2. Требования к ЧВО различных технологий мобильной связи.



Рис. 3. ПЭГ и регионы синхронизации сети связи РТК

внедрены в ТТК, Центробанке (ЦБ) и Российских железных дорогах (РЖД). Такие системы решают задачи ЧВО на уровне регионов синхронизации. В качестве опорных сигналов системы ЕТВ используют точки присоединения ТСС операторов связи и ЭВЧ.

Следующим шагом в процессе конвергенции систем ТСС и ЕТВ видится необходимость создания опорной сети, в состав которой войдут синхронизированные по времени, частоте и фазе ПЭГ, существующие сейчас на сети и усовершенствованные с помощью оборудования ЕТВ. Здесь и далее следует понимать, что существующие ПЭГ не могут быть подстроены с точностью до фазы, по причине отсутствия подобного конструктивного механизма. С точностью до фазы будут синхронизированы выходные сигналы вторичного временного генератора (ВЗГ) нового поколения, который должен прийти на смену существующим сейчас.

Такое построение частично решит проблему доставки сигналов точного времени между регионами синхронизации или сетями ТСС различных операторов связи.

С такой проблемой столкнулась сеть ЕТВ ЦБ РФ: сигналы времени от ГЭВЧ поступают в сеть ЕТВ компании ТТК, затем по СП СЦИ РТК доводятся до потребителя. Неопределённость такого включения ЕТВ у конечного потребителя может быть около 5 мкс.

После решения проблемы межрегиональных переходов достижимая неопределённость передачи времени может составить не более 2 нс у конечного потребителя.

По сути это будет переход работы сети из псевдосинхронного в синхронный режим, что обеспечит гарантированное отсутствие проскальзываний в СП и одновременно откроет возможность для реализации других перспективных подсистем ССОП.

### Положительный эффект для ССОП, после внедрения опорной сети ЧВО

Объединение разнородных территориально-распределенных информационных ресурсов в рамках создания единого информационного пространства (ЕИП) невозможно без использования ССОП и ее сопряжения с ведомственными сетями. Качество, надежность и информационная безопасность этого сопряжения напрямую зависят от ЧВО.

Для ССОП создание опорной сети ЧВО открывает перспективы эволюционного развития по нескольким направлениям:

- сопряжение с ведомственными сетями в рамках ЕИП;
- безопасность внедрения цифровой подписи и электронного документооборота;
- информационная безопасность ЕИП;
- глобализация систем мониторинга и управления сетями связи;
- технологии мобильной связи;
- технологии управления трафиком;
- технологии цифрового телевидения;
- синхронизация опорной сети с распределённой системой ХЧВ на уровне 2 нс не только повысит живучесть и надёжность, но и позволит выполнять функции наземного сегмента ГСВЧ для ЧВО государственных ведомств и систем.

В краткосрочной перспективе наличие опорной сети ЧВО на ССОП позволит на глобальном уровне согласовать, при необходимости, информацию из систем мониторинга и управления сетями, системами и подсистемами отрасли связи, а также внутри ведомственных сетей других отраслей, в рамках единого информационного пространства (ЕИП) РФ. Таким образом, может быть достигнут новый уровень информационной безопасности, оперативности контроля и управления, анализа и предотвращения аварийных (диверсионных) ситуаций — защищенности. По критериям оперативности и защищенности ожидаемая эффективность будет достигаться за счёт точности и надёжности определения времени наступления событий в контролируемой сети, следовательно — точного определения причинно-следственных связей произошедших событий и оперативного прогноза реакции сети. По критерию информационной безопасности ожидаемая эффективность может быть достигнута в долгосрочной перспективе.

В среднесрочной перспективе наличие опорной сети ЧВО на ССОП позволит создать локальные сети мобильной связи, привязанные к сетевой шкале времени. Сигналами времени требуемой точности будут обеспечены как

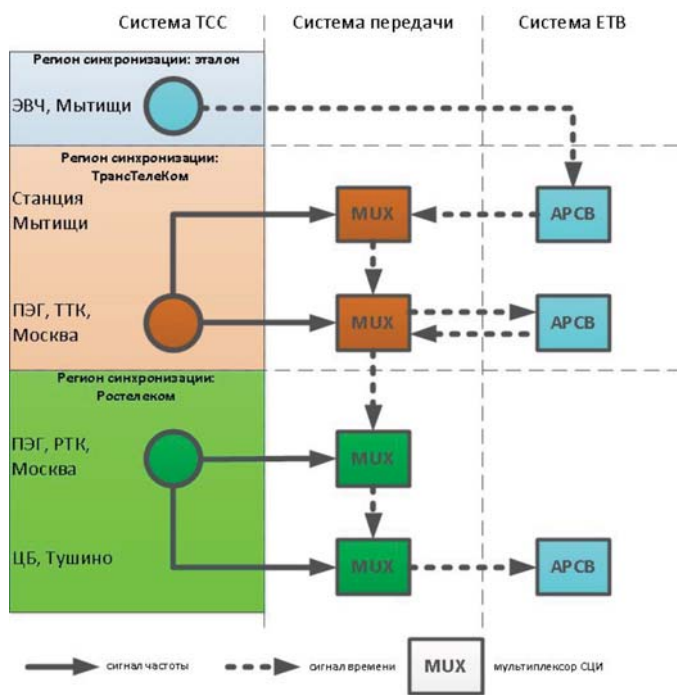


Рис. 4. Элемент системы ЕТВ ЦБ РФ





Рис. 5. Опорная сеть ЧВО на сети РТК и ее потребители: ГЭВЧ, РСДБ телескопы, космодромы, центральные синхронизаторы ГЛОНАСС

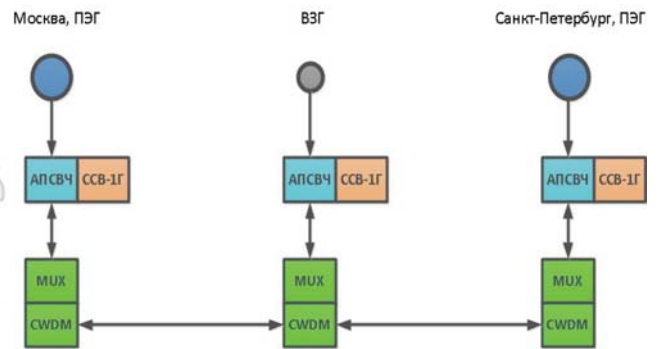


Рис. 6. Предполагаемая опытная зона на сети Ростелеком

существующие мобильные сети, так и сети следующих поколений, которые могут предъявить ещё более жёсткие требования. Временная синхронизация базовых станций обеспечит улучшение характеристик работы хэндовера при переходе движущегося объекта между зонами покрытия, что обеспечит непрерывный режим работы абонентского оборудования на высокой скорости передачи данных в условиях работы в различных мобильных сетях.

В долгосрочной перспективе наличие опорной сети ЧВО на ССОП позволит обеспечить режим работы последней мили с заданными характеристиками синхронизации, что откроет возможность для эволюции маршрутизаторов трафика в направлении работы от системной шкалы времени. Это даст возможность для качественного изменения информационной безопасности ЕИП. Ожидаемая эффективность будет достигаться за счёт оперативного обнаружения трафика, не обладающего метками времени заданной точности, что позволит сделать вывод о его стороннем происхождении.

### Пути построения опорной сети

Использование существующих ПЭГ, систем ТСС и ЕТВ для строительства опорной сети — принцип, позволяющий создать опорную сеть на существующем фундаменте, что облегчает экономические затраты на проектирование и оборудование.

Синхронизация ПЭГ с неопределённостью не более 2 нс в рамках опорной сети, открывает возможность для дальнейшего развития ССОП, одновременно, позволяя в краткосрочной перспективе, использовать её ЧВО для нужд ГСВЧ и потребителей в других отраслях РФ.

На данном этапе технологического развития ССОП для синхронизации ПЭГ целесообразно

разно использовать системы СЦИ. Для решения этой задачи компании Synclock и АЛТО ведут совместную разработку АПСВЧ. Создание экспериментальных образцов этого оборудования открывает возможность для экспериментальных исследований по передаче сигналов времени и частоты по сетям СЦИ.

Опыт внедрения на реальной сети систем ЕТВ на базе аппаратуры АРСВ выявил системную проблему при передаче сигналов точного времени. Специфика СП при существующей конфигурации сети не обеспечивает прозрачный режим прохождения фазы сигналов в прямом и обратном направлении, который является обязательным условием для достижения высокой точности методом двунаправленной передачи времени и измерения круговой задержки [2].

Для решения этой проблемы необходимо проведение работ по исследованию совместной работы АПСВЧ и СП СЦИ в рамках эксперимента, имитирующего реальную сеть. В результате могут быть сформированы принципы переконфигурирования существующих СП для режима взаимной синхронизации, в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т. Следующим этапом планируется разработка модернизированного мультиплексора СЦИ, который обеспечит режим взаимной синхронизации без изменения конфигурации сети.

После проведения эксперимента, подтверждающего заданные характеристики системы, необходимо создание опытной зоны на базе магистрального оператора связи, например РТК. В условиях реальной сети можно будет отработать принципы построения опорной сети с применением экспериментальных образцов АПСВЧ.

Предполагаемая схема опытной зоны представлена на рис. 6. В начале испытаний шкалы времени АПСВЧ должны быть выставле-

ны с помощью возимых квантовых часов. Во время испытаний шкалы времени могут контролироваться методами NTP и PTP. На данный момент к этому готовы NTP-серверы ССВ-1Г, производства компании КОМСЕТ. В конце испытаний шкалы времени контролируются с помощью возимых квантовых часов.

По результатам испытаний могут быть сформированы правила применения оборудования используемого на опорной сети ЧВО и открываться ОКР.

В условиях реальной эксплуатации опорной сети по описанным принципам требует решения задача коррекции шкалы времени на стороне потребителя, с целью компенсации асимметрии задержки, возникающей при прохождении сигналов времени в прямом и обратном направлении в СП. Коррекция должна быть проведена однократно в результате калибровки тракта передачи, а в дальнейшем осуществляться его периодический контроль.

Для проведения калибровки тракта могут использоваться различные методы: перевозимые квантовые часы, совместные наблюдения (common-view) спутников глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), двухсторонняя спутниковая передача времени и частоты (Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer (TWSTFT)). Преимущества по точности и оперативности имеет TWSTFT.

В Институте прикладной астрономии РАН проводятся исследования по TWSTFT и разработке экспериментальных образцов средств сличения ХЧВ по дуплексным каналам спутниковой связи. Применение этих средств позволит обеспечить калибровку трактов передачи времени по СП СЦИ с требуемой точностью и оперативностью.

Сегодня на ССОП активно внедряются сети пакетной передачи данных, работающих в

асинхронном режиме. Технологии мобильной связи и цифрового телевидения ориентированы на работу в таких сетях. ЧВО таких пакетных сетей может осуществляться от опорной сети с помощью технологий: NTP, PTP, SyncEthernet. Стоит отметить, что достижимая точность метода PTP, как наиболее перспективного из представленных, определяется правильно построенной сетью первичных серверов, достоверность которых может быть гарантирована сигналами опорной сети. Необходимо проведение НИР по определению достижимых точностей ЧВО на стороне потребителя и определения правил применения оборудования.

### Выводы

Технологические системы различных отраслей требуют синхронизации с неопределённой точностью не более 2 нс. Гарантированное обеспечение сигналами с такими характеристиками возможно в режиме взаимного дополнения и резервирования наземных и спутниковых средств ЧВО.

На данный момент космический и наземный сегменты не способны обеспечить синхронизации данный круг потребителей.

Создание опорной сети ЧВО на ССОП может решить задачи технологических систем различных отраслей, стать частью существующего наземного сегмента ЧВО, открыть перспективы для дальнейшего развития телекоммуникационных технологий.

Опорная сеть может быть образована в результате конвергенции используемого на сетях связи оборудования, входящего в состав сетей ТСС и ЕТВ, а также новых типов оборудования.

Предложены принципы построения опорной сети ЧВО на ССОП на базе оборудования отечественных производителей. Для проверки принципов построения опорной сети необходимо проведение экспериментальных исследований на опытной зоне на сети магистрального оператора связи.

### Литература

1. Рыжков А.В. Частота и время в инфокоммуникациях XXI века. — М.: МАС, 2006. — 320 с.
2. Рыжков А.В., Павлов А.В., Иванов А.В., Новожилов Е.О. Особенности передачи сигналов времени различными системами, работающими по волоконно-оптическим линиям связи // Труды ИПА РАН. — СПб.: Наука, 2009, Вып. 20. — С. 282-289.

3. Рыжков А.В. Опорная сеть системы единого точного времени на основе ВОЛП // Электросвязь, 2008. — № 10. — С. 54-56.

4. Рыжков А.В., Иванов А.В., Новожилов Е.О. Способы передачи сигналов времени по волоконно-оптическим линиям // Электросвязь, 2009. — №9. — С. 35-38.

5. Иванов А.В., Рыжков А.В. Использование аппаратуры распределения сигналов времени (АРСВ) при организации объединенной системы частотно-временного обеспечения сети связи общего пользования // Современные проблемы частотно-временного обеспечения сетей электросвязи. Сборник трудов международных научно-технических конференций. — М.: ФГУП ЦНИИС, 2010. — С.332-345.

6. Иванов А.В., Моховиков Н.В., Каган С.Н., Малимон А.Н., Пестерев С.В., Пальчиков В.Г., Галышев А.А. Сличение территориально удалённых эталонов времени и частоты с применением волоконно-оптических линий связи // Труды ИПА РАН. — СПб.: Наука, 2012, Вып. 23. — С. 131-135.

7. Бюллетень В14/2013. Эталонные сигналы частоты и времени. Характеристики и программы передач через радиостанции, наземные и космические средства навигации, сети телевизионного вещания / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Главный метрологический центр ГСВЧ РФ. ФГУП "ВНИИФТРИ", 2013.

## Principles of construction of basic network frequency-time support to the public communications network

Zhukov E.T., Russian Academy of Sciences, Ivanov A.V., Synclock, Legotin N.N., ALTO, Ryzhkov A.V., MTUCI, Tolstikhin I.D., Supertel

### Abstract

Passing the time on fiber-optic communication lines (FOCL) is an advanced technology to improve the frequency-time support (CHVO) networks and a wide range of different technical systems [1]. Therefore, the development of methods and principles for the implementation of this technology is an important scientific problem which is essential for the improvement and development CHVO in Russia. In communication systems, synchronous digital hierarchy (SDH), the most appropriate time for the transfer is to use a method based on measurement of the time data stream on the appropriate timescale. This method has been implemented in hardware distribution of time signals (ARSV), developed by ООО "ALTO" [2,3]. Uncertainty synchronization time scales in this equipment is about 30 ns [4,5]. Currently a team of ООО "ALTO" project developed Synclock transmission equipment time and frequency (APSVCH) VOLS with uncertainty less than 2 ns [6]. This instrument can be widely used for solving problems CHVO at a higher level of precision. One of these priorities is to create a support network for CHVO of PSTN (JMPR).

**Keywords:** backbone time-frequency support, public communication network, fiber-optic communication lines.

### References

1. Ryzhkov A.V. Frequency and time information communications XXI century. Moscow, 2006. 320 p.
2. Ryzhkov A.V., Pavlov A.V., Ivanov A.V., Novozhylov E.O. Features signaling time different systems operating over a fiber-optic communication lines / Proceedings of the IAA. St. Petersburg, 2009, Vol. 20. pp. 282-289.
3. Ryzhkov A.V. Common core network based on the exact time of the FOL / Elektrosyaz, 2008. No 10, pp. 54-56.
4. Ryzhkov A.V., Ivanov A.V., Novozhylov E.O. Modes of transmission of time signals over fiber optic lines / Elektrosyaz, 2009. No 9, pp. 35-38.
5. Ivanov A.V., Ryzhkov A.V. Using equipment distribution time signals (ARSV) to the United time-frequency system to ensure the public communications network / Modern problems of the frequency-time support of telecommunication networks. Proceedings of the international scientific and technical conferences. Moscow, 2010, pp. 332-345.
6. Ivanov A.V., Mkhovikov N.V., Kagan S.N., Malimon A.N., Pesterev S.V., Palchikov V.G., Galyshev A.A. Comparison of geographically distant time and frequency standards using fiber-optic communication lines / Proceedings of the IAA. St. Petersburg, 2012, Vol. 23. pp. 131-135.
7. Bulletin B14/2013. Frequency reference signals and time. Characteristics and program transmission via radio, terrestrial and space navigation, network television broadcast / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Chief Metrological Center SSTRussia. FSUE "VNIIFTRI" 2013.



# Опыт эксплуатации оборудования сети ТСС оператора связи

Сеть тактовой сетевой синхронизации (ТСС) оператора связи входит в состав единой магистральной цифровой сети связи и служит основой работоспособности сетей SDH, WDM и TDM, и представляет собой разветвленную однородную сеть формирования, доставки и распределения синхросигналов, наложенную на транспортную сеть на волоконно-оптических линиях передачи [1]. Представляет интерес проведение расширенного анализа надежности функционирования оборудования ТСС. Большую пользу в поддержании требуемых характеристик на сети ТСС оказывает выполнение контрольных измерений параметров сигналов синхронизации (относительной погрешности по частоте, МОВИ, ДВИ, амплитуды, формы и величины фазового дрожания сигналов) на выходе аппаратуры HP 55400 в рамках годового технического обслуживания оборудования ТСС, а также участие в подготовке и проведении аудита системы ТСС согласно требованиям РД45.230-2001.

**Ключевые слова:** сеть тактовой сетевой синхронизации, операторы связи транспортная сеть, измерение параметров сигнала.

**Илясов Б.Н.,**  
старший научный сотрудник  
ОАО "ВНИИ "ЭТАЛОН", к.т.н.

В составе сети функционируют:

- четыре первичных эталонных генератора (ПЭГ) VCH-001, образующие 4 зоны синхронизации с центрами в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске и Хабаровске;
- две самостоятельные зоны синхронизации, расположенные в Калининградской и Сахалинской областях и имеющие свои вторичные задающие генераторы (ВЗГ) VCH-002, которые дополнительно оснащены водородным генератором VCH-1006, рубидиевым генератором VCH-209 и приемником-синхронизатором VCH-311;
- 46 ВЗГ VCH-002 и более 1500 мультиплексов систем передачи SDH, WDM и TDM;
- сертифицированная система управления сетью ТСС (Time Pictra v 3.9).

Распределение отказов оборудования ТСС по годам (в период работы автора с 2006 по 2012 г. включительно) приведено на рис. 1. Анализ диаграммы показал, что после 2009 г. количество отказов возросло на 10-24% относительно среднегодового значения данного показателя за 2006-2009 гг.

Под отказом оборудования ТСС понимается событие, заключающееся в нарушении его работоспособного состояния [2]. При этом восстановление работоспособного состояния отказавшего оборудования ТСС проводилось путем замены на исправное оборудование из состава ЗИП обслуживающим персоналом, либо представителем организации, осуществляющей техническую поддержку согласно договору.

С учетом вышеизложенного, представляет интерес проведение расширенного анализа надежности функционирования оборудования ТСС за 2009 -2012 годы. На рис. 2 и 3 изображены распределения отказов по типу оборудования и приведенного количества отказов по типу оборудования.

Из рис. 2 видно, что имеется как рост, так и

снижение количества отказов оборудования ТСС различного типа по годам, диапазоны которого составляют:

- для VCH-1006 от 2 до 6 отказов;
- для VCH-209 от 11 до 15 отказов;
- для VCH-1006 от 1 до 7 отказов;
- для аппаратуры сетевой синхронизации HP 55400 от 2 до 5 отказов.

На рис. 3 указаны приведенные на предыдущем рисунке данные в относительных единицах, показывающие количество отказов в долях (при необходимости в процентах) к общему объему функционирующего типа оборудования на сети ТСС. В результате анализа следует отметить, что "узкими" местами оборудования ТСС являются снятые с производства опорный рубидиевый генератор VCH-209, аппаратура сетевой синхронизации HP 55400А и приемник-синхронизатор VCH-311. По полученным данным от производителя (ЗАО "Время-С") техническая поддержка через 1-2 года из-за отсутствия комплектующих для опорных рубидиевых генераторов VCH-209 станет невозможной, также фирмой "Симметриком" (США) не выполняется ремонт аппаратуры HP 55400А. Наличие 4-х модификаций VCH-209 и 2-х модификаций VCH-311, одна из которых (33% приемников-синхронизаторов) с антенной Palisade-2 (AcuTime-2000) фирмы "TRIMBL" (США) работает только в системе GPS, создает определенные трудности при выполнении работ по технической поддержке сети ТСС. Характерными причинами отказов приемника-синхронизатора VCH-311 являются кратковременные сбои программного обеспечения, выход из строя антенны фирмы "TRIMBLE", неисправность платы сопряжения, а также обрыв антенного кабеля при сильных ветровых нагрузках или проведении работ на крыше здания. Таким образом, еще в 2009 г. был сделан

**Распределение отказов оборудования ТСС по годам**

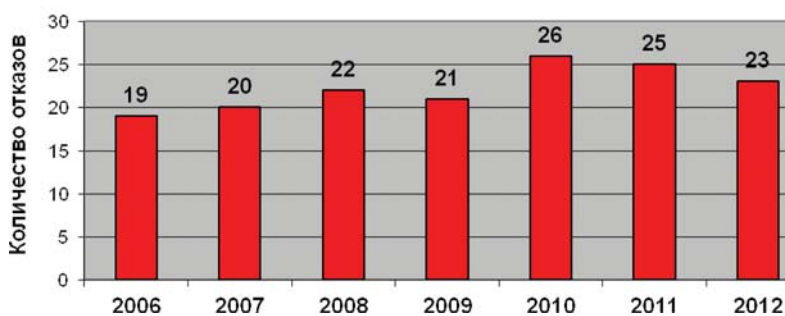


Рис. 1

Распределение отказов по типу оборудования ТСС

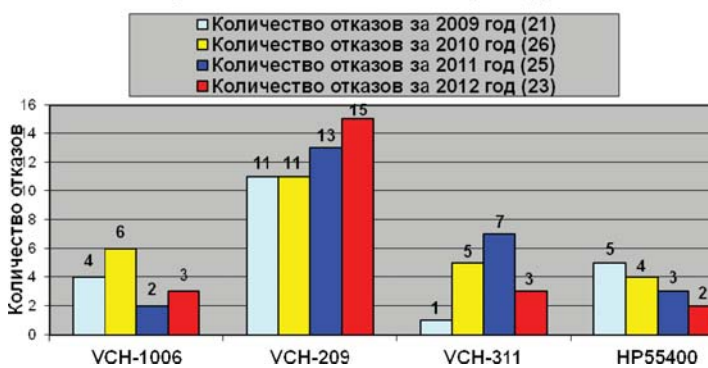


Рис. 2

Распределение приведенного количества отказов по типу оборудования ТСС

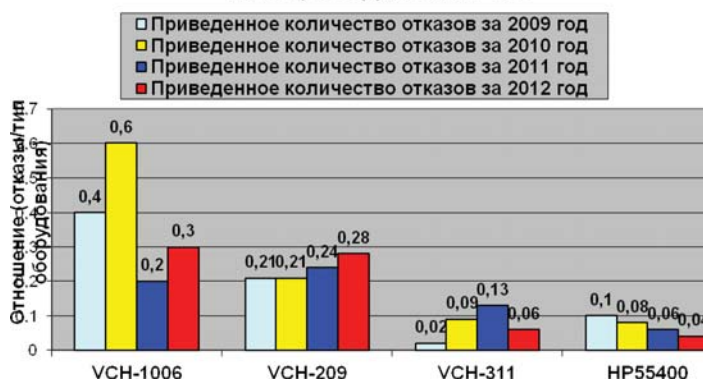


Рис. 3

вывод, что существующее оборудование ТСС морально и физически устарело, производство его прекращено с 2004 г. — требуется поэтапная замена данного оборудования практически на всей сети.

При проведении указанной модернизации в стойку ПЭГ или ВЗГ следует взамен снятого с производства оборудования ТСС установить следующую серийно выпускаемую аппаратуру: вместо опорного рубидиевого генератора VCH-209 и приемника-синхронизатора VCH-311 установить приемник-синхронизатор VCH-311С и вместо аппаратуры сетевой синхронизации HP 55400А — аналогичную аппаратуру SSU-2000Е.

С учетом приведенных выше предложений в 2010 г. выполнена модернизация ПЭГ в Москве (замена опорного рубидиевого генератора VCH-209 и приемника-синхронизатора VCH-311 на приемник-синхронизатор VCH-311С и аппаратуры HP 55400А на аппаратуру SSU-2000Е), а также в стойку ПЭГ установлено оборудование системы единого времени (аппаратуры ретрансляции сигналов времени APCB и сервера сигналов времени ССВ-1П). В 2013 году проведена аналогичная модернизация ПЭГ в Санкт-Петербурге без установки оборудования системы единого времени, а оставшиеся ПЭГ должны быть модернизированы в 2014 г.

Отдельно хотелось бы остановиться на вопросе эксплуатации на сети ТСС водородных генераторов VCH-1004, разработанных в 1993 г. и снятых с производства в 2003 г. По имеющимся сведениям в период с 2001 по 2005 гг. было зафиксировано 37 отказов водородных генераторов VCH-1004. При этом количество отказов в год менялось от 4 до 11. С 2006 по 2008 гг. была проведена замена 10-ти водородных генераторов VCH-1004 на четырех ПЭГ и двух ВЗГ (Калининград и Юж-

Сахалинск) на перспективные водородные генераторы VCH-1006, разработка которых была завершена в 2003 году. Следует отметить их более высокую надежность и ремонтпригодность, меньший вес и габариты, сниженное энергопотребление, что позволило сократить время решения проблем на сети ТСС, снизить стоимость технической эксплуатации и затраты на техническую поддержку. Однако практика показала, что средняя наработка на отказ водородных генераторов VCH-1006 составляет 1-2 года, что создает определенные трудности при эксплуатации ПЭГ, так как имеют место случаи одновременного отказа 2-х VCH-1006 в составе одного ПЭГ (например, в Хабаровске и Новосибирске). В этом случае для повышения надежности ПЭГ приходится разворачивать и временно включать в их состав дополнительное оборудование ТСС из мобильного комплекта ВЗГ в виде приемника-синхронизатора VCH-311С, который является первичным эталонным источником. По нашему мнению, разработчику (ЗАО "Время-Ч") необходимо принять действенные меры по повышению надежности работы VCH-1006, а также обеспечению возможности удаленного доступа по каналу связи к данному генератору для дистанционного снятия текущих параметров и управления его функционированием.

Проработка достаточности ЗИП оборудования сети ТСС показала, что для повышения надежности сети ТСС представляется обоснованным использование данного ЗИП, к основным принципам формирования которого относится его формирование по зонам синхронизации, по комплектности и замена неисправного оборудования ВЗГ на исправное из состава мобильного комплекта. В настоящее время ЗИП ТСС имеется в количестве 5-ти мобильных комплектов, находящихся в офисе оператора связи и 4-х зонах синхронизации. В комплекта-

цию ЗИП ТСС входит аппаратура сетевой синхронизации HP 55400А и приемник-синхронизатор VCH-311С.

Анализ занятости выходов синхросигналов 2,048 МГц ПЭГ и ВЗГ в начале 2008 г. показал, что на 4-х ПЭГ и 17-ти ВЗГ количество свободных выходов составляет менее 50%. В течение этого года были закуплены 20 разветвителей синхросигналов пассивного типа в режиме 1+1 (РС ТСС-М/16), которые были отправлены для доукомплекта 10-ти ВЗГ. Вопрос с увеличением выходов на ПЭГ и оставшихся ВЗГ предполагается решить после проведения запланированной модернизации путем замены аппаратуры сетевой синхронизации HP 55400А на аппаратуру SSU-2000Е и использования освободившихся плат выходных сигналов по назначению.

В 2008 г. было осуществлено техническое перевооружение системы управления (СУ) ТСС, в ходе которого произведена замена сервера с программным обеспечением и 8-ми рабочих станций. При этом вместо СУ Time Pictra v. 3.2 была установлена аналогичная СУ с новой версией ПО (v. 3.9), которая эксплуатируется в полном объеме и позволяет контролировать и управлять не только аппаратурой HP 55400, но и аппаратурой SSU-2000Е. Оборудование старой СУ Time Pictra v. 3.2 после демонтажа переведено в холодный резерв. В 2009 г. выполнена полная замена модемов FCD-IP/D фирмы RAD на маршрутизаторы MM-201RC-UNI-DC фирмы Zelax в сети СУ ТСС. Количество отказов модемов на сети резко сократилось, надежность управления с помощью СУ Time Pictra существенно возросла. По настоящее время количество отказов вновь установленных маршрутизаторов крайне мало.

На рис. 4 и рис. 5 показано распределение проблем на сети ТСС по причинам возникновения в 2011 и 2012 гг. соответственно, что пред-



Распределение проблем на сети ТСС по причинам возникновения

Количество проблем за 2011 год (103)

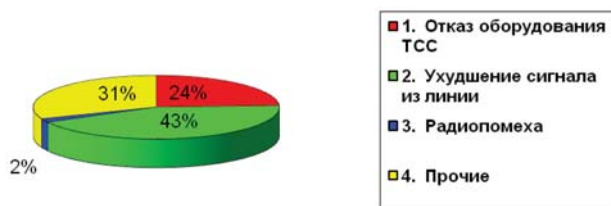


Рис. 4

Таблица 1

Причина	Количество		Проценты	
	2011	2012	2011	2012
1. Отказ оборудования ТСС	25	23	24%	18%
2. Ухудшение сигнала из линии	44	66	43%	50%
3. Радиопомеха	2	6	2%	5%
4. Прочие	32	36	31%	27%
<b>Всего</b>	<b>103</b>	<b>133</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Количество проблем за 2012 год (133)

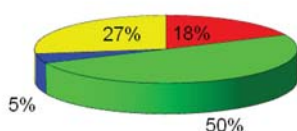


Рис. 5

ставляет собой реальный объем отказов (невосстанавливаемых и восстанавливаемых эксплуатирующим персоналом), а также прочих отказов. В таблице 1 приведены численные значения

(разы, проценты) количества отказов по указанным причинам. Общее количество проблем в 2011 году составило 103, а в 2012 году — 133. То есть имеет место увеличение проблем по сравнению с предыдущим годом в 1,3 раза.

Ухудшение сигнала из линии в 2012 году по сравнению с 2011 годом увеличилось в 1,5 раза (с 44 до 66) из-за большого объема проводимых работ на магистральной сети, а появление радиопомехи увеличилось в 3 раза (с 2 до 6). Последнее объясняется ухудшением электромагнитной обстановки в местах развертывания антенн приемников-синхронизаторов

VCH-311 и VCH-311C.

Количество прочих причин увеличилось по сравнению с 2011 годом с 32 до 36 случаев. К ним относятся: некачественный контакт в разъеме, сбои блоков питания приемника-синхронизатора VCH-311 и рубидиевого генератора VCH-209, сбои плат аппаратуры сетевой синхронизации HP 55400 (выход кварцевого генератора платы ПТН за пределы регулировки, разнопласие плат ПТН в оценке качества синхросигнала), сбои при выходе аппаратуры в рабочий режим и т.п.

Большую пользу в поддержании требуемых характеристик на сети ТСС оказывает выполнение контрольных измерений параметров сигналов синхронизации (относительной погрешности по частоте, МОВИ, ДВИ, амплитуды, формы и величины фазового дрожания сигналов) на выходе аппаратуры HP 55400 с помощью приборов ИВО-1М (ИВО-2) в рамках годового технического обслуживания оборудования ТСС (1 раз в год для ПЭГ и 1 раз в 3 года для ВЗГ), а также участие в подготовке и проведении аудита системы ТСС согласно требованиям РД45.230-2001.

Литература

1. Давыдкин П.Н., Колтунов М.Н., Рыжков А.В. Тактовая сетевая синхронизация. — М.: Эко-Трендз, 2004 — 205с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. — М.: Издательство стандартов, 1990.

Experience in operating network equipment TCC operator

Ilyasov B.N., Senior Researcher of "Institute"Etalon", Ph.D.

Abstract

Network clock network synchronization ( TSS ) operator is part of a unified digital backbone network and is the basis of efficiency networks SDH, WDM and TDM, and is a branched homogeneous network formation , delivery and distribution of clock superimposed on the transport network based on fiber-optic transmission [1]. Of interest is an expanded analysis of the reliability of equipment operation TCC. Great benefit in maintaining the required characteristics for network performance monitoring has TSS measurements of synchronization signals ( relative error in frequency MTIE , DWI, amplitude , shape and size of the jitter signals) output hardware HP 55400 in the annual maintenance of equipment TCC and involved in preparing and auditing system according to the requirements RD45.230 TCC-2001.

**Keywords:** network clock synchronization network, carriers transport network, the measurement signal parameters.

References

1. Davidkin P.N., Koltunov M.N., Ryzhkov A.V. Clock network synchronization. Moscow, 2004, 205 p.
2. GOST 27.002-89. Reliability engineering. Basic concepts. Terms and definitions. Moscow: Publishing House of Standards, 1990.

# Измерения основных параметров системы ТСС

**Ключевые слова:** тактовая сетевая синхронизация, синхросигнал, временной интервал, первичный эталонный генератор, ошибка временного интервала, максимальная ошибка временного интервала, девиация временного интервала, дрейф частоты.

Колтунов М.Н.,  
МТУСИ, к.т.н., mihnatk@mail.ru

## Общие положения

В процессе эксплуатации системы ТСС на сетях связи измерения основных параметров синхросигналов проводятся с целью определения их соответствия требуемым сетевым нормам, а также при паспортизации оборудования, используемого для формирования и восстановления сигналов синхронизации.

Стандартизированным сигналом синхронизации на сети ТСС служит синусоидальный или прямоугольный сигнал частотой 2,048 МГц. В качестве синхросигнала используют также сигнал 2,048 Мбит/с в коде HDB3, который в отличие от сигнала 2,048 МГц, меньше затухает, и его легче восстанавливать с целью передачи на большие расстояния. [1-3]

При быстром изменении фазы сигнала синхронизации (с частотой 10 Гц и более) создается дрожание фазы (джиттер), а при медленном изменении фазы сигнала (с частотой ниже 10 Гц) — блуждание фазы (вандер) [1-6].

Дрожание фазы измеряется в долях тактового интервала (единичного интервала ЕИ), а блуждание фазы измеряется в нс, определяемой ошибкой временного интервала (ОВИ).

Так как дрожание фазы подавляется сетевыми элементами (СЭ) на каждом участке цифровой сети и, следовательно, не накапливается, то основными характеристиками, определяющими искажения синхросигнала при передаче его по цифровой сети, являются параметры блуждания фазы [5].

Параметры оборудования, подвергающегося паспортизации, необходимо измерять с

Надежное функционирование системы ТСС на сети связи общего пользования (ССОП) обеспечивается путем организации измерений условий распределения сигналов синхронизации на всех сетях электросвязи взаимодействующих с ССОП. В настоящее время, судя по результатам аудита и оформления экспертных заключений, большинство аудиторов (измерителей) используют разные методики, что снижает ценность и объективность проводимых измерений, затрудняет возможность выявления элементов сети ТСС с некачественными параметрами, что в результате не гарантирует надежного распределения синхросигналов на сетях электросвязи. Приводятся анализ используемых методик и приводятся рекомендации по их усовершенствованию путем определения оптимального порядка проведения измерений на сети ТСС и сравнения полученных результатов с установленными нормами [1-4]. Показывается необходимость разработки и утверждения, для использования на сети связи, стандартных методик проведения измерений основных параметров системы ТСС, с помощью которых можно гарантировать надежное распределение синхросигналов по сетям электросвязи. Проанализированы типовые ошибки, которые возникают при проведении измерений параметров системы ТСС и их влияние на получаемые результаты.

целью проверки его исправности и обеспечения эффективного использования в системе ТСС. Наиболее важными характеристиками оборудования синхронизации являются:

- точность установки номинала тактовой частоты, т.е. относительное отклонение формируемой тактовой частоты от его номинального значения;
- помехоустойчивость к шумам во входном сигнале синхронизации;
- подавление шумов в поступающем входном сигнале синхронизации;
- нарушения непрерывности выходного сигнала синхронизации при переходе на резервный сигнал синхронизации, или на резервный комплект оборудования;
- полоса захвата входного сигнала синхронизации. Этот параметр важен для обеспечения устойчивости работы сети ТСС в синхронном режиме;
- стабильность частоты сигнала синхронизации при переходе оборудования в режим запоминания частоты (точность запоминания и суточный уход частоты).

## Организация измерений

При организации измерений на сети ТСС определяются перечень измеряемых параметров, а также порядок и методы проведения измерений, которые распространяются на следующие элементы системы ТСС:

- оборудование ТСС, а также коммутационные станции, которые используются при распределении синхросигналов по сети ТСС;
- источники эталонных синхросигналов, подключенные к сети ТСС;
- сети ТСС, построенные на базе цифровых транспортных систем.

Проведение измерений состоит из следующих трех этапов:

- на схеме сети ТСС определяются точки, в которых должны измеряться параметры синхросигналов;
- устанавливается последовательность проведения измерений в этих точках (план проведения измерений);
- проводится комплексный анализ результатов проведенных измерений для определения качества проверяемой сети ТСС, выявления существующих недостатков, выдачи рекомендаций по их устранению и, в случае необходимости, предложений по дальнейшему развитию данной сети ТСС.

Задачей всех трех этапов состоит в обеспечении необходимого качества функционирования системы ТСС, которое характеризуется соответствующими параметрами сигналов синхронизации и оборудовании синхронизации, используемого для получения и восстановления этих сигналов.

В результате на сети ТСС измеряют следующие характеристики:

- относительным отклонением частоты синхросигнала от его номинального значения;
- уровнем блуждания фазы синхросигнала на входе и выходе систем передачи и оборудования, преобразующего или использующего сигналы синхронизации, поступающие к нему на вход. Уровень допустимых блужданий фазы сигналов синхронизации определяется с помощью максимальной ошибкой временного интервала (МОВИ) и девиация временного интервала (ДВИ) для различных интервалов наблюдения;
- точностью запоминания и поддержания частоты синхросигнала оборудованием син-



хронизации в режиме удержания частоты;

- допустимый уровень фазовых блужданий фазы на входе оборудования ТСС, который не приводит к аварийной ситуации;

- полоса подавления фазовых блужданий входного синхросигнала в оборудовании ТСС;

- нарушением непрерывности фазы синхросигнала при переключениях на резервный синхросигнал или на резервные комплекты оборудования.

Кроме указанных выше основных параметров синхронизации система ТСС характеризуется:

- формой импульсов и дрожанием фазы синхросигнала, для измерения которых не требуются специальных методик, т.к. эти измерения не являются специфическими для системы ТСС.

В некоторых случаях необходимо измерять полосу захвата системы ФАПЧ управляемого генератора СЭ. Эта методика хотя и не совсем специфична для системы ТСС, но из-за редкого применения в других системах, её целесообразно рассмотреть в данной статье.

### Порядок проведения измерений основных параметров системы ТСС

#### Измерения параметров блуждания фазы синхросигнала

Наиболее массовыми и важными измерениями на сети ТСС являются измерения параметров блуждания фазы синхросигнала (МОВИ и ДВИ), которые определяются используемыми на сети приборами при прямых измерениях данных ОВИ. Значения МОВИ и ДВИ для различных интервалов наблюдения, рассчитываются по заданной программе, заложенной в измерительный прибор и выводятся на экран прибора и на печать [1]. Получаемые зависимости МОВИ и ДВИ от длительности интервала наблюдения сравниваются с предельными значениями (масками), установленными для различных условий измерения. Для оценки результатов проведенных измерений необходимо правильно выбрать "маску" и определить характерные значения параметров МОВИ и ДВИ, которые необходимо сравнивать с выбранной "маской", а также установить необходимое время измерений.

При оценке результатов измерений основной "маской" должна служить "маска" характеризующая синхросигналы на выходе сети ТСС, определяемые как выходные параметры ПЭГ [8,9]. Если измеренные параметры МОВИ и ДВИ укладываются в пределы этой маски, то качество синхронизации данного элемента очень хорошее. Если не укладывается в эту "ма-

ску", то требуется проведение анализа цепи передачи для данного синхросигнала. Для такого анализа нужна другая "маска", превышение данных которой недопустимо на сети ТСС. Эта "маска" специфична для каждого вида систем передачи и оборудования ТСС [8,9]. Чем короче цепь элементов, используемых для передачи сигнала синхронизации, тем ближе должны быть измеренные значения МОВИ и ДВИ к "маске" для выходных параметров ПЭГ.

Исходя из вида оборудования, на выходе которого проводится измерения, устанавливается оптимальное время измерения. На входах любого оборудования, включенного в сеть ТСС, а также на выходах мультиплексоров систем передачи, длительность каждого измерения ОВИ должна находиться в пределах 1200 с. На выходах ВЗГ, МЗГ и коммутационных станций, за счет помех, создаваемых собственной системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), время измерения ОВИ рекомендуется увеличить до 2400 с. Если время измерения ОВИ устанавливать больше указанных величин, то результаты измерений могут искажаться за счет неточности установки номинала частоты в опорном генераторе измерительного прибора. Так, например, при точности установки номинала тактовой частоты равной  $1 \cdot 10^{-10}$ , за два часа измерений ошибка в измеренном значении МОВИ достигнет 720 нс, в то время как действительное значение может быть меньше этого значения (Для сигналов на входе линии МОВИ  $\leq 370$  нс).

Необходимо обратить внимание на то, что характеристика ДВИ обычно имеет сложную форму, а сравнивать с "маской" необходимо максимальные значения ДВИ для всего интервала наблюдения, а не для участка этого интервала, как это обычно делается на практике. Так как приведенные в таблице, интервалы наблюдения начинаются с нулевого значения, то для синхросигнала, приведенного на рис. 1 при всех интервалах наблюдения больших 25 с — максимальное значение ДВИ приблизительно равно 12 нс. При этом в таблицах необходимо записывать допустимые пределы для измеряе-

мой величины не в виде формул, а в числовом виде, и указывать, что измеренные значения  $\leq$  некоторого данного, приведенного в таблице.

Определение значений ДВИ для различных участков внутри интервала наблюдения, не имеет практического смысла, и поэтому записывать их в таблицы не нужно.

#### Измерения относительного отклонения частоты от номинального ее значения

Метод измерения относительного отклонения частоты синхросигнала от её номинального значения заключается в сравнении частоты синхросигнала с частотой опорного сигнала, в качестве которого должен использоваться поверенный генератор, точность установки частоты которого выше, чем у измеряемого сигнала, т.е. не более, чем  $2 \cdot 10^{-12}$  [1].

Относительное отклонение частоты синхросигнала от ее номинального значения рассчитывается по формуле:

$$\Delta f/f_n = (\text{МОВИ})_k - (\text{МОВИ})_n / \tau_{\text{кон}} - \tau_{\text{нач}}$$

где:  $\Delta f$  — отклонение частоты синхросигнала от ее номинального значения;  $f_n$  — номинальное значение частоты синхросигнала;  $(\text{МОВИ})_k$  и  $(\text{МОВИ})_n$  — значения МОВИ, соответствующие началу и концу участка графика зависимости МОВИ от интервала наблюдения "т", на котором изменение МОВИ определяется долговременной стабильностью частоты (далее — участок графика зависимости);  $\tau_{\text{кон}}$  — интервал наблюдения, соответствующий концу участка графика зависимости, значение которого выбирается исходя из требуемой точности измерений;  $\tau_{\text{нач}}$  — интервал наблюдения, соответствующий началу участка графика зависимости МОВИ от времени наблюдения, для которого эта зависимость практически перестает зависеть от шумов, вызываемых блужданием фазы сигнала синхронизации. На рис. 2,  $\tau_{\text{нач}} = 20$  с.

Приведенная выше формула позволяет уменьшить время измерения, так как при ее

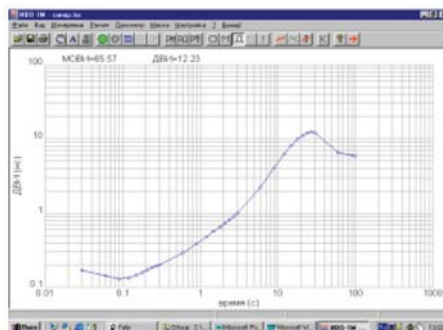


Рис. 1

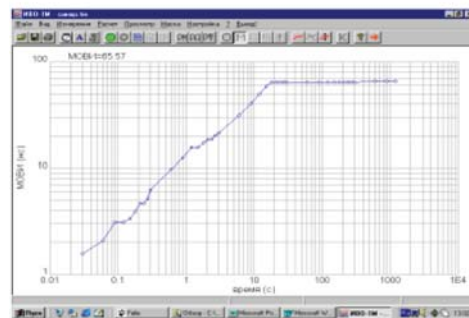


Рис. 2

использовании, на результаты измерения практически не влияет существующие в сигнале блуждания фазы.

С целью упрощения процедуры измерения относительного отклонения частоты синхросигнала от его номинального значения на выходе ПЭГ допускается использовать в качестве опорного источника синхросигнала неиспользуемый в формировании синхросигнала ПЭИ, входящий в состав ПЭГ.

Такое упрощение допустимо, так как при данных измерениях не требуется определять метрологическое значение данной характеристики сигнала синхронизации, а проводится лишь проверка исправности оборудования ТСС, при которой необходимо определить, что относительного отклонения частоты синхросигнала укладывается в заданный допуск (отклонение частоты  $\leq 10^{-11}$ ), а каждый исправный ПЭИ обеспечивает точность установки номинального значения частоты не хуже, чем  $5 \cdot 10^{-12}$ .

При измерениях отклонений значения частоты синхросигнала в момент перехода задающего генератора в режим запоминания частоты и в процессе работы в этом режиме на суточном временном интервале, достаточно использовать опорный генератор средства измерения и проводить сравнение измерений изменений значений МОВИ на временном интервале длительностью не менее 0,5 ч.

Точность запоминания частоты  $\Delta f_1/f_n$  определяется, как разность значений МОВИ, поделенная на длительность интервала измерения, т.е.  $\Delta f_1/f_n = (МОВИ_{2000c} - МОВИ_{200c})/1800$  с, где МОВИ измеряется в нс, а целое значение  $\Delta f_1/f_n$  выражено в  $10^{-12}$  относительных единицах. Суточное отклонение частоты определяется, как разность между  $\Delta f_2/f_n - \Delta f_1/f_n$ , где  $\Delta f_2/f_n = (МОВИ_{24ч} - МОВИ_{23,5ч})/1800$  с. Таким образом, при определении  $\Delta f_1/f_n$  значения МОВИ определяют на временном интервале от 200 до 2000 с, а  $\Delta f_2/f_n$  определяют на временном интервале от 23,5 до 24 ч. Не будет большой ошибки.

Можно оценивать качество режима запоминания частоты в соответствии с установленным в стандарте ETSI 300 462 4 допустимому значению ОВИ (фазовой ошибки)  $\Delta T(S) = |a_1 + 0,5bS^2 + c|$ , где  $a_1 = 5 \cdot 10^{-10}$ ,  $b = 2 \cdot 10^{-10}/$  в день или  $2,3 \cdot 10^{-6}$  нс/с,  $a$  с = 60 нс. Эта оценка естественно не учитывает влияние каждого из компонентов и поэтому менее удобна при анализе работы оборудования синхронизации в режиме запоминания частоты, но для определения работоспособности БСС коммутационных станций этих данных достаточно.

(В рекомендации G812 нет необходимых исходных данных для расчета  $\Delta T(S)$ .)

*Измерение допустимого уровня фазовых шумов*

При паспортизации оборудования синхронизации измеряют допустимый уровень фазовых шумов в синхросигнале на входе. Измерения обычно проводятся путем модуляции входного сигнала синусоидальными сигналами различной частоты, причем амплитуда модулирующего сигнала устанавливается в соответствии с существующими международными рекомендациями [7]

Модуляцию входного синхросигнала осуществляют последовательно частотами 1 Гц с амплитудой 375 нс; 0,1 Гц с амплитудой 375 нс; 0,01 Гц с амплитудой 1000 нс; 0,001 Гц с амплитудой 1000 нс и 0,0001 Гц с амплитудой 2500 нс.

Соответственно устанавливается длительность измерений:

- для частот 1 и 0,1 Гц — это 100 с;
- для частоты 0,01 Гц — 1000 с;
- для частоты 0,001 Гц — 10000 с;
- для частоты 0,0001 Гц — 20000 с.

Измерять ДВИ в выходном сигнале при такой виде модуляции входного сигнала практически бесполезно, так как это измерение предполагает шумовую модуляцию входного сигнала. Устойчивость оборудования к входным помехам определяется наблюдением за формой сигнала синхронизации на выходе испытываемого оборудования, которая должна в среднем сохранять исходную частоту синхросигнала 2,048 мГц, т.е. в оборудовании нет аварий, отсутствие переключений на резерв или изменение режима работы ФАПЧ, а также сохраняется синхронный режим работы.

Если выходной сигнал при установленной амплитуде модуляции не удерживает исходную частоту, то амплитуду модуляции надо уменьшать с целью определения допустимого для данного оборудования уровня шумового сигнала.

*Измерения полосы подавления фазовых шумов входного синхросигнала*

Алгоритм измерения данного параметра во многом аналогичен рассмотренному ранее в предыдущем разделе.

При проведении измерений осуществляют модуляцию входного синхросигнала последовательно частотами 1; 0,1; 0,01; 0,001 и 0,0001 Гц, но при этом для всех частот модуляции устанавливается одинаковая амплитуда,

которая меньше максимально-допустимой. Рекомендуется установить амплитуду модуляции равной 200 нс. Длительность измерений, как в предыдущей методике устанавливается равной:

- для частот 1 и 0,1 Гц — 100 с;
- для частоты 0,01 Гц — 1000 с;
- для частоты 0,001 Гц — 10000 с;
- для частоты 0,0001 Гц — 20000 с.

Наблюдается выходной синхросигнал, который должен в среднем сохранять исходную частоту синхросигнала 2,048 мГц. При этом амплитуда модуляции выходного сигнала, должна уменьшаться с повышением частоты модуляции.

Частота, для которой амплитуду модуляции выходного синхросигнала равна приблизительно 140 нс определяет полосу подавления фазовых шумов.

*Примечание.*

1. Если полоса подавления шумов относительно широкая, то нет необходимости устанавливать частоты модуляции 0,001 и 0,0001 Гц.
2. Для более точного определения полосы подавления фазовых шумов допустимо устанавливать дополнительные модулирующие частоты входного синхросигнала.

*Измерения нарушений непрерывности фазы формируемого синхросигнала*

Нарушения непрерывности фазы выходного синхросигнала в оборудовании возникают при переключениях на резервный синхросигнал или на резервный комплект оборудования.

Данные измерения не должны предусматривать анализ всего процесса переключения, т.к. режим запоминания частоты синхросигнала проверяется отдельно, а процесс перехода на резерв определяется разностью фаз исходных сигналов.

Скачки фазы выходного синхросигнала рекомендуется определять по изменению характеристики ОВИ на интервале времени, в течение которого происходит данное переключение.

Начинать измерение рекомендуется за 2-3 минуты до момента проводимого переключения и заканчивается спустя 5 минут после потери основного синхросигнала или выключения основного комплекта оборудования.

Определяется величина изменения фазы выходного синхросигнала в моменты переключения (скачок фазы). Обычно измеряемая величина не превышает нескольких наносекунд, а допустимые нормы, зависят от вида испытываемого оборудования, и равны 60 или 120 нс.



(Для оборудования синхронизации — это 60 нс, а для систем передачи и коммутационных станций — 120 нс).

*Измерение полосы захвата системы ФАПЧ управляемого генератора*

Для проведения измерений устанавливают допустимые для данного вида оборудования отклонения частоты входного сигнала синхронизации относительно исходного, формируемого измерительным прибором, которое в данном случае принимается за номинальное значение.

Сначала изменяют частоту в сторону ее увеличения (например, для ВЗГ это  $+1 \cdot 10^{-8}$ ), а затем в сторону ее уменьшения (на  $-1 \cdot 10^{-8}$ ).

Наличие надежного захвата определяется по характеристике ОВИ для выходного синхросигнала, которая должна соответствовать установленному отклонению частоты входного синхросигнала. Если выходной сигнал повторяет форму (установленное отклонение частоты) входного сигнала, то произошел захват, т.е. полоса захвата не уже, чем установленное отклонение частоты. Если же частота выходного сигнала перестает четко определяться установленной частотой входного сигнала, то необходимо повторить измерения, установив при этом меньшее отклонение частоты. (Возможно наличие асимметрии, когда допустимое отклонение частоты в одну сторону отличается от допустимого

отклонения в другую сторону). В этом случае требуется специальный анализ полученных результатов, и, возможно, подстройка частоты задающего генератора оборудования.

**Выводы**

1. Для обеспечения высокого качества услуг, которые предоставляет ССОП потребителям, необходимо проводить качественные измерения параметров системы ТСС на сетях всех операторов связи, подключенных к ССОП.
2. Невозможно осуществлять надежные и качественные измерения в отсутствии чётких, и желательно, утвержденных методик измерения.
3. Данная статья является попыткой показать особенности проведения измерений параметров системы ТСС на ССОП.

**Литература**

1. Колтунов М.Н., Леготин Н.Н., Шварц М.Л. Сетевая синхронизация в системах связи. — М.: SYRUS SYSTEMS, 2007. — 240 с.
2. Приказ Мининформсвязи №161 от 07.12.2006г. об утверждении Правил применения оборудования тактовой сетевой синхронизации.
3. Мельникова Н.Ф. Метрологическое обеспечение системы тактовой сетевой синхронизации на цифровой сети общего пользования Российской Федерации // Метрология и измерительная техника. — № 6, 1999. — С. 18-27.

4. РД 45.230.2001 "Аудит системы тактовой сетевой синхронизации" Минсвязи России. — М., 2001.

5. Колтунов М.Н. Организация измерений при эксплуатации системы тактовой сетевой синхронизации // Электросвязь, 2010. — №12.

6. Рекомендация отрасли Р45.09-2001 "Присоединение сетей операторов связи к базовой сети тактовой сетевой синхронизации". Минсвязи России. — М., 2001.

7. Рекомендация МСЭ-T G. 812: Временные характеристики ведомых генераторов, пригодных для использования в качестве генераторов на узлах сети синхронизации (2002).

8. Рекомендация МСЭ-T G. 823 Управление дрожанием и блужданием фазы в цифровых сетях связи, основанных на иерархии 2048 кбит/с. (2002).

9. ETSI EN 300 462-3-1 "Передача и мультиплексирование (ТМ); Общие требования к сетям синхронизации. ч.3.1: Управление дрожанием и блужданием фазы в сетях синхронизации" (2003).

10. ETSI EN 300 462-4-1 "Передача и мультиплексирование (ТМ); Общие требования к сетям синхронизации. ч.4.1: Временные характеристики задающих генераторов для синхронизации аппаратуры синхронной цифровой иерархии (СЦИ) и плейзиохронной цифровой иерархии (ПЦИ)" (2002).

11. ETSI EN 300 462-7-1 "Передача и мультиплексирование (ТМ); Общие требования к сетям синхронизации. ч.7.1: Временные характеристики задающих генераторов для синхронизации аппаратуры местных узлов связи" (2001).

**Measurements of key parameters of the TCC system**

*Koltunov M.N., MTUCI, Ph.D., mihnatk@mail.ru*

**Abstract**

Reliable operation of TCC on the public telecommunications network (JMPPR) measurements provided by the organization conditions synchronization signal distribution on all telecommunication networks interacting with JMPPR. Currently, according to the results of the audit and presentation of expert opinions, most auditors (meters) use different techniques, which reduces the value and objectivity of measurements makes it difficult to identify the elements of CNS network of low-quality parameters as a result does not guarantee reliable clock distribution networks for Telecommunication. Analysis techniques are used, and provides recommendations to improve them by determining the optimal order of performing measurements on CNS network and comparing the results obtained with the established norms [1-4]. The necessity of development and approval for use on the network, the standard techniques for measuring the basic parameters of TSS, with which you can ensure reliable distribution sinhroinformatcii via telecommunication networks. Analyzed the typical errors that occur when measuring system parameters TSS and their influence on the results.

**Keywords:** network timing, timing signal, timing interval, primary referents clock, timing interval error, maximum time interval error, time deviation, frequency drift.

**References**

1. Koltunov M.N., Legotin N.N., Schwartz M.L Network synchronization in communication systems. Moscow, SYRUS SYSTEMS, 2007, 240 p.
2. Mininformsvyaz Order number 161 of 07.12.2006. approving the Rules of application equipment clock network synchronization.
3. Melnikova N.F. Metrological assurance system clock network synchronization for digital public network of the Russian Federation. Metrology and Measuring Equipment number in June 1999 pp. 18-27.
4. RD 45.230.2001 "Audit system clock network synchronization" Russian Ministry of Communications, Moscow, 2001.
5. Koltunov M.N. Organization measurements during system operation clock network synchronization / Electrosvyaz, 2010, No12.
6. Recommendation industry R45.09-2001 "Connection carrier networks to the core network clock synchronization network" Russian Ministry of Communications, Moscow 2001.
7. Recommendation ITU-T G. 812: Temporal characteristics of the driven generator suitable for use in as the generators on the nodes of the network synchronization (2002).
8. Recommendation ITU-T G. 823: Management and wandering phase jitter in digital communication networks, based on a hierarchy of 2048kbit/c. (2002).
9. ETSI EN 300 462-3-1 (2003).
10. ETSI EN 300 462-4-1 (2002).
11. ETSI EN 300 462-7-1 (2001).

# Мониторинг параметров работы сетей и временная синхронизация

Автоматизированные системы управления и мониторинга сетей связи нуждаются во временной синхронизации для записи временных меток различных событий и измерения интервалов времени между ними. Например, в системах управления устранением неисправностей знание моментов наступления событий в различных точках сети облегчает поиск первопричин отказов, фиксация моментов событий и действий пользователей в различных системах управления важна для реализации функций управления безопасностью. Рассматривается важный частный случай — мониторинг параметров работы сетей с коммутацией пакетов. Актуальность этой темы объясняется несколькими обстоятельствами, указанными ниже. Для сетей передачи данных установлены технические нормы на показатели функционирования [1], которые подлежат контролю со стороны оператора связи в процессе эксплуатации сети связи. Сеть коммутации пакетов лежит в основе современной мультисервисной сети NGN, при этом параметры работы пакетной сети существенно влияют на показатели качества различных услуг. В условиях конкурентного рынка качество обслуживания (Quality of Service, QoS) является одним из важнейших факторов, определяющих выбор оператора связи пользователями и их лояльность. Действенным инструментом привлечения и удержания клиентов становятся соглашения об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA). Обеспечение QoS и поддержка SLA требуют мониторинга показателей QoS и влияющих на них параметров работы сети.

**Ключевые слова:** пакетные сети, параметры работы, QoS, SLA, измерение задержек, временная синхронизация.

**Нетес В.А.,**  
профессор МТУСИ, д.т.н., [vnet@srd-mtuci.ru](mailto:vnet@srd-mtuci.ru)

## Показатели функционирования пакетных сетей

Основные показатели, характеризующие функционирование сети с коммутацией пакетов на основе протокола IP, определены в Рек. МСЭ-Т Y.1540, а нормы для них — в Рек. Y.1541. Установленные в [1] требования взяты именно из Рек. Y.1541. Важнейшими из этих показателей являются:

- задержка переноса пакетов,
- вариация задержки переноса пакетов,
- коэффициент потери пакетов.

Для сетей Ethernet в Рек. Y.1563 установлены аналогичные показатели, только вместо пакетов IP в них рассматриваются кадры Ethernet:

- задержка переноса кадров,
- вариация задержки переноса кадров,
- коэффициент потери кадров.

Дополняет эти показатели коэффициент готовности, характеризующий надежность. При этом критерий отказа (перехода в состояние неготовности) определяется как превышение коэффициентом потери пакетов или кадров некоторого установленного порога.

## SLA и мониторинг

Активную роль в продвижении SLA играет международная организация TM Форум, которая разработала "Справочник по управлению SLA" GB917 [2]. Одно из основных нововведе-

ний последнего релиза этого документа — включение сценария, когда один поставщик услуг (например, оператор связи) обеспечивает комплексный сервис для конечного клиента, используя услуги других поставщиков услуг. Справочник вводит также три разновидности SLA: обычные (внешние), внутренние и неявные.

Внешнее SLA заключается между поставщиком услуг и клиентом. При этом клиент может быть как конечным пользователем (собственно клиентское SLA), так и поставщиком услуг для другого клиента (партнерское SLA). Последний случай возникает, когда некоторый поставщик услуг берёт на себя роль интегратора, т.е. принимает единую ответственность перед конечным клиентом и заключает SLA с другими поставщиками услуг, также участвующими в оказании услуг конечному клиенту, выступая во взаимоотношениях с этими поставщиками услуг в роли клиента.

Внутреннее SLA, также называемое соглашением об эксплуатационном уровне (Operational Level Agreement, OLA), заключается между различными подразделениями внутри компании-поставщика услуг. Оно служит для распределения ответственности и внутреннего контроля.

Неявное SLA (Implicit SLA) не является формальным документом. Это некие ориентиры в части QoS, односторонне установленные поставщиком услуг для внутреннего использования, которые, как предполагается, соответствуют ожиданиям клиента.

Важнейшей частью любого SLA является спецификация уровня обслуживания (Service

Level Specification, SLS) — набор ключевых показателей качества (Key Quality Indicator, KQI), которые должны измеряться, и пороговых значений для них. В качестве KQI для услуг передачи данных (в частности, услуг VPN L3 и L2) используются приведённые выше показатели.

В случаях участия нескольких операторов или применения OLA общий норматив на KQI из конца в конец должен быть распределён между отдельными операторами или подразделениями.

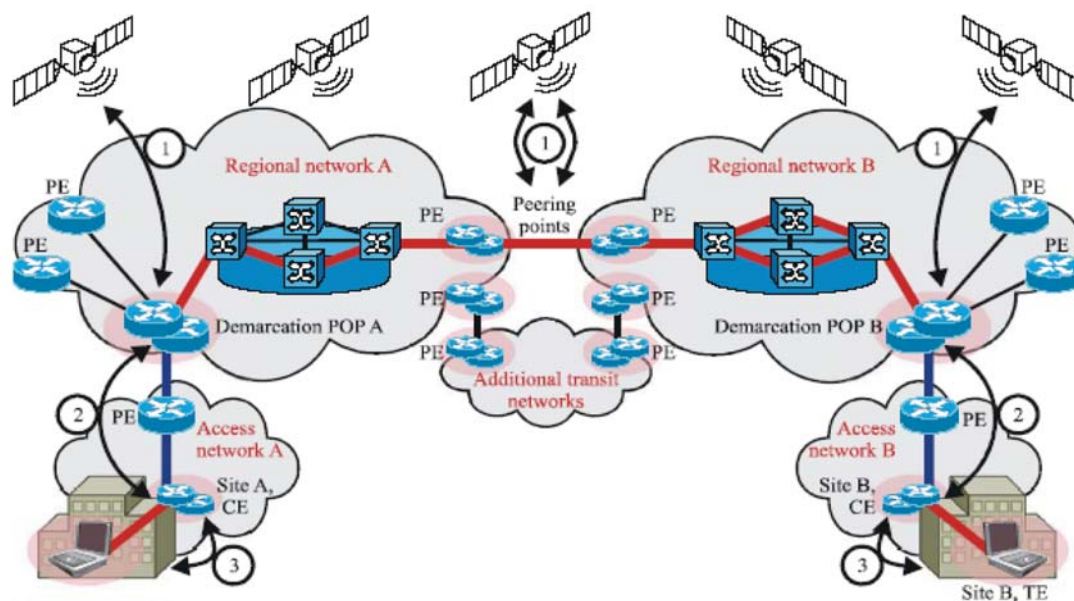
Большое значение для поддержки SLA имеют средства контроля и мониторинга [3]. Их основное назначение — оценка KQI и сравнение полученных значений с установленными в SLS порогами. Мониторинг должен осуществляться в точках взаимодействия с клиентами (точках доступа к услуге, интерфейсах пользователь-сеть), точках взаимодействия с партнерами (другими операторами, участвующими в оказании услуг), а при наличии внутренних OLA — и в точках разграничения зон ответственности подразделений компании.

## Измерение в сетях IP

Измерениям параметров работы сетей IP был посвящен ряд документов IETF. Общие соображения на этот счет содержатся в RFC2330, измерения задержки пакетов рассмотрены в RFC2679, вариации задержки — в RFC3393, потерь — в RFC2680. Более обстоятельно порядок измерения параметров работы и готовности сетей IP изложен в Рек. МСЭ-Т Y.1543 [4].

Для измерения задержек необходимо уста-





новить средства измерения (зонды/пробники/агенты) во всех тех точках, между которыми подлежит измерению задержка переноса пакетов/кадров. При этом часы в точках измерения должны быть синхронизированы между собой.

Нередко для упрощения меряют не двустороннюю задержку между двумя точками, а двустороннюю — "туда и обратно" (round-trip delay, RTD или round-trip time, RTT), для измерения которой используется утилита ping. Такой способ позволяет обойтись без синхронизации. Однако в большинстве случаев интересует пользователей и устанавливается в нормативных документах не двусторонняя, а односторонняя задержка. В качестве грубой оценки последней можно брать половину двусторонней, т.е.  $RTD/2$ , но в условиях асимметрии задержек, часто имеющей место в реальности, такая оценка оказывается слишком неточной и не может использоваться для контроля выполнения SLA.

### Временная синхронизация

Таким образом, системы мониторинга параметров работы сетей связи требуют временную синхронизацию, которая необходима для решения двух задач:

- фиксации моментов времени, когда происходят события и осуществляются измерения;
- измерений параметров работы сети.

Для простановки временных меток, которые бы всеми понимались одинаково, часы должны быть привязаны к Всемирному координированному времени (это особенно важно при межоператорском взаимодействии).

Малость расхождения между часами в точках измерений необходима для обеспечения требуемой точности измерений задержки пакетов в сетях IP. Допустимая погрешность син-

хронизации при этом должна быть, по крайней мере, на порядок меньше, чем значения измеряемых задержек. Поскольку типичные значения задержек имеют порядок десятков миллисекунд, расхождение часов в точках измерений должно быть не более 1 мс.

В Рек. G.8271 [5] указаны еще более жесткие требования, в соответствии с которыми для нужд мониторинга задержек в сетях IP точность должна быть в диапазоне от 5 до 100 мкс.

В упоминавшийся выше Рек. Y.1543 точки измерений разделены на три категории:

- 1) точки демаркации и межсетевое взаимодействие,
- 2) граничные точки оператора и клиента,
- 3) точки в оконечном оборудовании клиента.

Приведенный ниже рисунок, взятый из Рек. Y.1543, показывает эти три категории. При этом для временной синхронизации точек демаркации и межсетевое взаимодействие (1) предлагается использовать глобальную навигационную спутниковую систему (GPS или ГЛОНАСС), а для граничного и оконечного оборудования клиентов (2 и 3) — протокол NTP.

При этом требования к точности временной синхронизации в этих точках таковы:

- 1) погрешность часов в граничных точках сети оператора-поставщика услуг относительно GPS или ГЛОНАСС должна быть не более 100 мс;
- 2) расхождение между часами граничных маршрутизаторов оператора и клиента должно быть не более 1 мс;
- 3) расхождение между часами граничного маршрутизатора и оконечного оборудования клиента должно быть не более 1 мс.

### Нормативно-правовое обеспечение

Для упорядочивания и регламентации взаимодействия поставщиков услуг с клиентами и партнерами целесообразно разработать и принять нормативные документы, определяющие требования к временной синхронизации, порядок обмена сигналами точного времени и т.п. Кроме того, необходимы требования к точности измерений параметров функционирования средств связи, обеспечивающие, как указано в [1], единство измерений.

### Заключение

Мониторинг параметров работы сетей связи имеет большое значение в современных телекоммуникациях. При этом для обеспечения требуемой точности измерений контролируемых параметров и фиксации моментов событий необходима временная синхронизация всех точек мониторинга.

### Литература

1. Требованиям к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования. Утв. приказом Мининформсвязи № 113 от 27.09.2007.
2. SLA Management Handbook. GB917. Release 3.0. Version 0.9. TM Forum, 2011.
3. Нетес В.А. Соглашения об уровне обслуживания и задачи мониторинга // 1-я Междун. конф. "Мониторинг как основа системы управления сетями электросвязи": Сб. тез. докл. М., 2003.
4. Recommendation ITU-T Y.1543 (11/2007). Measurements in IP networks for inter-domain performance assessment.
5. Recommendation ITU-T G.8271/Y.1366 (02/2012). Time and phase synchronization aspects of packet networks.

# Методы повышения точности синхронизации частоты и времени в волоконно-оптических системах передачи

**Ключевые слова:** синхронизация частоты, волоконно-оптические сети, передача сигналов времени.

**Новожилов Е.О.,**  
к.т.н., ОАО "НИИАС"

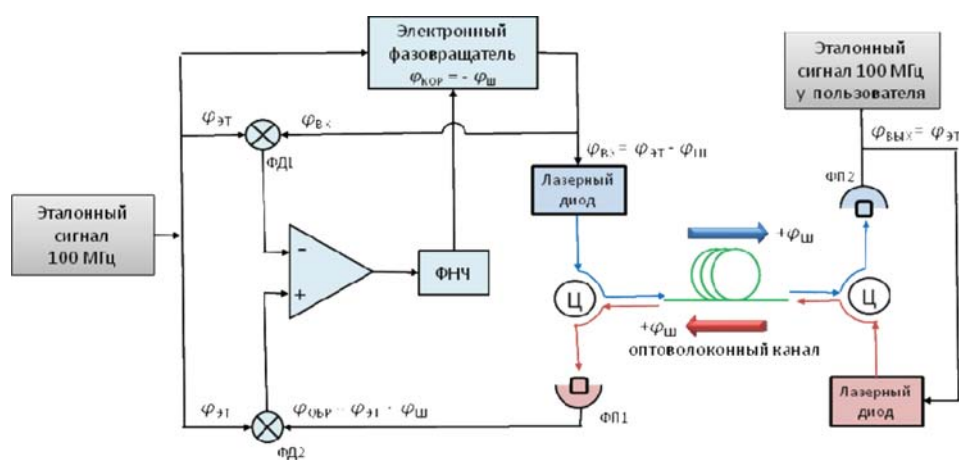
В настоящее время относительная точность частоты в цифровых сетях синхронной цифровой иерархии (СЦИ) на полусуточном интервале наблюдения может составлять порядка  $10^{-7}$ , а точность сигналов времени, передаваемых по сети с помощью дополнительного оборудования — около десятков микросекунд (данные приведены для сети, использующей подвеску волоконно-оптического кабеля на опорах) [1]. В качестве примера можно привести линию связи на участке Хабаровск — Чита с ярко выраженным континентальным климатом, протяженность которой около 3000 км, а перепад температур ночь — день на поверхности кабеля в течение года может достигать 100 и более градусов.

Когда речь идет о точностях СВСЧ, то волоконно-оптическая сеть связи (в частности, сеть СЦИ) не позволяет реализовать такие точности в силу ряда ограничений. Во-первых, системы передачи СЦИ проектировались из расчета мультиплексирования множества сигналов, которые в общем случае формируются с использованием различных по частоте тактовых сигналов. При этом приходится применять различные механизмы выравнивания скоростей сигналов, что приводит к нестабильности временных задержек. Во-вторых, главная задача цифровой сети — обеспечить на приемном конце получение той же самой информации, которая вводилась в сеть при передаче. Для этого не требуется поддержание высокоточной частоты синхронизирующего сигнала; напротив, то, что сеть может работать в условиях непостоянства частоты и фазы тактовых сигналов (в опреде-

ленном поле допуска) является ее преимуществом. Так, например, сеть СЦИ может нормально выполнять функцию передачи информации даже при работе всех генераторов сетевых элементов (ГСЭ) в автономном режиме. Поскольку фаза (информация о времени) и частота сигнала связаны между собой, рассмотрим проблему распространения по линии передачи (ВОЛП) сигнала стандартной частоты. Главным препятствием для поддержания точности частоты при распространении синхросигнала по цепочке синхронизации сети СЦИ является дрейф фазы, возникающий как в аппаратуре систем передачи, так и в линии передачи. Особенно сильно проявляется температурный дрейф фазы, наблюдаемый в волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП), которая подвешена на опорах. Эта составляющая вносит наибольший вклад в фазовую ошибку синхросигнала, передаваемого по се-

ти СЦИ. Для повышения точности СВСЧ, передаваемых по сети СЦИ, необходимо в первую очередь рассмотреть методы передачи синхросигнала, обеспечивающие компенсацию температурного дрейфа фазы в ВОЛП.

Среди известных методов компенсации дрейфа фазы в ВОЛП заслуживают внимания методы, основанные на использовании управляемой линии задержки. Такие методы рассмотрены в отчете [2]. В данных методах с помощью управляемого электронного фазовращателя (линии задержки) осуществляется коррекция фазы сигнала, поступающего в линию передачи, на основании информации о необходимой компенсации фазы. Информация о необходимой компенсации фазы получается в результате измерения изменений круговой задержки сигнала в кабельной секции ВОЛП. Таким образом, обеспечивается компенсация синфазной составляющей дрейфа фазы в ВОЛП.



**Рис. 1.** Упрощенная схема электронной компенсации фазовых возмущений радиочастотного эталонного сигнала при передаче его по волоконно-оптическому каналу: Ц — оптический циркулятор; ФП — фотоприемник; ФД — фазовый детектор; ФНЧ — фильтр нижних частот

Один из вариантов реализации рассматриваемых методов компенсации дрейфа фазы показан на рис. 1 (воспроизведено из [2] со ссылкой на [3]).

Для практических целей является актуальным рассмотреть использование указанных выше методов или их аналогов применительно в первую очередь к существующему оборудованию волоконно-оптических систем передачи стандарта СЦИ.

В практическом применении таких методов существуют следующие трудности: во-первых, управляемые линии задержки имеют ограничения по максимальному сдвигу фазы и дискретности фазового сдвига, что осложняет их применение; во-вторых, рассмотренные выше подходы не в полной мере учитывают специфику функционирования существующей аппаратуры систем передачи СЦИ.

На основе анализа известных методов компенсации дрейфа фазы в ВОЛП предлагается подход, заключающийся в модификации вышеуказанных методов с учетом возможности использования в аппаратуре систем передачи.

Основным отличием предлагаемого подхода от рассмотренных аналогов является использование вместо управляемой линии задержки узла фазовой автоподстройки частоты с симметричным детектированием, а также применимость к существующей структуре аппаратуры систем передачи с учетом особенностей ее функционирования. Применение такого подхода позволит повысить точность поддержания частоты синхросигнала в цепочке мультиплексного и генераторного оборудования систем передачи СЦИ без существенного изменения структуры аппаратуры систем передачи (рис. 2).

В представленной на рис. 2 схеме с помощью фазовых детекторов (ФД) измеряется разность фаз между синхросигналом, направляемым в ВОЛП, и синхросигналом эталонного генератора, левого по схеме (верхний ФД на схеме), а также между синхросигналом эталон-

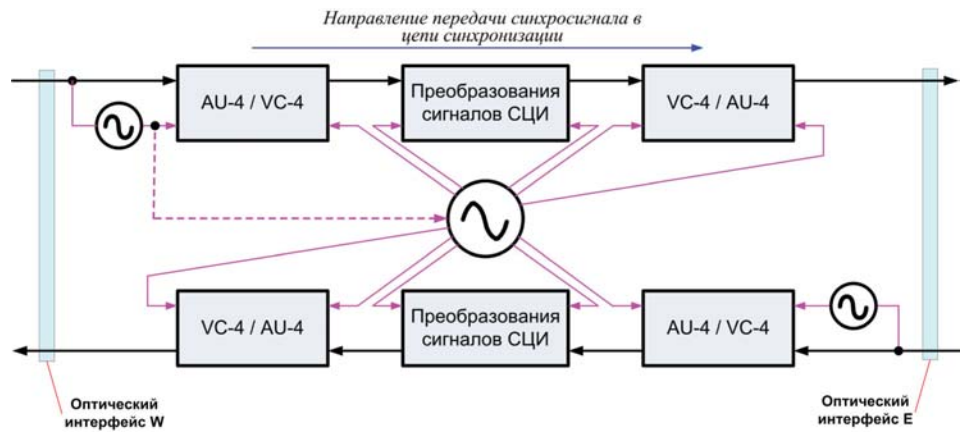


Рис. 3. Упрощенная схема формирования агрегатных сигналов мультиплексора СЦИ уровня STM-1

ного генератора и синхросигналом, получаемым от ВОЛП (нижний ФД на схеме). При этом подразумевается, что синхросигнал на удаленном конце кабельной секции ВОЛП (правая часть схемы) принимается и направляется в обратную сторону (такой же подход используется в цепочке синхронизации систем передачи СЦИ).

Частота вспомогательного управляемого генератора, который входит в состав узла ФАПЧ, подстраивается таким образом, чтобы две рассмотренные выше разности фаз стали равны между собой. При таком условии сигнал, направляемый в ВОЛП, имеет некоторое опережение фазы относительно эталонного сигнала левого (по схеме) генератора, а сигнал, принимаемый от ВОЛП — некоторое запаздывание. Предположив, что задержки сигнала в оптическом волокне для прямого и обратного направлений передачи являются одинаковыми, получим, что в точке приема синхросигнала сигнал правого (по схеме) генератора будет совпадать по фазе с сигналом левого (по схеме) генератора.

Если задержки в обоих оптических волокнах будут изменяться одинаково (например, вследствие суточных изменений температуры окружающей среды), то такое изменение за-

держек не повлияет на фазовые соотношения в рассматриваемой схеме.

Следовательно, представленный метод позволяет компенсировать температурную составляющую дрейфа фазы в ВОЛП.

Далее рассмотрим использование предлагаемого метода компенсации дрейфа фазы в составе аппаратуры систем передачи СЦИ.

На рис. 3 представлена упрощенная схема формирования агрегатных сигналов мультиплексора СЦИ уровня STM-1 (без применения предлагаемого метода).

Поскольку после формирования административного модуля AU-4 дальнейшие преобразования сигнала являются полностью синхронными, то на схеме (рис. 3) показаны только преобразования  $VC-4 \leftrightarrow AU-4$ , при которых сигналы на входе и выходе преобразования могут иметь отличающиеся фазы и частоты.

Будем считать, что в начале цепи синхронизации сети СЦИ находится первичный эталонный генератор, а далее в этой цепи показанные на рис. 3 элементы соединяются последовательно, один за другим, а синхросигнал распространяется слева направо.

Из схемы на рис. 3 следует, что ГСЭ (средний по схеме генератор) синхронизируется сигналом, поступающим от оптического интерфейса W (с "западной" стороны). При этом накопленный в предшествующих кабельных секциях дрейф фазы присутствует на всех сигналах синхронизации, формируемых ГСЭ для функционирования мультиплексора. Таким образом, только сигнал, принимаемый с оптического интерфейса E (с "восточной" стороны), может иметь отличную от ГСЭ фазу и частоту. Посылаемый в "восточную" сторону сигнал AU-4 (STM-1) имеет полученные с "западной" стороны фазовые флуктуации. В результате в цепочке синхронизации происходит накопление дрейфа фазы, который формируется в участках ВОЛП, соединяющих аппаратуру систем передачи.

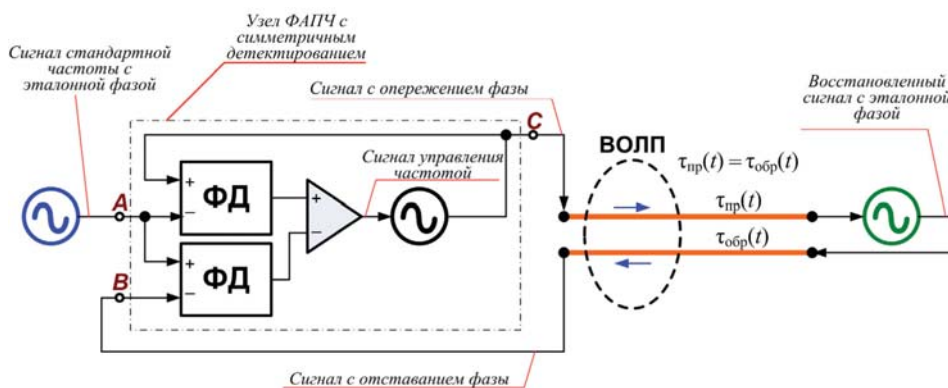


Рис. 2. Метод компенсации дрейфа фазы в ВОЛП с использованием ФАПЧ с симметричным детектированием



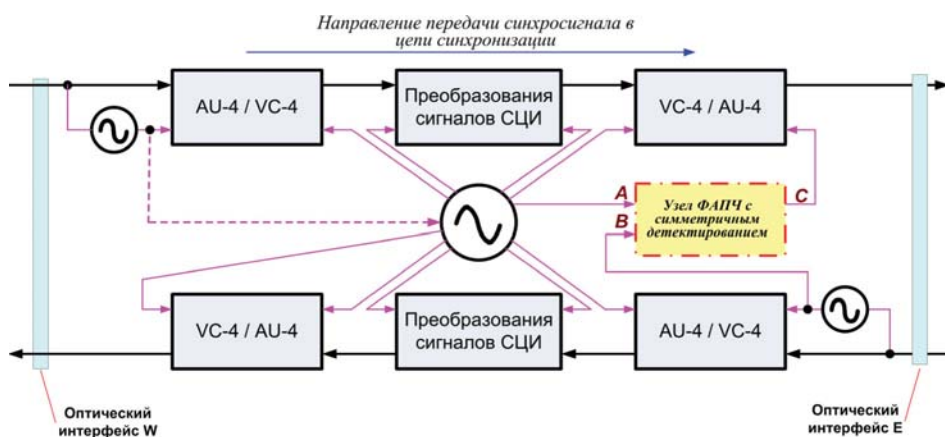


Рис. 4. Модифицированная упрощенная схема формирования агрегатных сигналов мультиплексора СЦИ уровня STM-1

Если в рассмотренную схему (рис. 3) с целью компенсации дрейфа фазы в ВОЛП ввести узел ФАПЧ с симметричным детектированием, который используется в схеме на рис. 2, то получится модифицированная схема формирования агрегатных сигналов мультиплексора СЦИ (рис. 4).

В отличие от схемы на рис. 3, схема на рис. 4 формирует отдельный синхросигнал, передаваемый в сторону оптического интерфейса Е (в "восточную" сторону). Данный синхросигнал содержит фазовую предкомпенсацию, необходимую для обеспечения отсутствия влияния дрейфа фазы в линии передачи "восточного" направления, идущей к следующему (справа по схеме) мультиплексору. Таким образом, введение в мультиплексор СЦИ узла ФАПЧ с симметричным детектированием в соответствии с рис. 4 устраняет синфазную составляющую дрейфа фазы в участке ВОЛП, следующем за данным мультиплексором в цепи синхронизации сети СЦИ.

В реальной системе влияние на точность поддержания частоты будут оказывать такие факторы, как фазовые шумы узлов аппаратуры систем передачи, в том числе обусловленные шагом установки частоты цифровых ФАПЧ

и разрешающей способностью фазовых детекторов, а также ряд других факторов. Поэтому с практической точки зрения можно говорить не о полной компенсации, а о существенном ослаблении температурного дрейфа фазы ВОЛП. Результаты моделирования для подвешенного на опорах кабеля магистральной цифровой сети связи ОАО "РЖД" показали, что относительная величина температурного смещения частоты может составлять до  $1,84 \cdot 10^{-10}$  на 1 км оптического кабеля. Отсюда следует вывод, что компенсация дрейфа фазы дает существенное повышение точности поддержания частоты в ВОЛП большой протяженности.

Следует отметить, что для корректного поддержания фазовых соотношений в данной схеме должно выполняться условие, при котором возможная асимметрия задержек в каналах передачи прямого и обратного направления (с учетом ВОЛП, а также буферов и других элементов аппаратуры систем передачи) будет в несколько раз меньше периода тактового синхросигнала, используемого в вводимом в схему узле ФАПЧ. Это требование легко реализуется, например, использованием в контуре ФАПЧ частоты цикловой синхронизации 8000 Гц и получением других, более высоких частот пу-

тем умножения частоты.

Выбор оптимальных параметров ФАПЧ с симметричным детектированием, включая постоянную времени фильтра нижних частот контура управления, является задачей дальнейших исследований.

Проведенное рассмотрение показало возможность повышения точности поддержания частоты в системе тактовой сетевой синхронизации систем передачи СЦИ. Очевидно, что при наличии на сетевых узлах опорных сигналов с существенно более точной и стабильной частотой вопрос обеспечения адекватной точности распространяемых по сети сигналов времени не будет представлять значительных затруднений. Исходя из функционирования мультиплексного оборудования, представляется целесообразным использовать при передаче сигналов времени подход, аналогичный рассмотренному выше с применением двунаправленной передачи и компенсации дрейфа фазы сигнала, а также исключить из тракта передачи сигналов времени ряд асинхронных преобразований СЦИ, которые используют буферизацию и вносят неконтролируемые задержки распространения сигнала.

Автор выражает благодарность д.т.н., профессору Рыжкову А.В. за участие в обсуждении материала для данного доклада.

### Литература

1. Рыжков А.В., Кобышева Н.В., Ключева М.В., Акентьева Е.М., Пигольщина Г.Б. Анализ устойчивости системы синхронизации магистральной цифровой сети связи ОАО "РЖД" в реальных условиях окружающей среды // Электросвязь, 2005. — №1.
2. Отчет о научно исследовательской работе "Исследования по передаче эталонных сигналов времени и частоты по оптоволокну" (промежуточный) по теме "поисковые исследования по точному распространению времени". — ВНИИФТРИ, 2009.
3. O.Lopez, A.Amy-Klein, C.Daussy, C.Chardonnet, F.Narbonneau, M.Lours, and G.Santarelli. European Physical Journal D / vol.48, pp. 35-41, 2008.

### Methods to improve the accuracy of frequency synchronization and time in fiber-optic transmission systems

Novozhylov E.O., Ph.D., JSC "NIIAS", Moscow, Russia

**Abstract.** Use of existing fiber-optic networks to transmit signals single precise time and frequency standard (SVSCH) provides sufficient for most practical applications accuracy specifications of these signals. This analysis showed the possibility of increasing the accuracy of maintaining the system frequency clock network synchronization SDH transmission systems. Obviously, in the presence of network nodes to a reference signal with a substantially more accurate and stable frequency question to ensure adequate accuracy distributed network time signal will not pose significant problems. Based on the operation of multiplex equipment, it is advantageous to use when sending time signals approach similar to that discussed above with the use of bidirectional transmission and compensate for drift of the signal phase, and also to eliminate from the signal transmission path asynchronous time series of transformations cms, which make use of buffering and uncontrollable signal propagation delay.

**Keywords:** frequency synchronization, fiber-optic network signaling time.

#### References

1. Ryzhkov A.V., Kobysheva N.V., Klyuyeva M.V., Akenteva E.M., Pigolsina G.B. Stability Analysis of synchronization digital backbone network of JSC "Russian Railways" in the real environment /Electrosvyaz, 2005. № 1.
2. Report on scientific research, "Studies on the transfer of the reference time and frequency signals over fiber" (intermediate) on "exploratory research on the dissemination of accurate time". VNIIFTRI, 2009.
3. O.Lopez, A.Amy-Klein, C.Daussy, C.Chardonnet, F.Narbonneau, M.Lours, and G.Santarelli. European Physical Journal D / vol.48, pp. 35-41, 2008.

# Частотно-временное обеспечение сети связи общего пользования: состояние и перспективы развития

**Ключевые слова:** временная синхронизация (или просто синхронизация), частотная синхронизация (или синтонизация), протокол прецизионного времени (PTP), ведущие часы (МС), ведомые часы (SC), сети с коммутацией пакетов, вариации задержки пакетов (PDV).

**Рыжков А.В.,**  
главный научный сотрудник НИЧ МТУСИ,  
д.т.н., профессор

**Насонов А.Ю.,**  
начальник отдела НИЧ МТУСИ, к.т.н.

## Необходимость частотно-временного обеспечения сетей электросвязи

Создание и ввод в действие глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС осуществлены в интересах обороны, промышленности, транспорта, науки, телекоммуникаций, наземной и космической навигации и ориентируют экономику страны на преимущественное использование сигналов координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО), передаваемых этой системой. На стационарных узлах связи сети связи общего пользования (ССОП) и в метрологических лабораториях востребованы и широко используются сигналы частоты и времени (частотно-временное обеспечение — ЧВО) с предельно достижимой точностью.

Потребитель таких сигналов находится в "комфортных" условиях. Купил сертифицированный приемник ГЛОНАСС, установил его в любой точке сети, дождался загорания индикатора о наличии принятого сигнала и все. Ему не требуются или с него не спрашивают наличия технических условий на получаемый сигнал и, естественно, в данном случае чувствует себя освобожденным от своих гарантий качества предоставляемого им сигнала в ответственные системы. Это не вина, а беда потребителя, поскольку у него нет непосредственного доступа к Государственной шкале времени (UTC) для оценки точности принимаемых сигналов времени кроме как с помощью перевозимых квантовых часов (ПКЧ), которые очень дороги и имеют свои недостатки, главный из которых ограниченный интервал времени хранения шкалы в заданных временных пределах. При этом

**Статья посвящена рассмотрению возможности, целесообразности и необходимости строительства технологической сети ЧВО на основе ВОЛП в комплексе с ГНСС для нужд систем связи, метрологических служб и различных технологий.**

следует учитывать ошибки, вызываемые релятивистскими эффектами, частота проверок принимаемого сигнала и проверок ПКЧ.

Единственное на что сегодня можно уповать потребителю, то на Интерфейсный контрольный документ (редакция 5.1) по системе ГЛОНАСС [1], гарантирующий привязку бортовой шкалы к шкале UTC (SU) с точностью  $\pm 0,5$  мкс. Ошибка привязки к шкале спутниковой группировки в сертифицированном приемнике с дисциплинированным рубидиевым (термостатированным кварцевым) генератором находится в пределах  $\pm 100$  нс. Отсюда определяются области использования сигналов времени ГЛОНАСС, в которых допускается погрешность  $\pm 0,6$  мкс. Относительное отклонение частоты принимаемых сигналов не более  $2 \cdot 10^{-12}$ , что, в принципе, удовлетворяет сегодняшние потребности связи.

Однако, из-за отсутствия альтернативных решений по доставке сигналов ЧВО, возможные преднамеренные/непреднамеренные воздействия (физические или электромагнитные, включая чрезмерную активность Солнца) на ГНСС ГЛОНАСС могут приводить к катастрофическим последствиям в части обороны и безопасности страны. Следует заметить, что сигналы системы ГЛОНАСС (GPS) имеют у поверхности Земли уровень:  $-159 \dots -165$  дБВт, при котором не представляет технических трудностей создание преднамеренных помех приему нужных сигналов [2]. Кроме того, низкий уровень приходящих сигналов обуславливает их уязвимость при воздействии в точке приема различных по природе сигналов сторонних систем (индустриальные и непреднамеренные помехи). Основным источником непреднамеренных помех для этих систем являются службы мобильной спутниковой связи: Inmarsat, Iridium, Globalstar. Источниками помех навигационным приемникам указываются радиоответчики систем: TCAS, TACAN, VOR, DVT. Побочные излучения систем ILS, MLS, высшие гармоники вещательных систем и телевизионных каналов.

Серьезность данной проблемы находит свое отражение при выборе мест размещения антенн приемников ГЛОНАСС и соответствующего согласования с радиочастотными службами. В Российской Федерации сигналы систем GPS, Galileo допускается использовать лишь в качестве резервных сигналов. В любом случае использование резервирования сигналов ГНСС в большинстве ситуаций не спасает от влияния на устойчивость приема электромагнитной обстановки.

ГНСС исторически являлись основным источником сигналов синхронизации для большинства базовых станций сотовой подвижной связи. Тем не менее, при массовом переходе к микро базовым станциям и станциям внутри помещений, наблюдаемом в настоящее время, использование ГНСС стало затруднительным, особенно в условиях городской застройки.

Для возможности работы базовых станций без привязки к ГНСС разработан и широко внедряется стандарт IEEE 1588v2 (Протокол прецизионного времени — PTP), который работает в рамках физической среды Ethernet по волоконно-оптическим линиям передачи (ВОЛП) и используется при создании транспортных сетей на основе протокола IP. Данный стандарт позволяет отказаться от обязательной синхронизации базовых станций сотовой подвижной связи на основе сигналов ГНСС [3].

В утвержденной Президентом Российской Федерации "Доктрине информационной безопасности Российской Федерации" (28.09.2005г.) создание преднамеренных помех (радиоэлектронное подавление) рассматривается как одна из наиболее вероятных угроз информационной безопасности телекоммуникационных систем. Следует подчеркнуть, что именно сигналы ГНСС проще всего заблокировать на больших территориях простейшими средствами.

Несколько лет назад Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация) объявляло открытый конкурс на право заключения

государственных контрактов на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР), в том числе по разработке локальной навигационной подсистемы ГЛОНАСС. В случае плохой погоды или постановки помех сигнал со спутников будет подменяться наземными передающими станциями. Этот лот тендера, первый из четырех, получил шифр "Псевдоспутник-Авиа".

Агентство по морскому и речному транспорту также проводило работы по созданию контрольно-корректирующих станций.

Локальная навигационная подсистема должна включать сами наземные передающие станции (псевдоспутники), бортовую приемную аппаратуру и наземную систему управления и контроля. Основная функция подсистемы — создать дополнительные радионавигационные поля на случай сложной помеховой обстановки, т.е. отсутствия спутниковых сигналов ГЛОНАСС/GPS.

Причиной таких проблем, как указывалось в тендерной документации, могут быть как погодные условия, так и подавление сигналов в условиях чрезвычайных ситуаций или военного времени.

Министерству транспорта необходимо точное время для обеспечения безопасности движения поездов, самолетов, главсредств и автотранспорта. Оснащение подвижного состава (транспортных средств) существующими средствами КВНО не решает всех проблем. Для работы различных систем в одной шкале времени должны использоваться средства адекватной точности, устанавливаемые на стационарных управляющих объектах.

Альтернативным или дополняющим, а скорее всего тем и другим, путем для надежного распространения сигналов времени является использование сигналов времени непосредственно от эталонов ГСВЧ через ВОЛП. ВОЛП благодаря устойчивости к электромагнитным воздействиям, повышенной информационной безопасности, высокой эксплуатационной готовности и качества каналов, протяженности регенеративных участков свыше нескольких тысяч километров (технология Long haul) подстрахуют стационарные объекты от пропадания или деградации сигналов ГНСС. ВОЛП активно развиваются по тенденции доведения сигналов до каждого офиса, каждого дома, каждой квартиры, а по IP-сетям (адресам) — до каждого компьютера, и способны удовлетворять потребности стационарных объектов связи в сигналах ЕТВ с требуемой точностью.

В утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации Федеральной целевой программе "Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС" на 2012-

2020 годы предусмотрено использование ВОЛП для сличения первичных, вторичных и рабочих эталонов частоты и времени. В частности, запланированы работы по созданию высокоточного канала передачи сигналов ЧВО по ВОЛП в интересах повышения стабильности (точности) и надежности формирования шкалы времени системы ГЛОНАСС. Предусмотрена модернизация системы синхронизации ГЛОНАСС с улучшением характеристик Центрального синхронизатора (ЦС) в г. Щёлково под Москвой и созданием резервного ЦС в г. Комсомольск на Амуре для обеспечения взаимной синхронизации и временной привязки к ГЭВЧ с погрешностью не более 2 нс. В программе также поставлены задачи развития комплексов средств контроля и подтверждения характеристик ГЛОНАСС, комплекса средств метрологического обеспечения системы, реализация которых, на наш взгляд, потребует широкого использования ВОЛП.

ВОЛП необходимы для реализации концепции Единой системы координатно-временного и навигационного обеспечения Российской Федерации (ЕС КВНО) 2005 г. Ее рассматривали на момент разработки как интегрированную систему, состоящую из связанных друг с другом через ВОЛП наземных сегментов, дающую возможность различным потребителям решать с заданной точностью и оперативностью различные координатно-временные и навигационные задачи [2]. Главным, фундаментальным сегментом в рассматриваемой проблеме ЕС КВНО является сегмент, представляющий собой совокупность действующих эталонов частоты и времени, измерительных средств и систем, предназначенных для распространения и получения координатно-временной информации высшей точности. В рамках создания фундаментального сегмента ЕС КВНО представляется сегодня необходимым:

- реализация группового "распределенного" эталона времени и частоты на основе эталонов: ГСВЧ, Минобороны России, центральных синхронизаторов ГЛОНАСС, обсерваторий "Светлое", "Зеленчукская" и "Бадары" с формированием единой (групповой) шкалы времени для предельно достижимой точности временных измерений, достижения паритета на мировом уровне и обеспечением оперативного доступа потребителей к ней через ВОЛП;

- создание автоматизированной сети сравнения пространственно разнесенных эталонов, включая рабочие эталоны комплекса "Квazar-КВО", с субнаносекундной точностью на основе дуплексных каналов ВОЛП и спутников на стационарной орбите.

Погрешность сличения шкал времени по

дуплексным каналам составляет единицы наносекунд [4-5] и обусловлена асимметрией задержек в прямом и обратном направлениях. Эти задержки подвергаются калибровке и учитываются при обработке данных.

Создание распределительной системы национальной шкалы времени по наземным сетям электросвязи в интересах ССОП, широкого круга пользователей, включая специальных потребителей в области обороны и безопасности РФ, вызвано:

- необходимостью временного признака информации в составе технического обеспечения различных технологий, биллинга и АСУ для выполнения многообразных задач (криптозащита), документирование времени поступления и выдачи информации, организация очередности обработки запросов, ситуационный анализ событий по временному признаку, задание последовательности управляющих воздействий во времени и т.п.). В таких приложениях, как электронная коммерция, цифровые протоколы, обновление распределенных баз данных необходимы способы простого, надежного, достоверного и легально отслеживаемого распределения информации с умеренной точностью порядка миллисекунд;

- потребностями национальной системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб через общий телефонный номер "112" для установления четких причинно-следственных связей между событиями и процессами. Улучшением работы, созданной в 2012 году, отечественной системы позиционирования в режиме реального времени RTLS (Real Time Locating System);

- необходимостью надежной синхронизации шкал времени для быстрейшего освоения и эффективного использования в сетях связи России перспективных технологий NGN: WiMAX, 4G, LTE и других систем новых поколений с требуемой точностью в единицы микросекунд (Рек. МСЭ-Т G.8261);

- необходимостью реализации дистанционного сличения частот и шкал времени через ВОЛП первичных, вторичных и рабочих эталонов Государственной службы времени и частоты (ГСВЧ); Минобороны; обсерваторий РАН; центров обработки и анализа данных; метрологических центров и др. организаций, нуждающихся в прецизионных сигналах частоты и единого времени с требуемой точностью в единицы наносекунд, по каналам сличения в реальном времени с погрешностью на суточном интервале не более (1...3) нс. Сличение шкал эталонов уже осуществляется через спутники на стационарных орбитах с требуемой точностью, но не исключает электромагнитных воздействий.



Наличие распределительной системы национальной шкалы времени по наземным сетям электросвязи обеспечит резервирование сигналов единого времени на аэродромах, космодромах, на узлах связи, центрах и пунктах управления спецпотребителя, полученных по пространственно разнесенным трактам:

- от Государственных эталонов времени и частоты, объединенных в единый групповой "распределенный" эталон времени и частоты с формированием единой (групповой) шкалы времени по ВОЛП;

- непосредственно через систему ГЛОНАСС.

Наличие у потребителя основного и резервного сигналов позволит эффективно выполнять задачи метрологического обеспечения в России при высокой доступности опорных сигналов частоты и времени. Сегодня, для обеспечения поверки и калибровки эксплуатируемых средств измерений соответствующие метрологические лаборатории должны иметь необходимые рабочие эталоны, периодически "изымаемые" из производственного цикла для проведения их собственной поверки. Организационно это означает, что для обеспечения непрерывного производственного цикла метрологические лаборатории вынуждены оснащаться некоторым дополнительным количеством однотипных рабочих эталонов, что связано с соответствующими затратами. Поэтому потребителю частотно-временной информации, особенно потребителям ЧВО в реальном времени, заманчиво по аналогии с электросетью иметь "розетку" в ведомстве, офисе, учреждении, метрологической лаборатории и т.п. с такими сигналами.

### Состояние, требования и перспективы ЧВО ССОП

Системы единого времени (СЕВ) на основе использования сигналов ЧВО ГЛОНАСС, протокола NTP и ВОЛП уже внедрены в пакетные

сети ряда российских операторов. Приемники ГЛОНАСС/GPS (NTP — серверы времени первого уровня, например ССВ-1Г) установлены на узлах связи, пунктах управления, от которых сигналы времени распределяются по сетям по протоколам NTP. Пока не выработан единый подход к построению системы ЧВО в ССОП и не создана единая нормативно-правовая база. Такая ситуация не исключает коллизий в отношениях между операторами. Требуется обобщение опыта построения СЕВ различных операторов и распространение его на всю ССОП.

В нашей стране по инициативе ФГУП "ВНИИФТРИ" сделаны предпосылки — СЕВ можно реализовать на основе сигналов точного времени, передаваемых через сеть Интернет NTP-серверами ГСВЧ, которые работают непосредственно от сигналов рабочих шкал государственных первичного, рабочего и вторичных эталонов времени и частоты. В настоящее время эксплуатируются восемь первичных и один вторичный NTP-серверы. Они расположены непосредственно во ФГУП "ВНИИФТРИ", его филиалах в Иркутске и Хабаровске. Серверы внесены в официальный международный список доступных NTP-серверов. Любой потребитель может воспользоваться их адресами. В 2014 г. планируется оснащение NTP-серверами филиала ФГУП "ВНИИФТРИ" в Петропавловске-Камчатском.

С точки зрения информационной безопасности операторы (потребители) могут иметь на серверах физически независимые порты и ставить защитные экраны от возможных несанкционированных входов в сеть. Такое решение позволит использовать существующие заделы и опыт эксплуатации СЕВ, исключить недостатки ГНСС, обеспечить информационную безопасность и потребности, по крайней мере, существующих сетей связи с точностями в единицы — десятки миллисекунд, дать старт для решения задач ЧВО хозяйства страны в целом с повы-

шенными точностями в ближайшем будущем.

На 42-й международной встрече по системам и приложениям точного времени (Precise time and time interval (PTTI)), прошедшей в США, штат Вирджиния 15-18 ноября 2010 г., сформулирована задача достижения к 2030 г. в глобальных сетях связи точности на уровне десятков наносекунд. Проведенные в Швеции технологическим институтом и поддержанные национальным Агентством почты и телекоммуникаций работы показали возможность передачи СВ по ВОЛП с наносекундными точностями на трассе 500 и более километров. Аналогичные работы ведутся в ряде других стран.

Международный союз электросвязи разработал ряд рекомендаций по использованию протокола прецизионного времени, адаптированного для применения в сетях электросвязи (стандарт IEEE 1588v2 — 2008). На рис. 1 представлены требования к эталонному источнику времени и частоты (граничные часы) из Рекомендации G. 8272/Y.1367, (редакция от 10.2012).

К наиболее продвинутым разработкам зарубежных фирм можно отнести серверы РТР (TP5000 — ведущие часы; TP500 и TP1500 — ведомые часы) фирмы "Symmetricom" и "Oscilloquartz" (OSA 5331 и 5320 — ведущие и ведомые часы соответственно). Эти устройства испытаны на трассе большой протяженности (рис. 2). Для проведения эксперимента была выбрана трасса Москва — Новосибирск — Москва с параметрами: длина 6000 км, полоса 130 Мбит/с, задержка пакетов в линии 50 мс, 9 маршрутизаторов, приоритет передачи РТР пакетов стандартный [6]. В качестве первичного эталонного источника использовался водородный стандарт частоты. Для сравнения на рис. 3 показаны потенциальные на сегодняшний день возможности РТР при работе через один ненагруженный маршрутизатор/коммутатор [6].

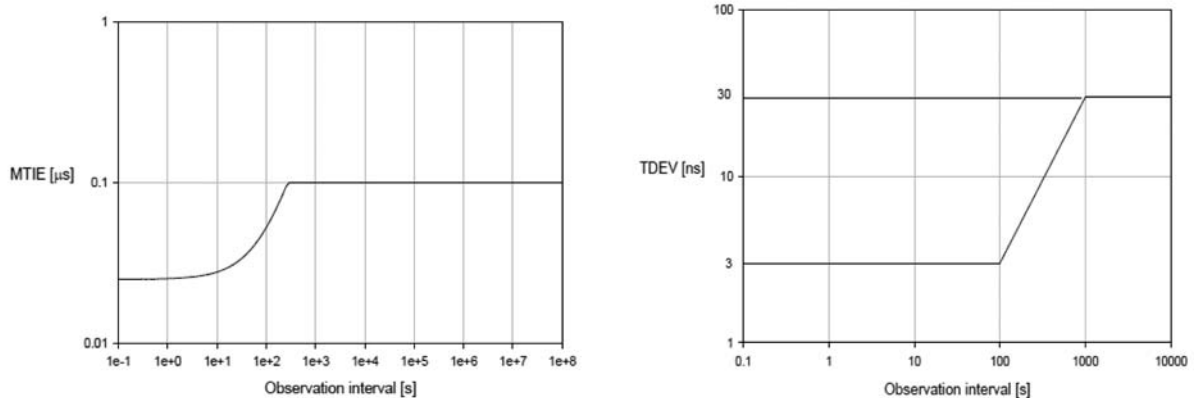


Рис. 1. Допустимые значения максимальной ошибки отклонения (MTIE) и девиации временного интервала (TDEV) первичного эталонного источника частоты и времени на ССОП

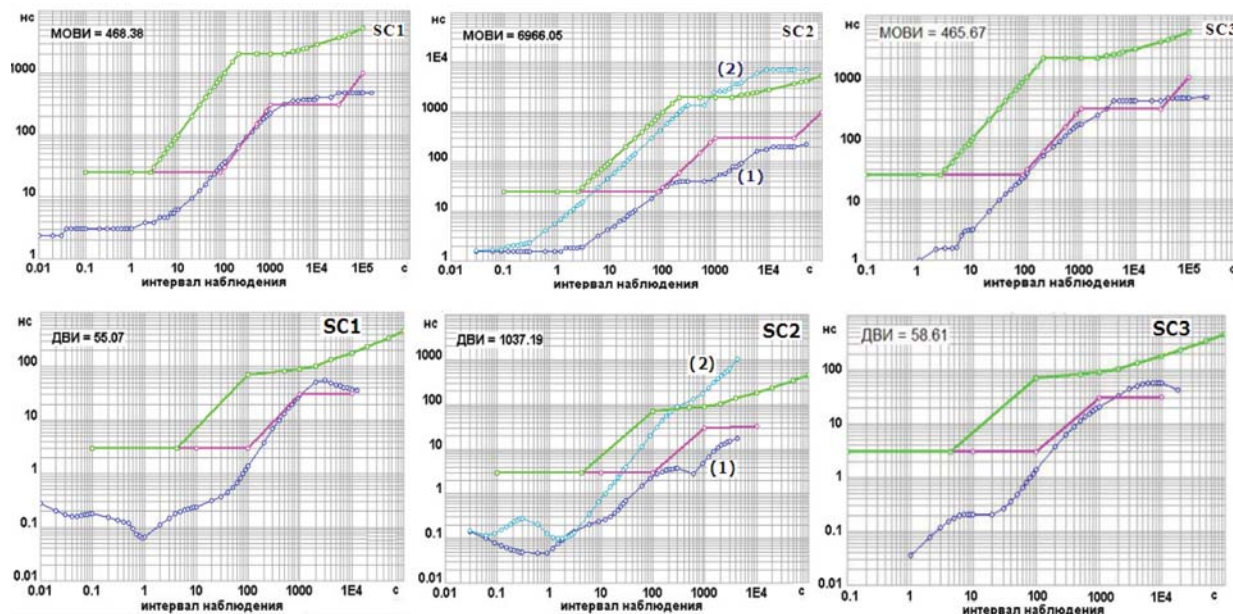


Рис. 2. Сравнительные результаты измерений с клиентами РТР: 1500, 500 от SSU2000e (Blade) и OSA 5320 от OSA 5331 на трассе Москва — Новосибирск — Москва

В Рекомендации МСЭ-Т G.8271.1 представлен бюджет ошибки времени в ведомых часах линии передачи из 10 коммутаторов по отношению к шкале времени ведущих часов:

- $\pm 100$  нс — допустимая погрешность эталонного задающего генератора частоты и времени;
- $\pm 50$  нс — допустимая погрешность, вносимая 1 коммутатором;
- $\pm 500$  нс — допустимая погрешность, вносимая 10 коммутаторами;

- $\pm 200$  нс — динамическая ошибка, вызванная вариацией задержки пакетов (PDV);
- $\pm 200$  нс — допустимая погрешность, вносимая схемой компенсации асимметрии задержек в прямом и обратном направлениях;
- $\pm 200$  нс — допустимая погрешность, вносимая ведомыми часами в свободном режиме (holdover budget);
- $\pm 50$  нс допустимая погрешность, вносимая ведомыми часами в режиме захвата;

- $\pm 150$  нс допустимая погрешность, вносимая базовой станцией (eNodeB).

Таким образом, суммарная допустимая погрешность, вносимая линией из конца в конец может составить  $\pm 1,5$  мкс. Сопоставление данных на рис. 2 и 3 свидетельствует о корректности бюджета ошибки времени в сети.

В нашей стране разработана аппаратура распределения сигналов времени (APCB) с разрешением 15 нс и проведен ряд экспериментов, давших положительные результаты. Ведутся работы по доведению разрешения до долей наносекунды. Получены предварительные положительные результаты испытаний. В качестве примера следует привести реализованную привязку шкалы времени ЦБ РФ к шкале военной копии Государственного эталона времени и частоты (ГЭВЧ) через ВОЛП ЗАО "Компания ТрансТелеКом". Реализованный в системе передачи способ построения системы единого времени с использованием двунаправленных цифровых каналов электросвязи защищен патентом RU 2 409 901 [7]. Аналогичную реализацию передачи сигналов времени по ВОЛП осуществляет ОАО "РЖД".

В таблице приведены классы точности, требуемые значения и типичное применение сигналов единого точного времени. Точности по первому классу могут быть достигнуты с помощью Интернет NTP — серверов ГСВЧ. Точности по второму — четвертому классам достигаются с помощью РТР — серверов (рис. 1), устанавливаемых непосредственно в эталонах ГСВЧ. По пятому классу — с помощью аппаратуры распределения сигналов времени (APCB) с разре-

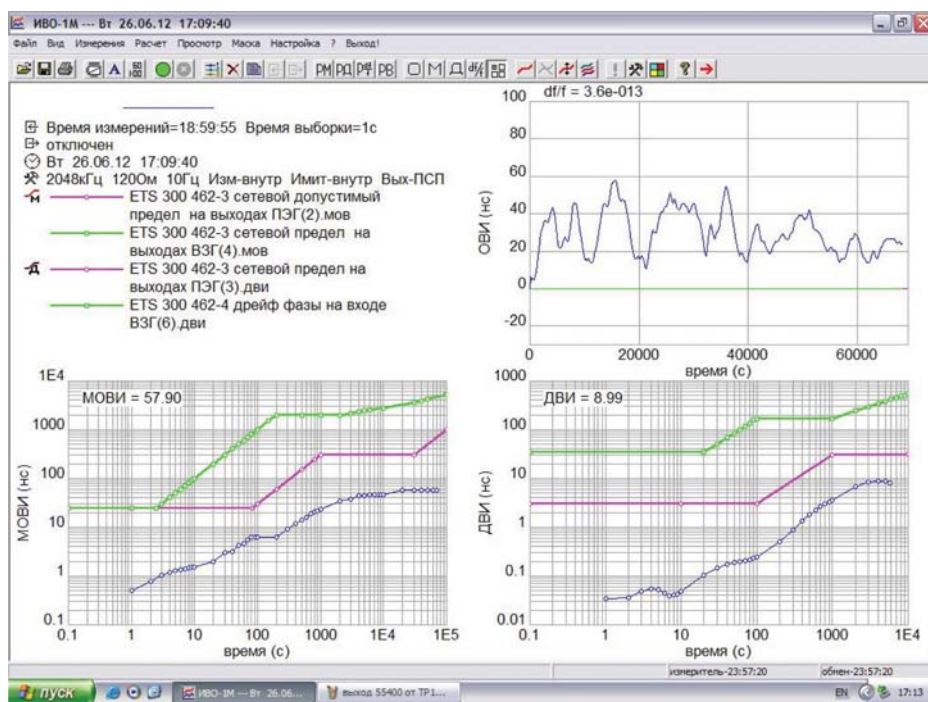


Рис. 3. Данные измерений в цепи: ведущие часы — маршрутизатор — ведомые часы, полученные с помощью ИВО-1М



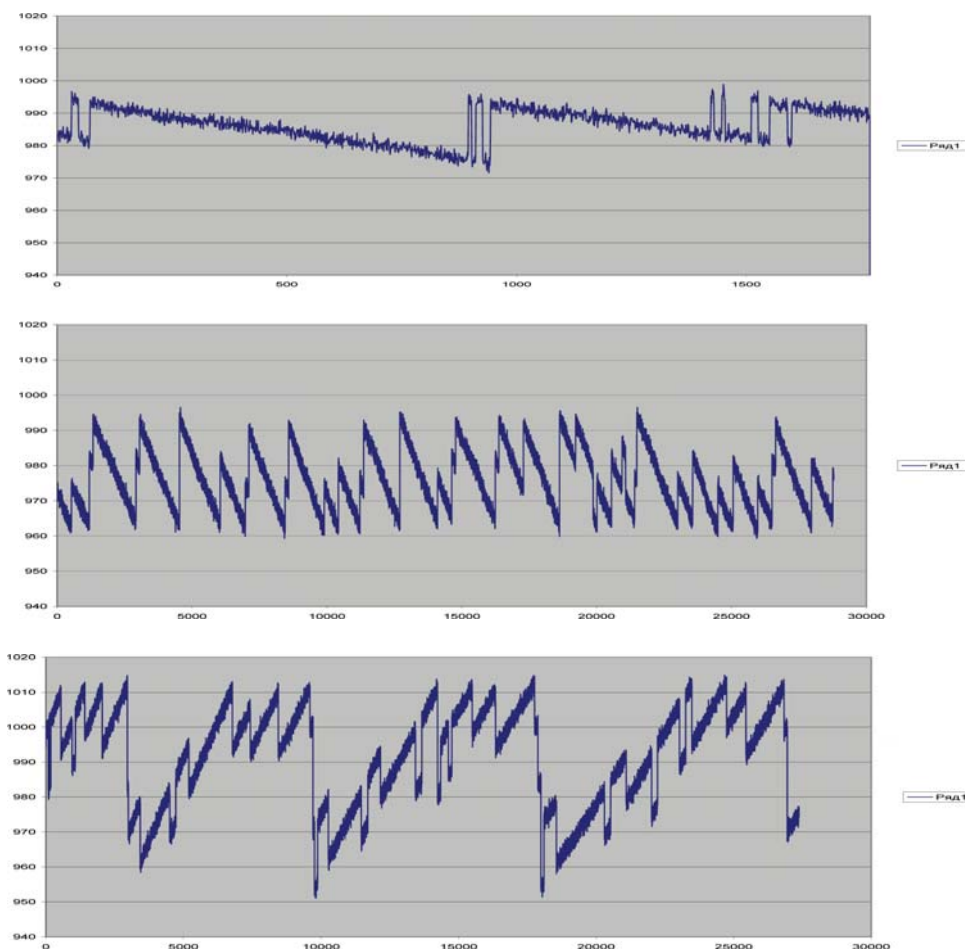


Рис. 4. Поведение шкал времени на выходе 1-й, 2-й и 3-й в последовательной цепи APCB при линейном отклонении частоты  $2 \cdot 10^{-11}$  на входе 1-й (цена деления 10 нс)

шением  $\pm 15$  нс (рис. 2) и ее модификации — аппаратуры передачи сигналов времени и частоты (АПСВЧ) с разрешением  $\pm 0,6$  нс. Ведущие АРСВ (АПСВЧ) устанавливаются непосредственно в эталонах ГСВЧ. Их сигналы передаются по магистральным ВОЛП с использованием технологии Long haul через промежуточные АРСВ (АПСВЧ) к оконечным устройствам АРСВ (АПСВЧ), устанавливаемым на крупных узлах связи для дальнейшего распределения сигналов времени. Сигналы времени и частоты от промежуточных и оконечных АРСВ (АПСВЧ) распределяются в локальных подсетях ССОП (в сетях сотовой связи) по РТР (NTP) протоколам.

Результаты экспериментальных исследований АРСВ представлены на рис. 4. Возможная структура распределения сигналов частоты и времени на ССОП представлена на рис. 5. В качестве третьего опорного сигнала частоты и времени может использоваться сигнал, передаваемый радиостанциями боевого управления (РБУ).

### Заключение

Результаты исследований передачи сигналов ЧВО по ВОЛП в нашей стране и за рубежом показали возможность, целесообразность и необходимость строительства технологической сети ЧВО на основе ВОЛП в комплексе с ГСС для:

- достижения требуемой точности в единицы-десятки миллисекунд для технологической (опорной) сети ЧВО в составе ССОП, повышения эффективности методов эксплуатации оборудования и информационных систем, систем управления, учёта сетевых ресурсов и событий, различных приложений и электронных технологий;
- обеспечения потребности национальной системы вызова экстренных оперативных служб через общий телефонный номер "112", улучшения работы созданной в 2012 г. отечественной системы позиционирования в режиме реального времени RTLS (Real Time Locating System);
- обеспечения надежной синхронизации разнесенных шкал времени с точностью в единицы микросекунд для быстрейшего освоения и эффективного использования в ССОП России перспективных технологий NGN: WIMAX, 4G, LTE и других систем новых поколений;
- реального дистанционного сличения частот и шкал времени первичных, вторичных и рабочих эталонов Государственной службы времени и частоты (ГСВЧ), Минобороны, метрологических центров и др. организаций, нуждающихся в прецизионных сигналах частоты

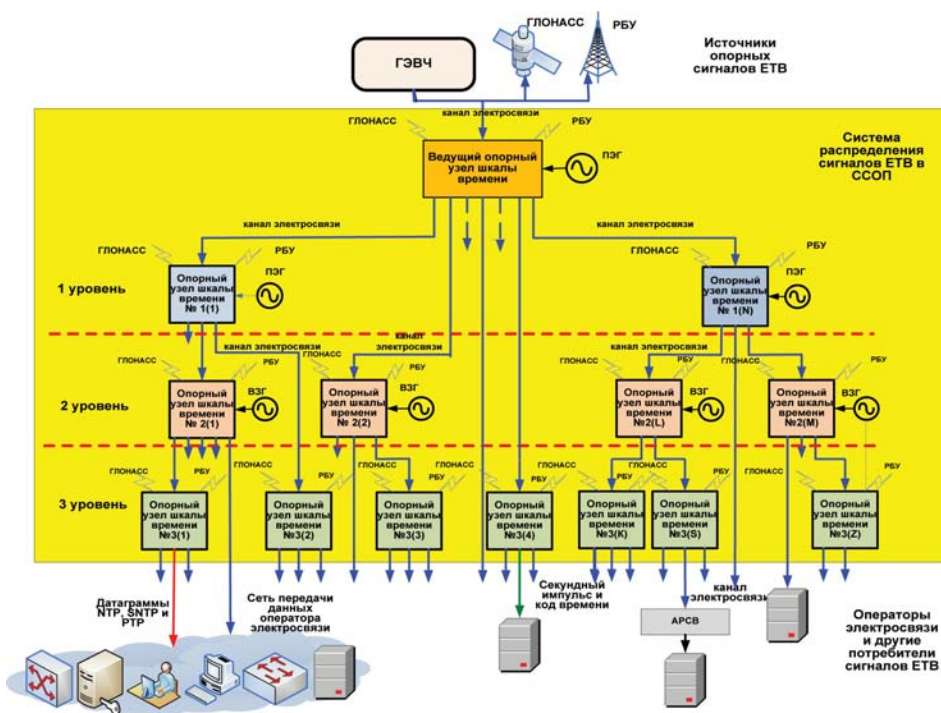


Рис. 5. Структурная схема ЧВО ССОП



Классы точности из Table 2/G.8266 (G. 8271 от 10/2010)		
Класс точности	Диапазон требуемых значений	Типичное применение
1. Низкий	1 ms – 500 ms	Биллинг, локализация отказов системой управления
2. Средний	10 $\mu$ s – 100 $\mu$ s	Мониторинг задержек в IP LTE TDD с целью обеспечения QoS
3. Высокий	1.5 $\mu$ s - 10 $\mu$ s	LTE TDD (some configurations) Wimax-TDD (some configurations)
4. Очень высокий*	< 1.5 $\mu$ s	UTRA-TDD, LTE-TDD, MBSFN Wimax-TDD (some configurations)
5. Специальный*	10 ns – 100 ns	Мониторинг граничных и прозрачных часов (PTP), APCB, метрология

и единого времени, с требуемой точностью в единицы наносекунд.

Наличие технологической (опорной) сети ЧВО в комплексе с системой ГЛОНАСС обеспечивает:

— резервирование (надежность, точность, доступность и безопасность) сигналов ЧВО от Государственных эталонов времени и частоты по пространственно разнесенным трактам через сеть связи по ВОЛП и через систему ГЛО-

НАСС соответственно;

— эффективную метрологическую аттестацию систем и средств формирования сигналов времени и частоты.

#### Литература

1. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ (редакция 5.1). — М.: РНИИ КП, 2008.

2. Труды ИПА РАН. Вып. 13 — СПб.: Наука, 2005. — 543 с.

3. Российский радионавигационный план (основные направления развития радиоэлектронных систем и средств). — М.: Редакция 2010.

4. Бюллетень В14 / 2013. Эталонные сигналы частоты и времени. Характеристики и программы передач через радиостанции, наземные и космические средства навигации, сети телевизионного вещания / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Главный метрологический центр ГСВЧ РФ. ФГУП "ВНИИФТРИ". 2013.

5. Рыжков А.В., Каган С.Н., Блинов И.Ю., Насонов А.Ю., Хазов М.Л. Проблемы и пути решения передачи сигналов времени по сети связи общего пользования Российской Федерации // Вестник связи, 2014. — № 1. — С. 17-21.

6. Рыжков А.В., Савчук А.В. Способы синхронизации сетей электросвязи в условиях перезагрузки нормативной базы // Электросвязь, 2012. — № 9. — С. 37-41.

7. Васильев О.К., Вериго А.М., Новожилов Е.О., Рыжков А.В., Слюняев А.М. Патент RU № 2 409 901. Способ построения системы единого времени с использованием двунаправленных цифровых каналов электросвязи. Оpubл. 2011, Бюл. № 2.

## Frequency-time provision of public telecommunication network: the state and prospects of development

Ryzhkov A.V., MTUCI, Ph.D., Professor  
Nasonov A.Yu., MTUCI, Ph.D.

### Abstract

The article is devoted to consideration of opportunities, appropriateness and necessity of building technological network based on the optical transport network in complex with GNSS for the needs of communication systems, metrological services and various technologies.

**Keywords:** time synchronization, frequency synchronization (or syntonization), precision time protocol (PTP), master clock (MC), slave clock (SC), packet networks, packet delay variations (PDV).

### References

1. Global navigation satellite system GLONASS. Interface control document (version 5.1). Moscow, 2008.
2. Proceedings of the IAA. MY. 13 St. Petersburg.: Nauka, 2005. 543 p.
3. Russian Radionavigation Plan (the main directions of development of electronic systems and equipment). Moscow, 2010.
4. Bulletin B14 / 2013. Frequency reference signals and time. Characteristics and program transmission via radio, terrestrial and space navigation, network television broadcast / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Chief Metrological Center SSTF Russia. FSUE "VNIIFTRI", 2013.
5. Ryzhkov A.V., Kagan S.N., Blinov I.Y., Nasonov A.Y., Hazov M.L. Problems and solutions for the transfer of time the public communications network of the Russian Federation / Vestnik svyazi, 2014. No 1. pp. 17-21.
6. Ryzhkov A.V., Savchuk A.V. Ways to synchronize telecommunications networks under the regulatory framework reboot / Electrosvyaz, 2012. No 9. pp 37-41.
7. Vasiliev D.C., Verigo A.M., Novozhylov E.O., Ryzhkov A.V., Slyunyaev A.M. Patent RU No 2409901. Method of constructing a single system time using bidirectional digital channels telecommunication / Publ. 2011, Bull. Number 2.

# Результаты испытаний техники РТР на сетях ведущих операторов мобильной связи Украины

**Ключевые слова:** частотная синхронизация, протокол прецизионного времени (PTP), совокупность параметров для электросвязи, пакетная перевалочная сеть мобильной связи.

**Савчук А.В.,**  
технический директор  
компании "ВИРКОМ", к.т.н.,  
savas@wircom.com.ua

## Введение

Начало краткой, но насыщенной истории протокола прецизионного времени (Precision Time Protocol — PTP) приходится на 1990-е годы. К тому времени стало ясно, что возможности старейшего приложения глобальной сети Интернет — протокола сетевого времени (Network Time Protocol — NTP) в виде стандарта IETF исчерпаны на уровне точности сличения времени 1-10 мс. С другой стороны, в контрольно-измерительные системы промышленной автоматики стали широко внедрять технику Ethernet. Возникла недоступная для NTP ниша систем дистанционного сличения времени в локальных пакетных сетях с субмикросекундной точностью. Именно ее должен был занять PTP. Оформленный в виде стандарта IEEE 1588-2002, PTP не был приспособлен для техники электросвязи — в исследовательской группе разработчиков стандарта P1588 не было ни одного связиста.

Второй этап развития PTP приходится на первое десятилетие XXI века, когда в отрасли электросвязи стал очевидным переход от систем SDH к пакетной транспортной среде IP/MPLS/Ethernet, в которой невозможна передача тактовой частоты на физическом уровне. Правда, в этом нет необходимости на магистральном участке, но основные проблемы возникают не на магистральной, а на перевалочной сети мобильной связи (Mobile Backhaul), под которой понимают участок транспортной среды между базовыми станциями и магистральной сетью. Именно здесь синхронизация необходима — настолько, что кроме ITU-T ею озаботились такие организации, как IEEE, рабочая группа IETF под названием TICTOC (Timing over IP Connections and Transfer Of Clock), форум Ethernet на городском участке

Представлены результаты лабораторных и линейных испытаний промышленных образцов оборудования синхронизации по протоколу прецизионного времени (PTP) стандарта IEEE 1588-2008 с совокупностью параметров для электросвязи по Рекомендации G.8265.1 ITU-T (telecom profile), предназначенного для синхронизации частоты базовых станций в пакетной транспортной среде перевалочной сети мобильной связи (mobile backhaul).

(Metro Ethernet Forum — MEF), инициативная группа по открытой архитектуре базовых станций (Open Base Station Architecture Initiative — OBSAI).

Сначала по предложению ведущих операторов электросвязи в сентябре 2004 г. исследовательская группа 15 ITU-T предприняла попытку решить проблему тактовой синхронизации перевалочной сети путем разработки технических условий на "синхронный" Ethernet. Завершить ее планировали в 2008 г. и исполнители честно отчитались о проделанной работе [1]. Но вместо ожидаемого пакета исчерпывающих стандартов получилось некое обобщение постановки задачи в виде Рекомендации G.8261. Как оказалось, прямой перенос принципов синхронизации систем SDH на пакетные сети не состоялся [2] и внедрение простой идеи "синхронного" Ethernet может вызвать серьезные проблемы у операторов в виде увеличения капитальных затрат на оборудование и проек-

тирование, а также увеличение эксплуатационных расходов в процессе эксплуатации [3, 4]. Тогда в перечисленных выше органах стандартизации выбрали стратегию здравого смысла: оставить внедрение синхронного Ethernet на отдаленную перспективу, а на начальном этапе развертывания пакетных перевалочных сетей отдать предпочтение PTP [5]. Кроме того, "синхронный" Ethernet предназначен только для синхронизации частоты, а пакетные сети больше нуждаются в синхронизации времени. Приходится дополнять узел сети программой обработки меток времени PTP и для синхронизации времени между всеми взаимодействующими узлами сети поддерживать двусторонний фоновый "поток синхронизации" производительностью ~24,6 кбит/с [6].

Так или иначе связисты уже серьезно взялись за PTP: их было уже 42% в составе исследовательской группы P1588, которая разработала новую редакцию стандарта IEEE1588-2008.

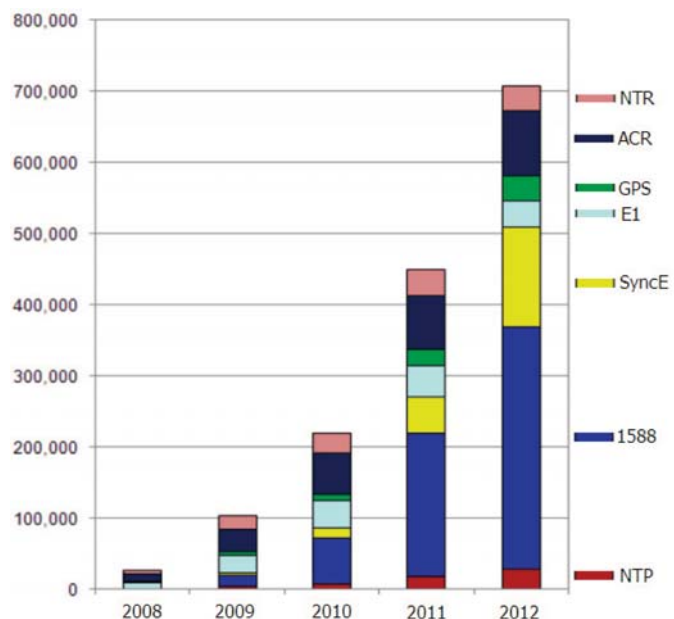


Рис. 1. Прогноз внедрения способов синхронизации частоты базовых станций на перевалочной сети мобильной связи

(источник: Heavy Reading, Carrier Ethernet Switch/Router, Ethernet Backhaul Market Tracker. Market analysis. July 2008)

Сам стандарт, по существу, распадается на совокупности параметров (profiles), совместимость которых обязательна лишь для ведущих часов, а ведомые часы могут работать в специфических, возможно, не совместимых условиях применения (энергетика, электросвязь, промышленная автоматика). Однако и в стандарте IEEE 1588-2008 далеко не все устраивало связистов: в 2010 г. на его основе разработана Рекомендация G.8265.1 ИТУ-T под названием "Совокупность параметров PTP для синхронизации частоты в электросвязи" — специально для перевалочной сети мобильной связи. Представляет интерес прогноз внедрения различных способов синхронизации частоты базовых станций в мировом масштабе 2008 г., представленный в виде рис. 1.

Здесь NTR (Network Timing Reference) — сетевая синхронизация xDSL, ACR — адаптивное восстановление тактовой частоты (Adaptive Clock Recovery), для которого не существует открытого стандарта, SyncE — "синхронный" Ethernet; некоторые поставщики базовых станций применяют NTP с увеличенной частотой запроса по отношению к стандартной частоте, равной 1 запросу в 2 с. По оси ординат указано число синхронизируемых базовых станций.

Ко времени подготовки этой статьи можно говорить о линейных испытаниях только того оборудования PTP, которое удовлетворяет Рекомендации G.8265.1. Однако в связи с внедрением техники LTE в мобильной связи возникает необходимость фазовой синхронизации радиосигналов в соседних сотах с микросекундной точностью. Специалисты пришли к выводу, что ее можно обеспечить только с помощью синхронизации времени. Для этого придется в очередной раз пересмотреть стандарт IEEE 1588: в обновленной исследовательской группе

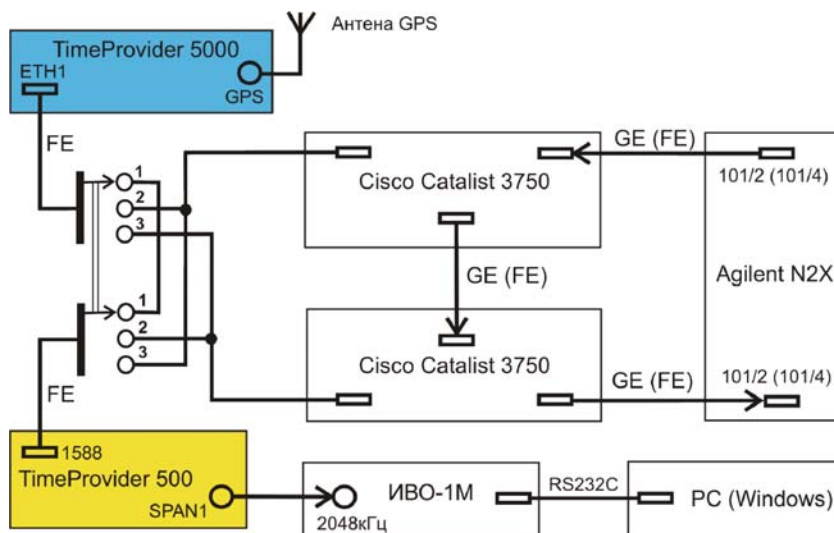


Рис. 3. Схема лабораторных испытаний

P1588, сформированной в начале 2013 г., доля инженеров электросвязи увеличена до 47,9%. В прогнозе на будущее, который показан на рис. 2, сохраняется явно выраженное предпочтение технике PTP.

Первые результаты испытаний промышленных образцов сервера TimeProvider 5000 и клиента TimeProvider 500 PTP от компании Symmetricom опубликованы в докладе [7]. Стоит обратить внимание на то, что оборудование соответствует Рекомендации G.8265.1, опубликованной в октябре 2010 г., а испытания проведены еще в 2008 г. Если учесть специфику стандартизации ИТУ-T, где Рекомендации вводят в действие только на основе проведенных НИР или/и по результатам испытаний образцов оборудования, то можно утверждать, что инициатором введения совокупности параметров PTP для электросвязи в виде G.8265.1 является компания Symmetricom. В конце 2009 г. [8] и в

начале 2010 г. [9] для испытаний системы TimeProvider 5000/500 были выделены опытные зоны на сетях двух ведущих операторов мобильной связи Украины. Далее представлены результаты проведенных испытаний.

### Результаты лабораторных испытаний PTP

Для оценки зависимости качества синхронизации от загрузки элементов сети Ethernet была собрана схема измерений, показанная на рисунке 5. Основой этого эксперимента служит тестовый сигнал анализатора сетей передачи данных N2X, моделирующего односторонний трафик с заданными параметрами через последовательно соединенные элементы сети Cisco Catalyst 3750. Образованный таким образом тракт передачи данных с изменяемыми параметрами использовали для передачи сообщений PTP от сервера к клиенту с оценкой качества восстановления тактовой частоты UTC. В соответствии с требованиями нормативных документов для измерения стабильности частоты использован внешний опорный сигнал 5 МГц от цезиевого стандарта частоты в составе PRC.

Для того, чтобы оценить зависимость качества синхронизации от загрузки тракта передачи были предусмотрены такие варианты измерений:

1 — в положении 1 переключателя порт выделенного клиента подсоединен кабелем прямо к порту сервера PTP ("короткое замыкание");

2 — в положении 2 переключателя через загруженный на 98% канал GE между элементами сети передавали непрерывный поток циклов Ethernet со скоростью передачи 125512 циклов в секунду (~960 Мбит/с) и скоростью приема 125500 циклов в секунду, т.е. частота пропадаания циклов GE достигала  $9 \cdot 10^{-5}$  —

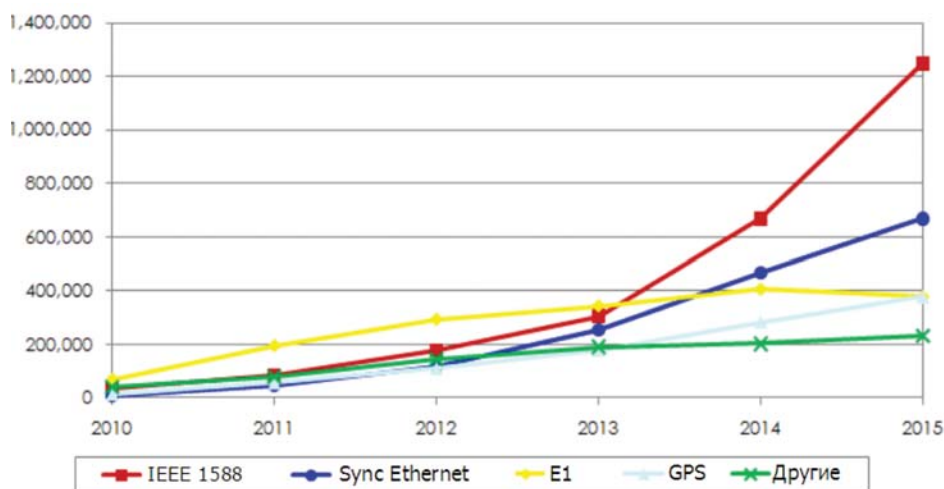


Рис. 2. Прогноз внедрения способов синхронизации базовых станций на перевалочной сети мобильной связи (источник: Heavy Reading's Ethernet Backhaul Quarterly Tracker, June 2011)



другими словами выбранный режим моделирования оказался близким к пределу технических возможностей элементов сети;

3 — в положении 2 переключателя через канал GE между элементами сети передавали прерывистый поток циклов Ethernet со средней загрузкой 80% и плотностью передачи пакетов 98,8% в активной фазе, состоящей из 10000 циклов, и продолжительностью цикла ~8000 нс;

4 — в положении 2 переключателя через загруженный на 99% канал FE между элементами сети передавали непрерывный поток циклов Ethernet со скоростью передачи 147320 циклов в секунду (~75,43 Мбит/с) и скоростью приема 141800 циклов в секунду (~72,65 Мбит/с), т.е. частота пропадания циклов GE достигала  $4 \cdot 10^{-2}$ ;

5 — в положении 3 переключателя при тех же условиях в канале FE между элементами сети направление передачи сообщений PTP был изменен на обратный для того, чтобы оценить влияние одностороннего трафика

Семейство характеристик восстановления тактовой частоты в перечисленных режимах измерений показано на рисунке 4. Следует отметить заметное улучшение качества восстановления частоты в условиях прерывистого трафика 3 по сравнению с непрерывным 2, что объясняется уменьшением средней загрузки тракта передачи. Предсказуемым также можно считать некоторое улучшение характеристики при изменении направления потока сообщений PTP от совпадающего 4 с направлением тестового потока к противоположному 5, так как интенсивность передачи сообщений от сервера PTP к клиенту приблизительно в три раза меньше интенсивности обратной передачи.

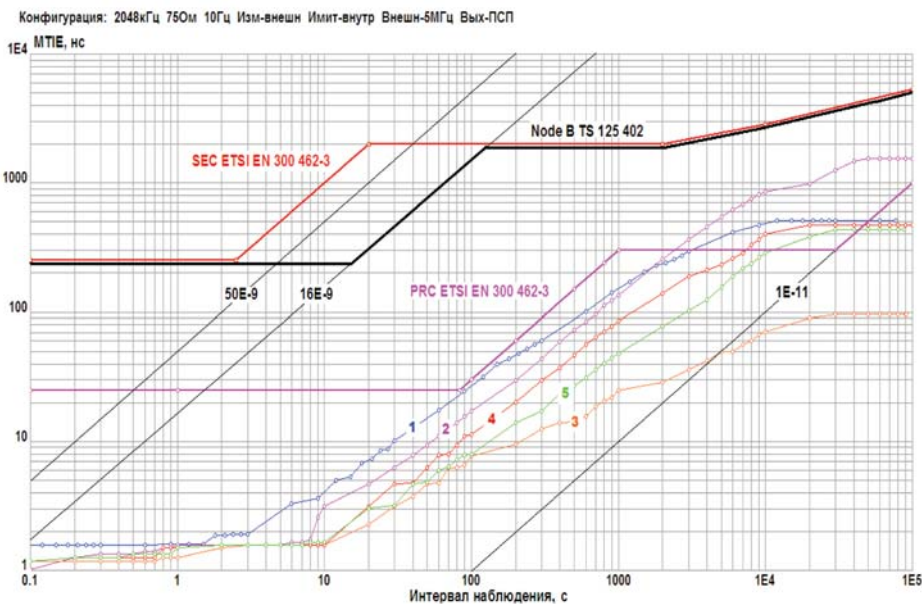


Рис. 4. Результаты лабораторных испытаний

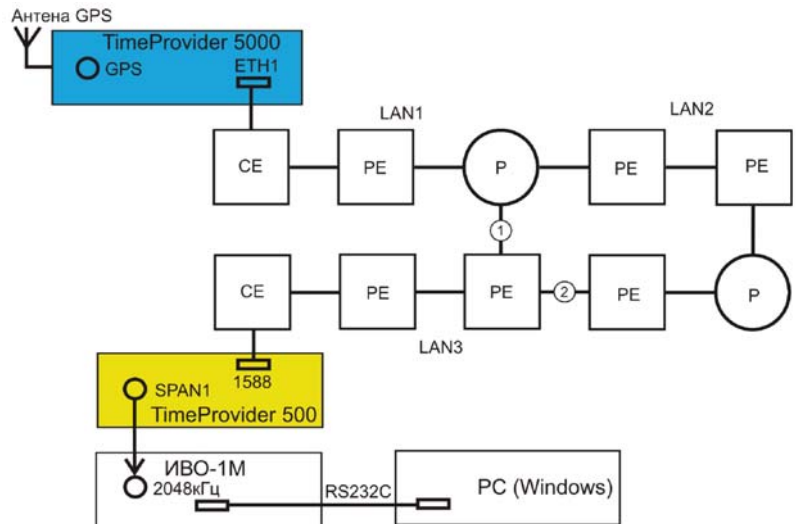


Рис. 5. Схема линейных испытаний PTP при умеренной загрузке тракта

Тем не менее нельзя сказать, что существует явно выраженная зависимость результатов измерений от выбранных вариантов. Характеристика "короткого замыкания" оказалась практически хуже всех. Это означает что разброс характеристик на рис. 4 обусловлен случайными шумами измерений в большей степени, чем детерминированными условиями выбранных вариантов. При этом по-прежнему все характеристики с большим запасом удовлетворяют техническим требованиям TS 125 400.

**Результаты линейных испытаний PTP: умеренная загрузка тракта**

Для того чтобы оценить зависимость стабильности восстановленной тактовой частоты от числа переопределений в реальной сети Intranet

в условиях умеренной загрузки тракта (со средней нагрузкой 20%), были сконфигурированы два тракта, отмеченные на рис. 5 цифрами 1 и 2:

1 — в составе шести элементов сети — двух маршрутизаторов доступа CE (Cisco Catalyst 3750 customer edge), четырех граничных маршрутизаторов PE (Cisco Catalyst 3750 provider edge) и одного магистрального маршрутизатора P (Cisco 7603 provider);

2 — в составе 10 элементов сети — двух маршрутизаторов CE, шести маршрутизаторов PE и двух маршрутизаторов P.

Результаты измерений показаны на рис. 6 в графической форме зависимости MTPe от интервала наблюдения, привычной для специалистов по синхронизации на фоне шаблона для базовой станции Node B в соответствии с табл. 1. Характеристики двух трактов, которые по числу переопределений отличаются почти в два раза, практически одинаковы и с большим запасом удовлетворяют техническим требованиям TS 125 400. Такой результат можно объяснить тем, что загрузка реальной сети слишком мала для того, чтобы оказать влияние на качество синхронизации.

Можно предположить, что имеет место пороговый эффект: качество восстановления тактовой частоты не зависит от изменения загрузки реальной сети в широких пределах и отказ возникает при некоторой предельной нагрузке, когда остаток производительности тракта оказывается меньше интенсивности обмена сообщениями между сервером и клиентом PTP. Это предположение подтверждено при проведении линейных испытаний в напряженном режиме.

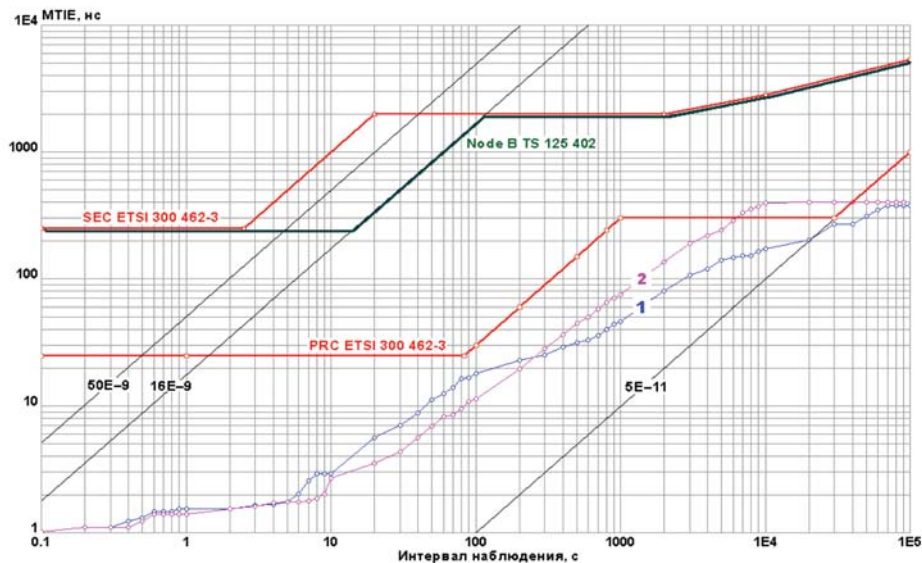


Рис. 6. Результаты линейных испытаний РТР при умеренной загрузке тракта

**Результаты линейных испытаний РТР: напряженный режим**

С целью определения указанного выше порога помехоустойчивости системы TimeProvider 5000/500 на сети одного из операторов мобильной связи был выбран специфический тракт передачи, показанный на рис. 7, по которому передают служебную информацию от системы управления РПЛ в центр технического обслуживания, расположенный в том же станционном помещении, где установлен сервер. Он состоит из последовательно соединенных 4 элементов сети NE Ethernet, преобразователя FMX потока Ethernet в сигнал E1, 9 элементов сети SDH, обратного преобразователя QMX7 сигнала E1 в поток Ethernet (ему в данном случае отводится 64 кбит/с), который через канал служебной связи радиорелейной линии РПЛ STM1 доступен порту клиента. "Узкое место" с максимальной производительностью 64 кбит/с, да еще загруженное служебной информацией, вызвало напряженный режим работы системы

восстановления частоты. После вхождения в синхронизм система частотной автоподстройки (ЧАП) клиента работала в граничном режиме: поочередно переходила из состояния слежения (на интервале от 22 до 31 минут) в состояние аварии (на ~5 минут) и обратно по критерию высокой частоты пропадания пакетов РТР.

Результаты, полученные в схеме измерений, показанной на рис. 7, приведены на рис. 8 (характеристика 1). Эта характеристика представляет интерес при ее сопоставлении с характеристикой режима свободных колебаний 2 собственного кварцевого генератора клиента и с характеристикой режима удержания частоты, в котором по техническим условиям [10] уход фазы составляет 20 мкс в сутки (линия  $2,3 \cdot 10^{-10}$  на рис. 8) при условии, что клиент до этого отработал в режиме слежения не менее 24 часов, а его питание не выключалось в течение пяти суток. Здесь же приведена реальная характеристика 3 удержания частоты, измеренная при указанных условиях. Очевидно, что хотя характеристика 1 существенно хуже ха-

рактеристик, представленных ранее, и пересекает шаблон допустимых блужданий фазы для SEC на интервале наблюдения около 700 с, тем не менее она удовлетворяет требованию к допустимой неопределенности неопределенности тактовой частоты на входе базовой станции  $16 \cdot 10^{-9}$ . Другими словами, она не имеет ничего общего с характеристикой 2 и является результатом подстройки частоты, когда ЧАП балансирует между состоянием слежения и состоянием аварии. Интересно отметить, что ее поведение в таком напряженном режиме не удовлетворяет техническим условиям на удержание частоты, так как при измерениях не было выполнены условия предварительной работы в режиме слежения не менее 24 часов при не выключенном питании в течение 5 суток. С другой стороны, уже в суточном сеансе измерений очевидна тенденция изменения долговременной стабильности характеристики 1 в лучшую сторону и следует ожидать, что на интервале наблюдения в несколько суток она будет отслеживать частоту UTC (т.е. пересечет линию  $1 \cdot 10^{-11}$ ).

На основании анализа журналов событий системы управления клиента можно заключить, что переход системы ЧАП из состояния слежения в состояние аварии происходит тогда, когда частота пропадания пакетов становится равной ~50% и предельно возможная интенсивность обмена пакетами РТР оказалась равной 32 пакета/с. Это значит, что доступная производительность тракта в направлении от сервера к клиенту не превышала 55 кбит/с, а в обратном направлении — 24 кбит/с.

Представленные здесь результаты в значительной степени совпадают с данными, которые известны по другим публикациям. Так при моделировании интенсивности нагрузки в пределах до 70% и резких ее изменениях в экспериментах на сети Vodafone получены результаты [7], которые хорошо согласуются с результатами, представленными на рис. 4 и 6.

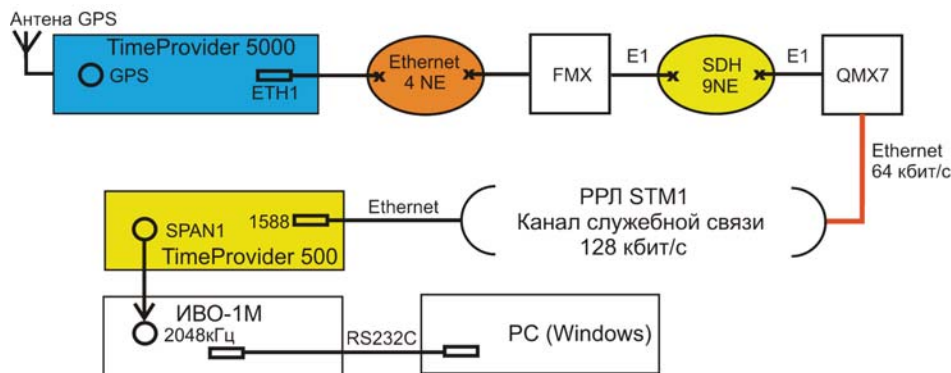


Рис. 7. Схема линейных испытаний РТР в напряженном режиме

**Заключение**

Результаты лабораторных и линейных испытаний сервера РТР TimeProvider 5000 и клиента TimeProvider 500 с совокупностью параметров, соответствующей Рекомендации G.8265.1 позволяют сделать следующие выводы.

1. Стабильность тактовой частоты, восстановленной в транспортной среде IP/MPLS/Ethernet перевалочной сети мобильной связи с помощью системы TimeProvider 5000/500, с большим запасом соответствует техническим требованиям TS 125 402.

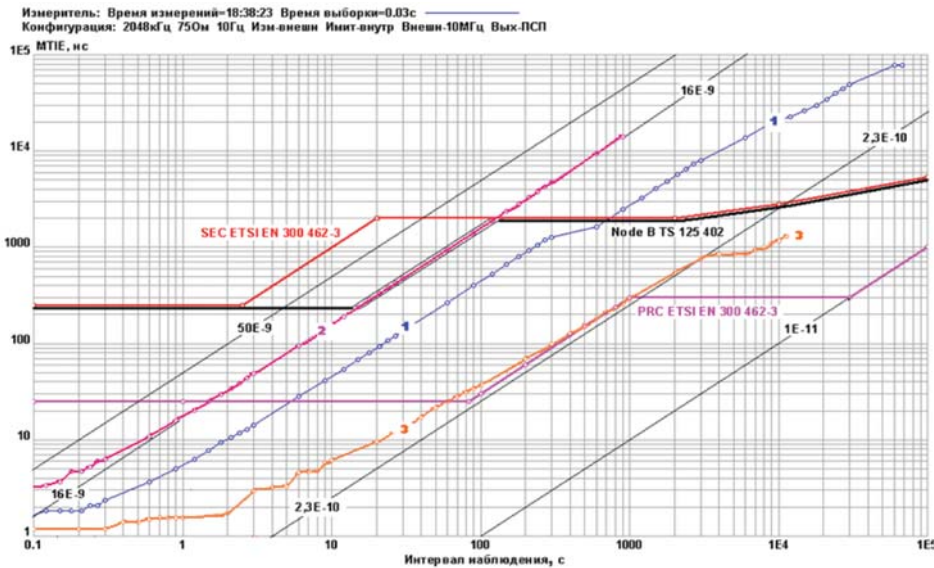


Рис. 8. Результаты линейных испытаний PTP в напряженном режиме

2. Стабильность восстановленной частоты при умеренной загрузке тракта, в котором содержится до 10 элементов сети, слабо зависят от количества переприемов.

3. В ходе лабораторных испытаний и линейных испытаний при умеренной загрузке тракта не зафиксировано существенного улучшения качества восстановления тактовой частоты при увеличении интенсивности обмена сообщениями PTP между сервером и клиентом.

4. Стабильность восстановленной частоты заметно ухудшается тогда, когда доступная системе PTP производительность сети становится меньше пороговой величины, которая зависит от интенсивности обмена сообщениями PTP. Тогда система ЧАП клиента начинает балансировать между состоянием слежения и состоянием

аварии. Но даже в этом случае долговременная (на интервале суток и более) стабильность восстановленной частоты удовлетворяет требованиям TS 125 402.

5. Величина порога тем меньше, чем меньше интенсивность обмена сообщениями PTP между сервером и клиентом. Представленные здесь результаты позволяют заключить, что при интенсивности обмена 16 пакетов/с, которая принята для клиентов PTP, встроенных в серийное оборудование базовых станций, стабильность их частоты будет соответствовать техническим требованиям TS 125 402 при условии, что доступная производительность тракта в направлении от сервера к клиенту не менее ~28 кбит/с, а в обратном направлении — не менее ~12 кбит/с.

## Литература

1. J.-L. Ferrant, M. Gilson, S. Jobert, M. Mayer, M. Ouellette, L. Montini, S. Rodrigues, S. Ruffini. Synchronous Ethernet: A Method to Transport Synchronization // IEEE Communication Magazine, 2008. — №9. — С. 126-134.
2. Synchronization in packet-based networks: challenges and solutions // Ericsson White Paper 284 23-3114 Uen Rev A. January 2009. pp. 2-15.
3. T. Laine. New synchronization metrics for packet networks: Thesis submitted for examination for the degree of Master of Science in Technology // Faculty of Electronics, Communications and Automation of Aalto University. Espoo, 2010. — 92 p.
4. Рыжков А.В., Савчук А.В. Способы синхронизации сетей электросвязи в условиях перезагрузки нормативной базы // Электросвязь, 2012. — №9. — С. 37-41.
5. J.-L. Ferrant, M. Gilson, S. Jobert, M. Mayer, L. Montini, M. Ouellette, S. Rodrigues, S. Ruffini. Development of the First IEEE 1588 Telecom Profile to address Mobile Backhaul Needs // IEEE Communication Magazine, 2010. — №10. — С. 118-126.
6. K. Hann, S. Jobert, S. Rodrigues. Synchronous Ethernet to Transport Frequency and Phase/Time // IEEE Communication Magazine, 2012. — №8. — С. 152-160.
7. M. Gasparoni, P. Correa. IEEE 1588v2 based solutions for VF Backhaul Networks // The 6th International Telecom Sync Forum, Munich, ITSF-2008.
8. Рыжков А.В., Савчук А.В., Вакас В.И. Протоколы сличения времени для тактовой синхронизации в сетях с коммутацией пакетов // Электросвязь, 2010. — №5. — С. 45-49.
9. Гайдманчук А.В., Савчук А.В. Восстановление тактовой частоты по протоколу сличения времени на перевалочной транспортной сети мобильной связи // Зв'язок, 2011. — № 1. — С. 23-28.

## The test results of the PTP technology in mobile networks of Ukrainian leading carriers

Savchuk A.V., Ph.D., savas@wircom.com.ua

### Abstract

In this paper the indoor and field test results of production pieces of PTP synchronization equipment Std. IEEE 1588-2008 with telecom profile secundum G.8265.1 ITU-T Recommendation meant for base stations frequency synchronization in packet mobile backhaul.

**Keywords:** frequency synchronization, precision time protocol (PTP), telecom profile, packet mobile backhaul.

### References

1. J.-L. Ferrant, M. Gilson, S. Jobert, M. Mayer, M. Ouellette, L. Montini, S. Rodrigues, S. Ruffini. Synchronous Ethernet: A Method to Transport Synchronization // IEEE Communication Magazine, 2008. No9. pp. 126-134.
2. Synchronization in packet-based networks: challenges and solutions // Ericsson White Paper 284 23-3114 Uen Rev A. January 2009. pp. 2-15.
3. T. Laine. New synchronization metrics for packet networks: Thesis submitted for examination for the degree of Master of Science in Technology // Faculty of Electronics, Communications and Automation of Aalto University. Espoo, 2010. 92 p.
4. Ryzhkov A.V., Savchuk A.V. Ways to synchronize telecommunications networks under the regulatory framework reboot / Electrosvyaz, 2012. No9. pp. 37-41.
5. J.-L. Ferrant, M. Gilson, S. Jobert, M. Mayer, L. Montini, M. Ouellette, S. Rodrigues, S. Ruffini. Development of the First IEEE 1588 Telecom Profile to address Mobile Backhaul Needs / IEEE Communication Magazine, 2010. No10. pp. 118-126.
6. K. Hann, S. Jobert, S. Rodrigues. Synchronous Ethernet to Transport Frequency and Phase/Time / IEEE Communication Magazine, 2012. No8. pp. 152-160.
7. M. Gasparoni, P. Correa. IEEE 1588v2 based solutions for VF Backhaul Networks // The 6th International Telecom Sync Forum, Munich, ITSF-2008.
8. Ryzhkov A.V., Savchuk A.V., Vakas V.I. Protocols for comparison time clock in packet-switched networks / Electrosvyaz, 2010. No5. pp. 45-49.
9. Gaydamanchuk A.V., Savchuk A.V. Clock recovery protocol comparisons at the transfer time of the transport network of mobile communication / Zvyazok, 2011. No 1. pp. 23-28.



# Современное испытательное оборудование для проверки электромагнитной совместимости технических средств радиосвязи согласно требований серии стандартов ГОСТ Р 52459.X-2009

**Ключевые слова:** испытательное оборудование, электромагнитная совместимость, ГОСТ Р 52459.1-2009.

**Смирнов А.П.,**  
д.т.н., ЗАО "НПФ "Диполь",  
smirnov@dipol.ru

Анализ стандартов данной серии показал, что общие требования по электромагнитной совместимости к техническим средствам радиосвязи аналогичны требованиям по электромагнитной совместимости общепромышленной продукции. Частные требования к техническим средствам конкретного вида уточняют только особенности испытаний, режимы работы испытываемых средств, конкретизируют характерные частотные точки испытаний. Таким образом, технические требования по ЭМС к техническим средствам радиосвязи включают в себя [1]:

- уровень эмиссии излучаемых ИРП от корпуса вспомогательного оборудования;
- уровень эмиссии кондуктивных ИРП на входных и выходных портах постоянного и переменного тока;
- уровень эмиссии гармонических составляющих тока, потребляемого из сети питания переменного тока;
- уровень колебаний напряжения, вызываемые в сети электропитания, и фликер;
- уровень эмиссии кондуктивных ИРП на портах связи;
- помехоустойчивость в радиочастотному электромагнитному полю;
- помехоустойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотным электромагнитным полем;
- помехоустойчивость к электростатическим разрядам;

Стандарты серии 52459.X-2009 распространяются на технические средства радиосвязи и связанное с ними вспомогательное оборудование и устанавливают технические требования к техническим средствам радиосвязи и вспомогательному оборудованию и методы испытаний в отношении электромагнитной совместимости. ГОСТ Р 52459.1-2009 устанавливает общие требования по ЭМС, в то время как остальные стандарты серии определяют частные требования для оборудования различных категорий конкретного вида. Важность соблюдения требования данных стандартов определяется тем обстоятельством, что все они включены в Перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза ТР ТС 20/2011, вступившего в силу 15 февраля 2013 г.

- помехоустойчивость к наносекундным импульсным помехам на портах питания, связи и управления;
- помехоустойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии в линиях питания переменного тока и на портах связи;
- устойчивость к провалам и кратковременным прерываниям напряжения электропитания переменного тока;
- помехоустойчивость к импульсным помехам в бортовой сети автотранспортных средств.

Перечисленные требования соответствуют перечню характеристик ЭМС для общепромышленного оборудования, основаны на нормативных документах МЭК, СИСПР, гармонизированных с ними отечественных стандартах серии 51317.4.X, 51318.XX и вытекают из требования Технического регламента ТР ТС 20/2011.

Проблема ЭМС обнаружилась с самого начала появления электрических, радиотехнических и электронных средств. Поэтому к настоящему времени существует значительное количество специализированных средств измерений, испытательного оборудования и вспомогательных устройств [2]. При этом несмотря на кажущуюся разнородность измерительных задач и тестов на помехоустойчивость целью разработчиков средств испытаний ЭМС является унификация испытательного оборудования с возможностью создания универсальных рабочих мест для испытаний в том числе технических средств радиосвязи. Примерами такой практической реализации является продукция фирмы TESEQ.

В частности, испытательный генератор NSG 3040 (рис. 1), используемый для оценки помехоустойчивости к импульсным помехам,

построенный по принципу модульной конструкции, содержит источник сигнала и устройство связи/развязки для ввода помех, может обеспечивать одновременное проведение испытаний помехоустойчивости:

- к наносекундным импульсным помехам по ГОСТ 51317.4.4 с амплитудой до 4,8 кВ;
- к микросекундным импульсным помехам по ГОСТ 51317.4.5 с амплитудой до 4,4 кВ;
- к провалам и прерываниям напряжения питания постоянного и переменного тока по ГОСТ 51317.4.11.

Большой сенсорный экран, виртуальный джойстик управления, постоянная возможность вызова справки по тестам, возможность создания и сохранения шаблоном испытаний, а также прекращения и возобновления испытаний делают данный прибор удобным и понятным в эксплуатации. Более того, возможность наращивания принадлежностей и встраиваемых модулей предоставляют возможность проведения тестов по другим стандартам или требованиям, в частности на устойчивость к магнитным полям, импульсным помехам с другими амплитудно-временными характеристиками. Прилагаемое программное обеспечение позволяет выполнять тесты под управлением внешнего компью-



Рис. 1. Внешний вид генератора помех NSG 3040



Рис. 2. Внешний вид NSG 4070 (слева) и ITS 6006 (справа)



Рис. 3. Внешний вид GTEM ячейки GTEM1000

тера, что дает возможность сэкономить на конфигурации генератора за счет исключения собственного монитора.

Аналогично испытательно-измерительная система NSG 4070 (рис. 2) с опциональными усилителями мощности и антеннами обеспечивает испытания на устойчивость к кондуктивным помехам в диапазоне 150 кГц — 230 МГц и излучаемым помехам в диапазоне до 1 ГГц. При этом встроенный трехканальный измеритель мощности и встроенное или внешнее программное обеспечение обеспечивают автоматическую калибровку системы, а также автоматизированное измерение порогов помехоустойчивости и программный мониторинг объекта испытаний. При необходимости расширения частотного диапазона испытаний до 6 ГГц может быть использована испытательная система ITS 6006.

Традиционный путь создания испытательного оборудования для оценки устойчивости технических средств к излучаемым помехам предполагает использование последовательно соединенных генератора, усилителей мощности и излучающих антенн. Для нормируемого стандартами диапазона частот излучаемых помех 80 МГц — 3 ГГц требуется несколько усилителей мощности и несколько антенн. Такая конфигу-

рация требует использования дорогостоящей безэховой экранированной камеры. Однако, учитывая относительно небольшие габаритные размеры технических средств радиосвязи, в качестве полеобразующих систем TESEQ предлагает использование генераторов электромагнитного поля типа GTEM ячеек (рис. 3) [3]. Предлагаемые GTEM ячейки образуют ряд с габаритными размерами зоны однородного поля от 15 до 130 см. Преимуществами этих устройств, по сравнению с традиционными схемами, являются:

- сниженное в несколько раз значение входной мощности для создания требуемой напряженности поля в силу его локальной концентрации в рабочем объеме;
- лучшие характеристики однородности поля и, как следствие, дополнительная экономия входной мощности;
- широкополосность генераторов поля;
- меньшие габаритные размеры установки в целом и ее мобильность;
- возможность использования генераторов поля для оценки эмиссии излучаемых помех.

Говоря о средствах оценки искажений питающей сети, следует указать на предлагаемые компанией измерительные системы Profline

21XX для мощности от 3 до 135 кВт. Системы представляют собой объединение "чистого" программируемого источника питания и измерительного модуля. Такая конфигурация обеспечивает измерение собственных вносимых искажений в питающую сеть (фликер, колебания, гармоники), так и устойчивость к искажениям питающей сети (изменения, пульсации, колебания, нестабильность частоты, несинусоидальность, несимметрия фаз для трехфазных систем). При наличии собственной "чистой" сети для оценки вносимых искажений достаточно ограничиться измерительным модулем (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид системы Profline 2103 (вверху — измерительный модуль, внизу — программируемый источник питания)

В целом комплекс оборудования для оценки технических средств радиосвязи может быть практически полностью построен на основе продуктов TESEQ. Данный комплекс по своим техническим и функциональным характеристикам полностью соответствует требованиям стандартов МЭК, СИСР и национальных стандартов.

### Литература

1. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. — М.: Советское радио, 1977, вып. 1. — 348 с.
2. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Под ред. Ю. А. Феоктистова. — М.: Радио и связь, 1988.
3. ГОСТ Р 51048-97. Совместимость технических средств электромагнитная. Генераторы электромагнитного поля с ТЕМ-камерами. Технические требования и методы испытаний.

### Modern test equipment for testing the electromagnetic compatibility of radio communication equipment according to technical requirements of GOST R series 52459.X-2009

Smirnov A.P., Ph.D., smirnov@dipaul.ru

#### Abstract

Standards of 52459.X-2009 apply to radio hardware and related accessories and establish technical requirements for radio communications and technical support equipment and test methods for electromagnetic compatibility. While GOST R 52459.1-2009 establishes general requirements for EMC, while the remaining series of standards define the particular requirements of different categories of equipment for particular species. Importance of compliance with the requirements of these standards is determined by the fact that they are all included in the list of standards as a result of which, on a voluntary basis to ensure compliance with the technical regulations of the Customs Union TR TC 20/2011, which entered into force on 15 February 2013.

**Keywords:** test equipment, electromagnetic compatibility, GOST R series 52459.X-2009.

# Anticipating and responding to the RF challenges of LTE-Advanced

With nearly 1.5 billion LTE subscriptions worldwide expected by 2018 according to ABI Research, mobile operators are scrambling to add the speed- and capacity-increasing features of LTE-Advanced to their almost-new LTE networks. Millions of smartphones, tablets, and other mobile devices are already devouring bandwidth on the networks. Without the upgrades, operators may not be able to deliver a reliable, consistent end-user experience if traffic loads continue to grow exponentially as predicted. First on every operator's list of what to implement is carrier aggregation (CA), a feature that allows mobile operators to bundle diverse frequencies into a larger, single channel bandwidth to achieve significantly higher data rates. This feature could be a game-changer for those operators with limited spectrum and no new allotments on the horizon. Other LTE-Advanced features that are being heavily investigated by operators include techniques for managing interference among large and small cells in heterogeneous networks (HET-NETs), and incorporation of higher order MIMO (multiple input, multiple output) antenna systems for higher data rates and better connections. The benefits of LTE-Advanced come at the cost of adding more complexity to an already complex wireless network environment. Developers of RF components and systems for network equipment and mobile devices have to deal with new architectures for carrier aggregation, 8x8 MIMO and other LTE-Advanced options, making the new technology work on multiple frequency bands and alongside other communication formats ... all while maintaining or even improving the power efficiency of the previous generation of equipment.

## Materials of Agilent Technologies

At a high level, the challenges developers face for LTE-Advanced can be grouped into five categories:

1. Designing user equipment (UEs) and base stations (BSs) to operate in HET-NET environments
2. Maximizing UE and BS power efficiency
3. Managing the dramatic increase in the amount of design and verification effort
4. Working on designs before conformance tests are fully defined

5. Designing to pass operators' acceptance tests for end-user experience.

While none of these challenges is unique to LTE-Advanced, each intensifies the development effort, especially when added to the operators' higher data throughput, system capacity, and time-to-market needs. The remainder of this article touches on some of the underlying issues that have to be addressed for each of these challenges, and techniques to overcome them.

## Designing UEs and BSs to operate in HET-NET environments

Advanced radio access techniques such as MIMO require near-ideal signal environments with high signal-to-noise ratio and power. These conditions are usually found close to the base station; however, as mobile devices get farther away and approach the cell edge, performance goes down. Adding more traditional base stations (macrocells) to improve coverage is expensive for many reasons: the difficulty of finding suitable locations, initial cost of the hardware, power requirements, and the installation and maintenance costs. For these same reasons adding macrocells is not a good solution to increase capacity in an overloaded network. LTE-Advanced therefore supports the use of relay nodes and small cells, which are much less expensive to acquire and operate and relatively easy to deploy.

Small cells in HET-NETs are full-fledged local base stations with their own backhaul. The term includes microcells, picocells, and femtocells, with the latter getting the most attention. Femtocells are most often associated with the home base station defined in the LTE and LTE-Advanced specifications, but these small cells can be applied effectively in many situations from personal hotspots to the metro-cells that enhance coverage in dense urban areas and indoor campuses. Elements of a HET-NET may encompass many radio access technologies from cellular (LTE, UMTS, GSM) to WiFi. Remote radio heads (RRH) and distributed antenna systems (DAS) may also be deployed.

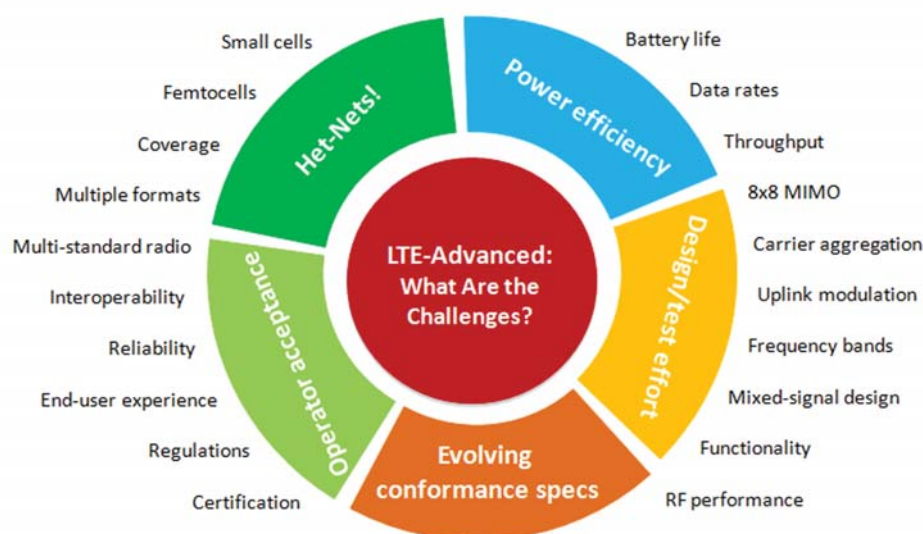
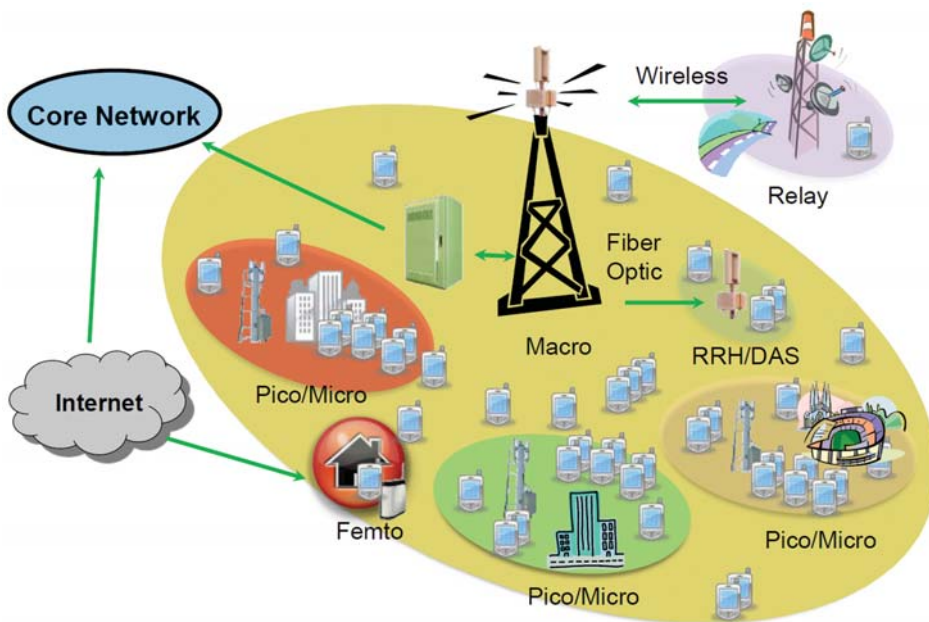


Figure 1. LTE-Advanced adds even more complexity to an already-challenging cellular environment





**Figure 2.** A heterogeneous network (HET-NET) supports the deployment of small cells and relay nodes, each optimized for different communication requirements

It's been estimated that in the next decade CapEx will shift from traditional base stations to small cells, accounting for \$12B in 2018 according to Maravedis-Rethink. By then 4.6 million LTE metrocells will have been deployed. At the same time much of the backhaul traffic may be offloaded to high capacity WiFi networks. Clearly operators have a huge network management challenge ahead of them—not least of which is handling the interference that will be generated by the interactions of the multiple layers of cells and other RF-emitting devices occupying the same frequency. Contributing to the interference will be the multiple new transceivers in LTE-Advanced devices that are required for new speed and capability enhancements such as MIMO and dual-layer beamforming.

In the HET-NET environment new co-channel interference scenarios arise that require new inter-cell interference coordination solutions. Two distinct forms of co-channel heterogeneous deployment each requires a different approach to interference avoidance: the open subscriber group (OSG) and the closed subscriber group (CSG). OSG allows users to roam between the macro network and any local area BS deployed by the operator on the same frequency. In the area of the network where the strengths of the wide area and local area base stations are similar—typically a ring around the local area BS—interference is greatest and performance may be significantly degraded. Closer to the local area BS the interference becomes less problematic.

CSG limits local base station access to a fixed group of subscribers such as the occupants of a dwelling or employees of an enterprise. In the local BS coverage area, service for the CSG is good but

all other users experience significant interference. This situation could be a major problem for macro network coverage in densely populated areas. The obvious solution is to assign different channels to the local BS and the macrocell. However, the solution is not available to operators with only a single channel. Some form of partial frequency reuse is also possible although there will still be interference in the control channels.

Given the difficulty of CSG, it is the focus of the initial LTE-Advanced standards work on enhanced interference mitigation in heterogeneous networks. Meticulous design of network devices and rigorous interference testing from design through deployment will be key to keeping this problem under control.

### Maximizing UE and BS power efficiency

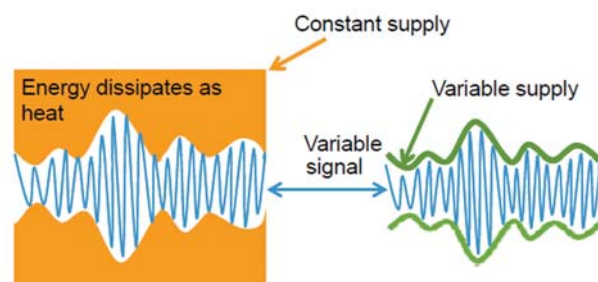
As any smartphone user will tell you, battery life is a critical feature in a high end mobile device. But making the battery larger to accommodate the extra transceivers required by higher order MIMO,

for example, is not really an option. And operators also want base stations and small cells to operate as efficiently as possible, for both economical and ecological reasons. Developers must therefore optimize power efficiency by considering new techniques for RF, baseband, and system-level designs.

Power amplifiers (PAs) account for a significant portion of both the energy consumed and heat generated by the RF front end. PAs are an essential component affecting the overall performance and throughput of wireless systems and are inherently non-linear. Techniques to enable PAs to operate near saturation, where they are most efficient but also more non-linear, are available now and will be more widely adopted over the next year or two.

Crest factor reduction (CFR) and digital pre-distortion (DPD) are two techniques that, particularly when used together, improve the linearity of a PA so that it may be operated at its high power-added efficiency (PAE) region, near saturation, without significant signal distortion. CFR pre-conditions a signal, reducing its high peak-to-average power ratio (PAPR) without causing significant additional distortion. DPD is a method of determining a PA's distortion characteristics, then applying the opposite effect to the baseband signal via a pre-distortion algorithm to improve linearity at the PA output. Both CFR and DPD are used by developers today.

Average power tracking (APT) and envelope tracking (ET) are newer techniques to improve PA performance and efficiency. Both involve the control of the PA supply voltage as a function of the signal amplitude, an approach that has been used for many years. What is new is that APT and ET techniques work with modern PAs that offer switched high- and low-power operation rather than constant supply voltage. Thus, for example, envelope tracking can dynamically adjust the PA's supply voltage to track the magnitude of the envelope of the RF input signal. When the input signal envelope is low, the supply voltage can be reduced so the amplifier operates closer to its optimal efficiency point. APT and ET will become more widely adopted over the next 12-18 months.



**Figure 3.** Envelope tracking is a technique that improves power amplifier performance by dynamically adjusting the supply voltage to track the magnitude of the RF input signal envelope

In LTE-Advanced devices, it is not just the primary radio that requires power; power is required for multiband multi-RAT support, receive diversity, MIMO, interference cancellation, high data rates, Wi-Fi, Bluetooth®, FM radio, MP3, MP4, GPS, larger brighter displays, and-in the not so distant future-integrated video projection. Since battery life must be increased but not battery size, developers are directing an increasing amount of R&D effort towards designing, measuring, optimizing, and verifying UE current consumption in an ever wider set of use cases. Fortunately advanced battery-current drain measurement solutions are available now for analyzing current drain and validating and optimizing UE run times.

**Managing the dramatic increase in design and verification effort**

The schedule for LTE-Advanced development is aggressive given that LTE is just now enjoying widespread deployment. The newness and the complexity of both LTE and LTE-Advanced give rise to product development challenges, and not least is the fact that these are evolving standards, open to change and interpretation. From the technology perspective, new techniques add substantial complexity. For example, the use of multiple antenna configurations-with up to 8x8 MIMO supported in LTE-Advanced-makes the design of UE more complicated, as does the new uplink modulation scheme introduced in LTE and the addition of carrier aggregation in LTE-Advanced.

The "real-world" behavior of these enhancements is only now becoming understood and prod-

ucts optimized accordingly. Multiple channel bandwidths, while increasing the flexibility and capability of the cellular system, at the same time add to its overall complexity. Moreover, LTE-Advanced networks and devices have to operate with LTE and UMTS operating modes and as well as other wireless formats such as WiFi and Bluetooth. Thus the ability to interwork seamlessly with other technologies is critical. Certain aspects of LTE-Advanced such as MIMO over-the-air (OTA) performance require entirely new test approaches, which are being defined in the 3GPP specifications.

The integration of the TD-SCDMA standard into the 3GPP specifications for LTE put a renewed emphasis on the development of systems with TDD capability and TD-LTE is emerging as a popular option. New components in the network architecture such as small cells/femtocells further complicate the picture.

Along with development challenges specific to LTE and LTE-Advanced are those generally associated with designing products for emerging wireless systems. Product designs tend to be mixed-signal in nature, consisting of baseband and RF sections. Overall system performance depends on the performance of the whole, yet each component type is associated with particular impairments-for example, non-linearity and effective noise figure in an RF up-converter or down-converter; phase and amplitude distortion from a power amplifier; channel impairments such as multi-path and fading; and impairments associated with the fixed bit-width of baseband hardware.

With performance targets for LTE-Advanced set exceptionally high, developers have to allocate resources to cover each critical part of the transmit and receive chain. Astute decisions regarding system performance budgets will be key in meeting system-level specifications as well as time-to-market goals. Clearly managing the effort required in the design and verification process will be a major challenge to developers at every step of the product development lifecycle.

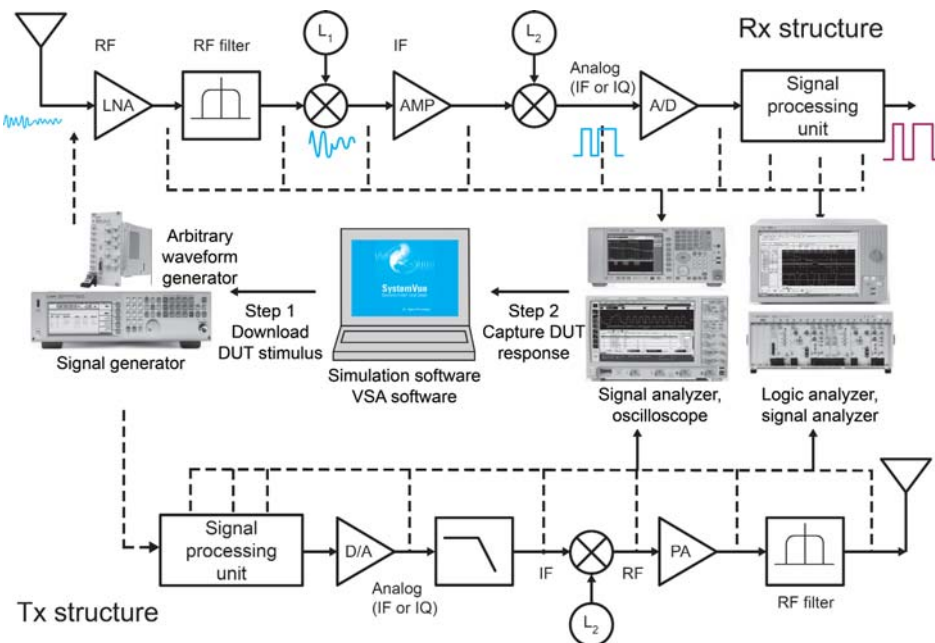
Design simulation tools can address LTE-Advanced development challenges and verify their interpretations of the standard. Models simulated at various levels of abstraction can support the progression from product concept through detailed design. Performance of both baseband and RF sections can be evaluated individually and together to minimize the problems and surprises encountered during system integration and other phases of the development cycle. Then, during the transition to hardware testing, a means of moving smoothly back and forth between design simulation and testing will ensure that engineers are not forced to redesign the product on the bench to get it to work.

Design and test integration provides even greater power and flexibility for hardware testing. For example, using signal creation and analysis software in simulation along with logic analyzers, digital oscilloscopes, and RF signal analyzers provides a common test methodology with a consistent user interface to help diagnose issues along the mixed-signal, RF transmitter and receiver chain (baseband, analog IQ, IF, and RF). This powerful capability can be used to identify potential issues earlier in the cycle, when they are easiest and least costly to fix.

**Working on designs before conformance tests are fully defined**

The core specifications are needed to design any cellular product, and conformance tests provide the methods of measuring that product's compliance to the core specs. For LTE and LTE-Advanced, specifications are defined by the 3rd Generation Partnership Program (3GPP). The conformance tests cover RF, radio resource management (RRM), and signaling (protocol) conformance. They are used by test labs in the process of certifying devices for the market, under the auspices of the GCF (Global Certification Forum) representing GSM and UMTS operators and the PTCRB (PCS Type Certification Review Board) in North America.

While the core specifications are essential for designing a product and, in the case of LTE, have been published at an astonishingly rapid pace, the conformance tests definitions tend to lag behind. That means manufacturers are often trying to bring



**Figure 4.** Combining simulation and test facilitates measurement and troubleshooting at various stages along the RF and mixed signal transmitter and receiver chain of a product design

UE RF transmitter test cases	UE RF receiver test cases
UE maximum output UE maximum output power for intra-band contiguous carrier aggregation (CA) Maximum power reduction (MPR) Additional maximum power reduction (A-MPR) Additional maximum power reduction (A-MPR) for intra-band contiguous CA Configured UE transmitted output power Minimum output power General ON/OFF time mask PRACH time mask SRS time mask Power control absolute power tolerance Power control relative power tolerance Aggregate power control tolerance Frequency error Transmit modulation—error vector magnitude (EVM) Transmit modulation—PUSCH-EVM with exclusion period Transmit modulation—carrier leakage Transmit modulation—in-band emissions for non-allocated RB Transmit modulation—EVM equalizer spectrum flatness Occupied bandwidth 2 Out-of-band emission—spectrum emission mask Out-of-band emission—additional spectrum emission mask Out-of-band emission—adjacent channel leakage power ratio (ACLR) Transmitter spurious emissions Spurious emission band UE coexistence Spurious emission band UE coexistence (Release 9 and forward) Additional spurious emissions Transmit intermodulation	Reference sensitivity level Maximum input level Adjacent channel selectivity In-band blocking A In-band blocking for CA Out-of-band blocking Out-of-band blocking for CA Narrowband blocking Narrowband blocking for CA Spurious response Spurious response for CA Wideband intermodulation Spurious emission

**Figure 5.** Example of required RF tests for LTE UE transmitters and receivers—a subset of the tests required for industry certification. This list continues to evolve with each new release of the 3GPP specifications

products to market before their compliance can be officially confirmed—a risky proposition since finding compliance problems late in the design or production phase is very costly.

Additionally, the number of frequency bands specified for LTE and LTE-Advanced along with the option for FDD- or TDD-based systems and the use of multiple subcarriers and multiple bandwidths creates a seemingly endless number of possible test configurations. The specifications thus far are limited in the number of test scenarios available and of those, the certification groups have chosen a limited set of tests. Work continues on the test definitions, however, so manufacturers may find that the tests for a particular configuration do not yet exist or the tests change during the course of product development. Test equipment vendors who provide standards-compliant test platforms can be of help ahead of validated conformance testing by providing knowledge of the most important types of test and acceptable test procedures.

The list of conformance tests for LTE may seem large, but it's important to remember that passing all the tests on that list still assures only a minimum level of performance. Many other kinds of tests are still needed—in particular, design verification tests that provide a more thorough investigation of the product's performance margins, since the pass/fail nature of conformance testing does not reveal how close a product is to a particular limit. From the end users' perspective there is a need to test applications

since the conformance tests are aimed at a lower level of capability to ensure mainly that the underlying transport mechanisms are in place to carry end-user services. Another step in the process of getting a product to market is operator acceptance testing, which typically includes user-centric tests not otherwise covered. So while conformance testing is an essential step towards the successful deployment of a new system, it is by no means the beginning or end of the test process.

#### Designing to pass operators' acceptance tests for end-user experience

The growth of smart devices has repositioned network operators from suppliers of "dumb pipes" through which wireless devices communicate to gatekeepers who put demanding performance, quality, and security metrics as entry qualifications to their network. Although type approval is the only formal step required of all devices before connecting to the network, operators frequently do more rigorous conformance and acceptance testing of devices before marketing them to customers.

Acceptance tests are designed around specific characteristics and conditions of a given wireless network. Unlike conformance tests, which are publicly available, the details of an operator's acceptance tests are usually confidential. They cover a multitude of scenarios that stress both the network and the UEs to ensure that problems are detected and resolved before they affect end users.

Operators are particularly concerned about perceived quality of service, which can be greatly impacted by device performance. While new features or performance enhancements may strike a chord with customers, they add complexity to the UE and to network operation. Operators use acceptance tests to ensure that such enhancements do not degrade the quality or usability of devices.

Typically acceptance tests cover the following areas:

- RF, EMC, and safety regulations as determined by the country
- RF and protocol conformance, usually test scenarios not included in certification testing
- interoperability, to ensure compatibility with other devices on the network
- functionality, to verify the operation of major features and function
- end-user experience, to measure the quality of the experience as perceived by the user
- reliability, to check that the device works properly under a range of different usage and environmental conditions

As more devices are designed and submitted to operators for testing, the strain on operator test facilities is increasing. Therefore test methods must be highly effective, efficient, reliable, and repeatable. Stress-testing a device in a lab under simulated environmental conditions is ideal to fully understand how a device is behaving and to analyze what has happened if something goes wrong. However, executing complex stress tests manually is time consuming, and operators may wish to automate as many of the test cases in a given test plan as possible.

The process can become costly and time consuming when multiple UE vendors submit new devices for acceptance testing every few months. Therefore we expect that eventually UE vendors, rather than submit their new devices to the operator for acceptance testing, will themselves perform the acceptance tests as defined by the operator. Alternatively, the tests may be outsourced to operator-approved third party labs. If a device does not pass acceptance testing at this stage, the UE vendor will be able to take immediate action to resolve the problem. Due to the complexity and proprietary nature of acceptance tests, operators will need to approve the exact implementation of the test systems used by UE vendors. An approved list of test systems will ensure that all tests carried out by other parties will be done to the same standards as used by the operator.

#### Finding the right solutions

New design and test methods are a critical part of what's needed to develop components, devices, and systems for communication technologies that must balance complex requirements such as the



highest possible data throughput and system capacity with lowest possible power consumption.

Partnering with the right design and test equipment vendor can increase the likelihood of success. The best will offer more than a generic set of hardware and software tools; they will provide application-focused solutions for LTE and LTE-Advanced. Here's what to look for:

- The vendor sells both design software and test solutions optimized for LTE-Advanced. Such vendors have to stay on the leading edge of standards requirements. Check out their level of participation in the key standards bodies.

- The vendor's LTE-Advanced design and test solutions provide best-in-class features and functions optimized for specific applications (for example, device design or network design). Check their track record for evolving over time to meet your application's changing needs.

- The vendor has a reputation for measurement integrity. Check their record for delivering consistent, traceable measurement results with accuracy appropriate to the required speed of the measurement.

- Every solution involves tradeoffs, so look for a vendor who can offer multiple solution

options for both hardware and software. You're much more likely to find one that is right for your unique situation.

- Does the vendor provide easy access to measurement expertise related to your LTE-Advanced application? Check out the depth of their application notes, the frequency and quality of their webcasts, the value of their technical articles to you.

- Since the design of wireless devices and networks increasingly requires a collaboration between global teams, make sure your vendor has the resources to support your LTE-Advanced application wherever and whenever you need them.

### Agilent Technologies' New EXM Wireless Test Set Ready for Volume Production of LTE-Advanced, 802.11ac WLAN Devices

SANTA CLARA, Calif., Nov. 12, 2013. Agilent Technologies Inc. (NYSE: A) today announced the E6640A EXM wireless test set, which offers breakthrough manufacturing-test scalability in technology coverage, performance and capacity to test up to 32 cellular and wireless-connectivity devices in parallel. The EXM offers manufacturers the speed, accuracy and multi-port density to ramp up rapidly and optimize full-volume manufacturing. To accelerate test development, the EXM is synchronized with the latest cellular and WLAN chipsets.

"To solve today's manufacturing problems, our customers want the fastest, most accurate parallel device test to maximize throughput and yield," said Guy Sene, Agilent senior vice president and Electronic Measurement Group president. "The EXM addresses these needs, and as test requirements change, it offers modular scalability so manufacturers can evolve their test stations faster and keep pace with next-generation devices and standards at the lowest cost of test."

Offering the ultimate in scalability, the EXM can be configured with up to four independent transmit/receive (TRX) channels, each of which is a complete vector signal generator and vector signal analyzer. Each TRX includes four RF ports, two full-duplex and two half-duplex, to provide industry-leading port density. To further extend scalability and port density, the EXM can be customized to connect up to 32 devices-under-test through multi-port adapter (MPA) technology.

For today's highly integrated devices, the EXM offers 160-MHz bandwidth, up to 6-GHz frequency range, and the broadest choice of multi-format coverage, from LTE-Advanced in cellular to 802.11ac with multiple-input/multiple-output (MIMO) in wireless connectivity. The industry-proven Agilent X-Series measurement applications provide a wide range of standard-specific calibration and verification test capabilities.

To maximize production throughput, the EXM is equipped with a quad-core processor, high-bandwidth PCIe backplane and advanced sequence analyzer capabilities. To further reduce test time, the EXM includes the ability to make multiple measurements on a single set of acquired data.

Superior signal quality and excellent measurement accuracy ensure improvements in first-pass yield. For example, power-level accuracy is a best-in-class  $\pm 0.5$  dB at 3.8 GHz, and the receiver EVM noise floor is -42 dBm for 802.11ac.

The E6640A EXM is available to order now. Contact an Agilent sales representative for pricing information.

More information is available at [www.agilent.com/find/EXM](http://www.agilent.com/find/EXM).

High-resolution images are available at [www.agilent.com/find/EXM\\_images](http://www.agilent.com/find/EXM_images). A short video describing the EXM and its capabilities is available at [www.youtube.com/playlist?list=PLgy--LGySw06YeQ\\_kon19MYWCesfWQZDa](http://www.youtube.com/playlist?list=PLgy--LGySw06YeQ_kon19MYWCesfWQZDa).

### Agilent Technologies Introduces Microwave Analog Signal Generators with Industry-Leading Phase Noise, Power and Speed

SANTA CLARA, Calif., Dec. 4, 2013. Agilent Technologies Inc. (NYSE: A) today expanded its range of signal generators with two new models that provide unmatched performance in phase noise, output power and frequency-switching speed. Complementing Agilent's flagship E8267D vector PSG and E8257D analog PSG, the new N5183B MXG and N5173B EXG microwave analog signal generators provide important alternatives in size, speed and cost.

"Agilent microwave signal generators are an essential part of today's most advanced measurement systems," said Andy Botka, vice president and general manager of Agilent's Microwave and Communications Division. "They reliably provide the signal purity, output power and modulation developers need to keep pushing the envelope in radar, electronic-warfare and satellite-communications applications."

The pure and precise N5183B MXG analog is an alternative to the high-performance PSG. The MXG offers accuracy, efficiency and near-PSG performance in just two rack units. Its best-in-class phase noise of less than -124 dBc/Hz (at 10 GHz, 10 kHz offset) and -75 dBc spurious enables module- and system-level testing up to 40 GHz. It also accelerates the calibration of complex systems with best-in-class switching speed of less than 600  $\mu$ s.

The N5173B EXG analog is a cost-effective choice when system creators need to balance budget and performance. Offering the best combination of output power (+20 dBm at 20 GHz) and low harmonics (<-55 dBc), the EXG is well-suited to the characterization of broadband microwave components such as filters and amplifiers. With low-cost coverage to 40 GHz, it also supports continuous-wave (CW) blocking for receiver testing or basic local-oscillator upconversion for point-to-point microwave backhaul links.

To reduce cost of ownership, the MXG and EXG signal generators are designed for reliability and fast, easy calibration, service and repair. The recommended three-year calibration cycle and self-maintenance strategy help reduce support costs and increase instrument uptime.

The PSG continues to set the standard for performance and is the industry's most trusted microwave signal generator, with thousands of units deployed in hundreds of programs around the world. It can produce pure CW tones up to 70 GHz; signals with 1 W (+30 dBm) of power; complex, vector-modulated signals with 2-GHz bandwidth up to 44 GHz; and more. With extremely low phase noise of less than -126 dBc/Hz (10 GHz, 10 kHz offset), the PSG can serve as a reference source in metrology labs.

For more information, go to [www.agilent.com/find/microwaveSigGens](http://www.agilent.com/find/microwaveSigGens). Product photographs can be downloaded from [www.agilent.com/find/MW\\_SG\\_images](http://www.agilent.com/find/MW_SG_images).

# Research of influence of DRM broadcast transmitter nonlinearities onto the output signal parameters

**Keywords:** DRM, Digital Radio Mondiale, broadcast transmitter, nonlinear distortion, MER, out-of-band emissions, spectrum mask.

**Oleg Varlamov,**

Moscow Technical University of Communications and Informatics, senior staff scientist, Ph.D.  
vov@mtuci.ru

## Introduction

Digital Radio Mondiale (DRM) is a new OFDM-based digital radio standard for long-, medium- and short-wave bands [1]. It was designed to use the same frequency allocation as the current broadcast analog systems to offer a high degree of compatibility. DRM also assumes using the same modern AM broadcast transmitters (with PDM or PSM modulator) with minor modifications. Linear (SSB) transmitters also may be used but with lesser efficiency.

In general DRM signal is required more linearity of transmitter than from traditional AM broadcast signal. Nonlinearities in transmitter lead to increase out-of-band emissions in the adjacent channel [2] and degradation of desired signal quality. Specific requirements for PMD transmitters (such as DC offset error, admissible time delay between envelope and phase signals, minimum envelope bandwidth) are described in [3].

The aim of this report is nonlinearity influence research of transmitter on the DRM output signal quality. They apply to both linear and PDM transmitters.

## Choice of analysis procedure

The most often-used measure of performance for digital communication systems is average bit-error rate (BER). BER measurements are complex and long in time process and so it is not comfortable during transmitter tuning process. More comfortable is to use of signal/noise ratio (SNR) measurement.

Products of transmitter nonlinearities is of

Digital Radio Mondiale (DRM) is an OFDM-based digital radio standard for long-, medium- and short-wave bands. Modern AM broadcast transmitters (with PDM or PSM modulator) with minor modifications or linear (SSB) transmitters may be used. Quality of transmitter is described by MER in output signal and accordance of out-of-band emissions spectrum mask. Nonlinearities in transmitter lead to increase out-of-band emissions in the adjacent channel and degradation of desired signal quality. A computer simulation of nonlinearities in transmitter is chosen as a research method of analysis the MER parameter and spectrum of output signal of DRM broadcast transmitter. The analysis procedures have been done as a real time, using real DRM signal, software simulator of nonlinear transmitter and software DRM measuring receiver and spectrum analyzer. Most often-used types of transmitter's AM-AM and AM-PM nonlinearities were simulated. Critical levels for different types of non-linearity were found. Analysis show that influence of nonlinearities on MER is less critical that on output spectrum. Accordance of spectrum mask must be using during transmitter tuning.

Gaussian distribution [4] and it's influence on DRM signal is alike AWGN channel noises. That is why SNR and BER are related. Minimal required SNR levels on receiver input are given in [1]. SNR on transmitter output must be higher on 10-15 dB to eliminate transmitter nonlinearities influence on link budget. So SNR on transmitter output must be greater than 30-35 dB.

International DRM standardization documents using analog of SNR, called Modulation Error Ratio (MER) [5]. This parameter is a single "figure of merit" analysis of the transmitted signal and shall be not less than 30 dB. Also transmitter out-of-band emissions must lie under spectrum mask described at [6]. Russian Federation DRM standardization documents are described in [7].

The bandwidth of a DRM signal is smaller than 20 kHz and the number of carriers used in the OFDM-modulation is relatively small (Max 460). This characteristic motivates to do a real-time software simulation of nonlinear transmitter on a conventional personal computer (PC) with using the soundcard as the input and output device. But more wider bandwidth required for out-of-band emissions observation. So soundcard with 96 kHz sample rate was used.

"DReaM" open source software implementation of DRM receiver [8] with MER measurement function was used as a receiver. PC-based FFT spectrum analyzer with spectrum mask function [9] was used for measurement out-of-band emissions.

Nonlinear transmitter was modeled through the description of their AM/AM and AM/PM characteristics. For that, real DRM signal (reading from file in I/Q format on IF 12 kHz) is converted to polar representation. Then, nonlinearities are added and backward conversion to I/Q format on zero IF is executing. In that way we have DRM signal with transmitter's distortions, which is feeding to spectrum analyzer and receiver for MER measurement.

## Simulation

Most often-used types of transmitter nonlinearities were simulated.

For AM-AM distortion it was:

- cutoff:  $y(x) = \begin{cases} x \cdot (1+a) - a, & \text{when } x > a/(1+a) \\ 0, & \text{when } x \leq a/(1+a) \end{cases}$ ;
- quadratic nonlinearity:  $y(x) = ax^2 + x$ ;
- cubic nonlinearity:  $y(x) = ax^3 + x$ ;
- S-type nonlinearity:  $y(x) = ax^3 + bx^2 + x$ , when  $a < 0, b > 0$ ;

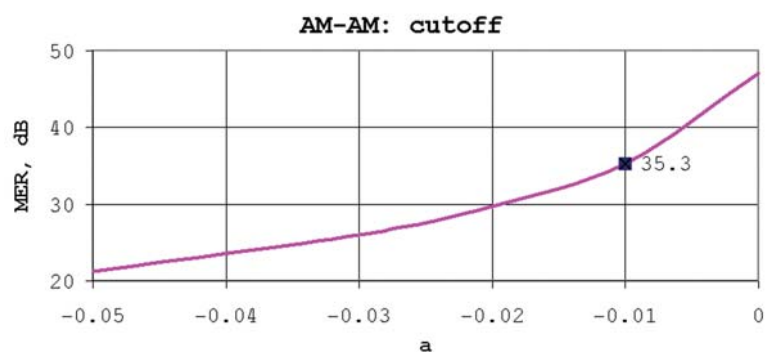


Fig. 1. AM-AM distortion: cutoff

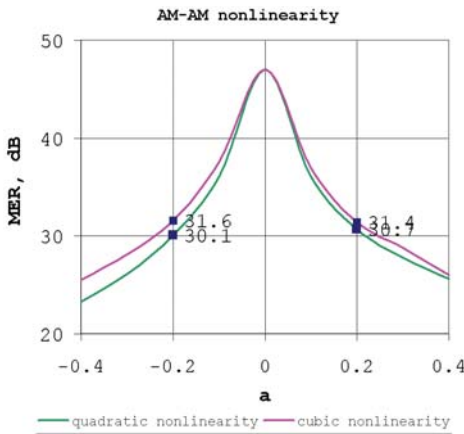


Fig. 2. AM-AM distortion: quadratic and cubic nonlinearity

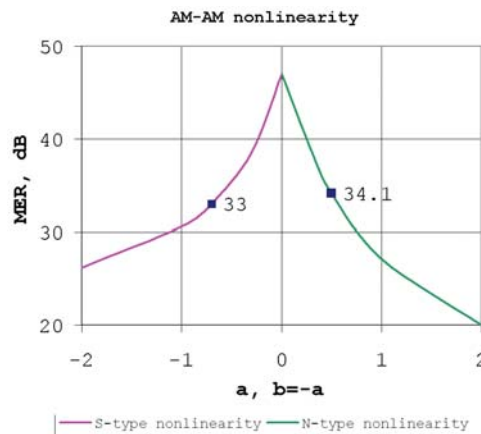


Fig. 3. AM-AM distortion: S-type and N-type nonlinearity

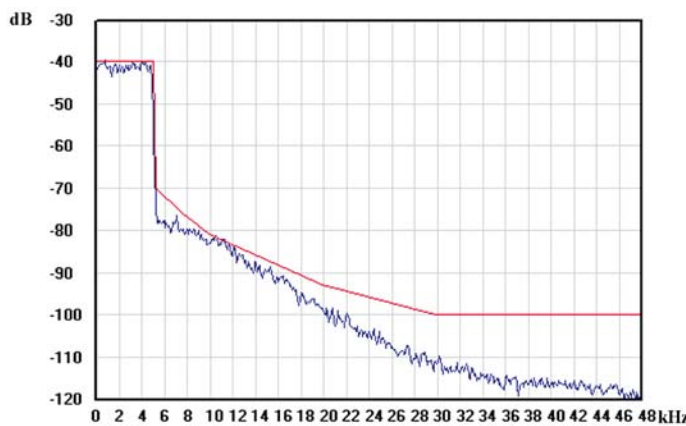


Fig. 4. Example of simulated output spectrum with critical mask compliance for S-type nonlinearity with  $a = -0,7$

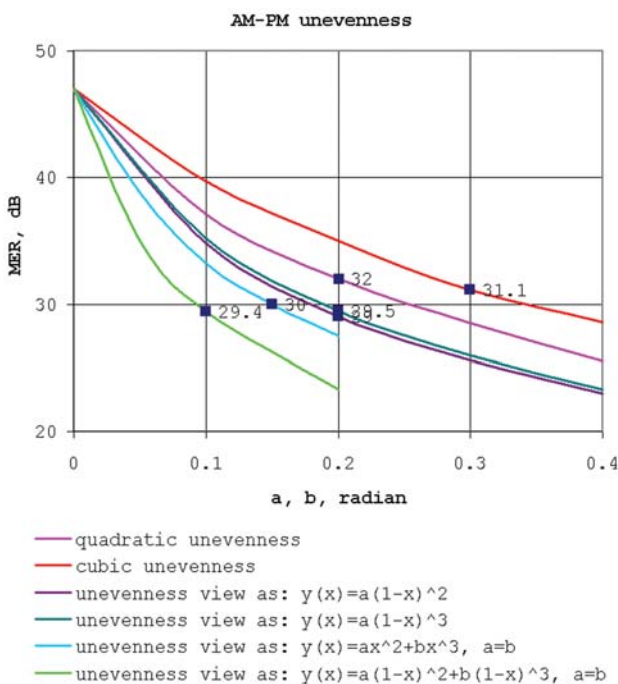


Fig. 5. AM-PM distortion

• N-type nonlinearity:  $y(x) = ax^3 + bx^2 + x$ , when  $a > 0, b < 0$ , where  $a$  and  $b$  are parameters, variable during simulation. Graphical representations of simulation results for AM-AM distortion are shown on Fig. 1-3 respectively. Example of simulated output spectrum with critical mask compliance for S-type nonlinearity with  $a = -0,7$  is shown on Fig. 4.

Critical values of parameters  $a$  and  $b$  for accordance of DRM out-of-band emissions spectrum mask are shown on all Figures as a blue labeled points.

For AM-PM distortion it was:

- quadratic unevenness:  $y(x) = ax^2$ ;
- cubic unevenness:  $y(x) = ax^3$ ;
- unevenness view as:  $y(x) = a(1-x)^2$ ;
- unevenness view as:  $y(x) = a(1-x)^3$ ;

- unevenness view as:  $y(x) = ax^2 + bx^3$ ;
- unevenness view as:  $y(x) = a(1-x)^2 + b(1-x)^3$ .

Graphical representations of simulation results for AM-AP distortion are shown on Fig. 5.

Comparison of these two criteria (MER and accordance of DRM spectrum mask) show, that influence of transmitter nonlinearities on output spectrum is more critical. That is why, accordance of ITU spectrum mask must be used as a criteria during transmitter tuning. In that case MER on transmitter output will be sufficiently high (around 30 dB) automatically.

In general, DRM signal is more sensitive to distortion at low amplitude.

**Conclusions**

A computer simulation of nonlinearities in transmitter on MER and DRM out-of-band emissions spectrum mask in broadcast DRM transmitter output signal was done. Critical levels for different types of non-linearity were found. Analysis show that influence of nonlinearities on MER is less critical that on output spectrum. Accordance of spectrum mask must be using during transmitter tuning.

**References**

1. ETSI ES 201 980 V3.1.1 (2009-08) Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification.
2. Rec. ITU-R SM.328-10. Spectra and bandwidth of emissions.
3. DRM Introduction and Implementation Guide. Revision 2. September 2013. <http://www.drm.org/wp-content/uploads/2013/09/DRM-guide-artwork-9-2013-1.pdf>, date of access 31.01.2013.
4. Chris van den Bos, Michiel H. L. Kouwenhoven, Wouter A. Serdijn "Effect of Smooth Nonlinear Distortion on OFDM Symbol Error Rate", IEEE Transactions on communications, Vol. 49, No. 9, pp. 1510 - 1514, Sep. 2001.
5. ETSI EN 302 245-1 V1.1.1 (2005-01) Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Digital Radio Mondiale (DRM) broadcasting service; Part 1: Technical characteristics and test methods.
6. ETSI EN 302 245-2 V1.1.1 (2005-01) Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Digital Radio Mondiale (DRM) broadcasting service; Part 2: Harmonized EN under article 3.2 of the R&TTE Directive.
7. Oleg Varlamov "Development of national regulatory framework for DRM digital broadcasting" / T-Comm — Telecommunications and Transport, 2013. No9. pp. 47-50.
8. DReaM receiver download page on Sourceforge: <http://sourceforge.net/projects/drm/>, date of access 31.01.2013.
9. Oleg Varlamov, Viktor Gromorushkin, Valeri Lavrushenkov, Igor Chugunov "Generator of test signals for measuring characteristics of EER SSB switching power amplifiers" / T-Comm — Telecommunications and Transport, 2011. No 9. pp. 47-49.