

УДК 621.373-187.4; 621.39.072.9

Федорова Н. В., к.т.н.

(Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев. +380 (44) 249 25 88. Natasha_f@ukr.net)

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ В СЕТЯХ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

Федорова Н. В. Вимірювання параметрів сигналів синхронізації в мережах з комутацією пакетів.

Визначено три показника оцінки якості сигналів синхронізації: TIE (Time Interval Error), MTIE (Maximum Time Interval Error) та TDEV (Time Deviation). Розглянуто актуальні задачі: проведення вимірювань параметрів мережі синхронізації в IP/MPLS-мережі та здійснення контролю параметрів мережі синхронізації в режимі реального часу. Представлено результати лінійних випробувань показників нестабільності сигналу синхронізації на ділянці PTP (Precision Time Protocol) та на ділянці NTP (Network Time Protocol). Розглянуто основні принципи створення системи моніторингу для сигналів синхронізації. Визначений ще один параметр, який оцінює якість синхронізації – девіація затримки пакетів (Packet DelayVariation — PDV).

Ключові слова: мережа з комутацією пакетів, мережа IP/MPLS, синхронізація, вимірювання, моніторинг, часовий інтервал, затримка пакетів, девіація, TDEV, PDV, TIE, MTIE

Федорова Н. В. Измерение параметров сигналов синхронизации в сетях с коммутацией пакетов.

Определены три показателя оценки качества сигналов синхронизации: TIE (Time Interval Error), MTIE (Maximum Time Interval Error) и TDEV (Time Deviation). Рассмотрены актуальные задачи: проведение измерений параметров сети синхронизации в IP/MPLS-сети и осуществление контроля параметров сети синхронизации в режиме реального времени. Представлены результаты линейных испытаний показателей нестабильности сигнала синхронизации на участке PTP (Precision Time Protocol) и на участке NTP (Network Time Protocol). Рассмотрены основные принципы создания системы мониторинга для сигналов синхронизации. Определен еще один параметр, оценивающий качество синхронизации – девіація задержки пакетов (Packet DelayVariation — PDV).

Ключевые слова: сеть с коммутацией пакетов, сеть IP/MPLS, синхронизация, измерение, мониторинг, временной интервал, задержка пакетов, девіація, TDEV, PDV, TIE, MTIE

Fedorova N. V. Measurement of synchronization signals parameters in the packet data networks. The article specifies three objectives for the estimation of synchronization signals quality, namely: TIE (Time Interval Error), MTIE (Maximum Time Interval Error) and TDEV (Time Deviation). It addresses the actual tasks such as carrying out of synchronization network parameters measurements within the IP/MPLS-networks and a real-time monitoring of the synchronization network parameters. It also provides the line (full-scale) test results for the timing signal instability factors within the of PTP (Precision Time Protocol) and NTP (Network Time Protocol) areas. The basic principles of creation of the synchronization signals monitoring system are considered. It is specified one additional parameter such as PDV (Packet Delay Variation) which can be used for the synchronization quality evaluation.

Keywords: packet data networks, IP/MPLS network, synchronization, measurement, monitoring, time interval, packet delay, deviation, TDEV, PDV, TIE, MTIE

Введение. Решение вопросов синхронизации жизненно необходимо для современных транспортных сетей IP/MPLS [1...4]. Поэтому современной тенденцией в развитии первичной сети является повышение роли сети синхронизации и эта тенденция сохранится в ближайшем будущем [5]. Более того, проблемы синхронизации не ограничиваются только первичной сетью, но имеют важное значение при построении сетей доступа с учетом различных технологий и протоколов, реализованных в конкретной IP/MPLS-сети [1, 2, 5].

Необходимым условием решения проблем синхронизации на сетях электросвязи является измерение параметров опорных сигналов и оценка их нестабильности.

Целью статьи является решение актуальных вопросов построения телекоммуникационных сетей, таких как, проведение измерений параметров сети синхронизации в IP/MPLS-сети, а также осуществление контроля параметров сети синхронизации в режиме реального времени, что, в свою очередь, даст возможность оперативно реагировать на нештатные ситуации в сети.

Постановка задачи. В настоящее время на сетях операторов связи разворачивается все больше сегментов сети, которые взаимодействуют исключительно по транспорту сети IP/MPLS. Однако, при увеличении количества устройств (например, базовых станций (БС) мобильной связи) проблемы синхронизации уже не могут быть рассмотрены в частном порядке и должны рассматриваться системно. С этим связана определенная локальная

революция в подходе - появление определенной “критической массы” потребителей сигналов синхронизации на IP/MPLS-сети приводит к необходимости рассматривать систему синхронизации как отдельную составную часть системы электросвязи [6].

С дальнейшим увеличением количества цифровых устройств начинают меняться концепции построения сети синхронизации и принципы управления нею [7]. Такой системный подход могут обеспечить измерения параметров сигнала синхронизации.

Именно поэтому, данная статья посвящена решению достаточно актуальных на сегодняшний день задач, таких как: *проведение измерений* параметров сети синхронизации в IP/MPLS-сети; *осуществление контроля* параметров сети синхронизации в режиме реального времени.

Показатели качества систем синхронизации. В [8, 9] основными критериями оценки качества сигналов синхронизации определены три показателя: TIE (Time Interval Error), MTIE (Maximum Time Interval Error) и TDEV (Time Deviation). Но непосредственно измеряется только функция ошибки временного интервала TIE.

Показатель TIE – разность между измеренным значением временного интервала, производимого задающим генератором, и измеренным значением того же самого временного интервала, производимого эталонным задающим генератором.

Показатель MTIE – максимальное значение размаха изменения задержки данного сигнала тактовой синхронизации по отношению к идеальному сигналу тактовой синхронизации в течение времени наблюдения для всех значений времени наблюдения, длительность которых находится в пределах периода измерения.

Показатель TDEV – может также обеспечивать информацией о спектральных составляющих фазового (или временного) шума сигнала.

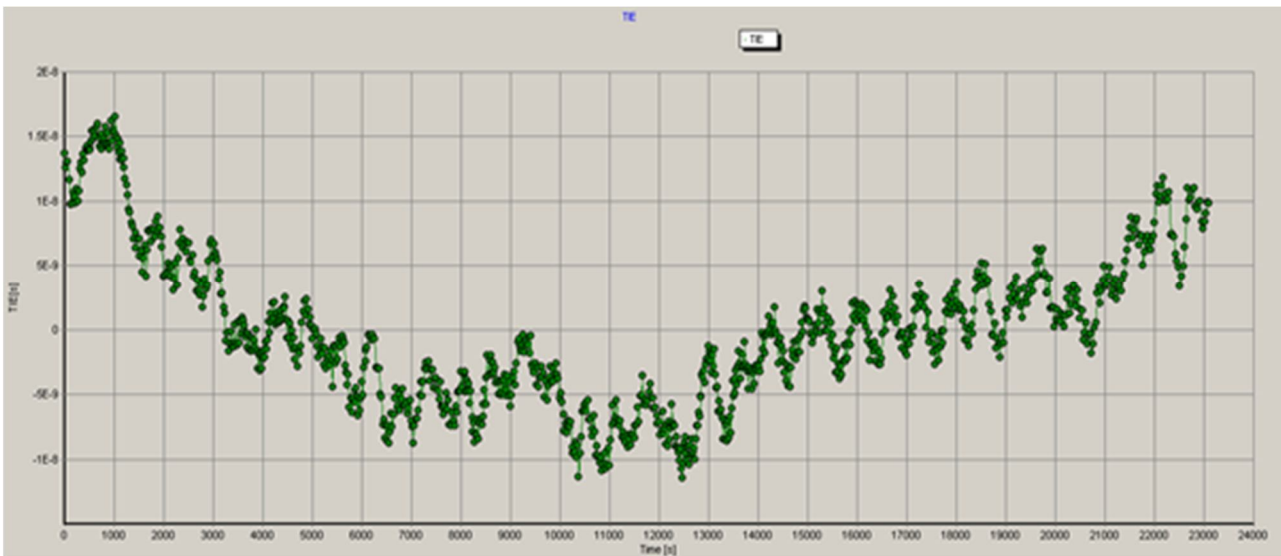
На основе полученного массива значений TIE можно произвести расчет максимальной ошибки временного интервала (MTIE). Показатель MTIE позволяет обнаруживать скачки фазы в сигнале синхронизации, так как по определению равен размаху изменений фазы в течение определенного периода времени. Однако из-за своей чувствительности к скачкам фазы он неадекватен для оценки “фонового” шума сигнала синхронизации.

Кроме того, производится расчет девиации интервала TDEV: измеренное значение ожидаемого изменения временного интервала сигнала, как функция времени интеграции [6]. Показатель TDEV позволяет оценить средний квадрат мощности, поэтому при вычислении TDEV скачки фазы в сигнале синхронизации скрадываются и фактически получают оценку “фонового” шума сигнала синхронизации [5]. В работах [2, 9, 10] показано, что измерения можно проводить как на цифровых портах оконечного оборудования (на трибутарном потоке E1), так и непосредственно на Ethernet-порту (для этого в последнее время были разработаны специализированные приборы STA-61 (Spectracom) и Paragon-m (Oscilloquartz)).

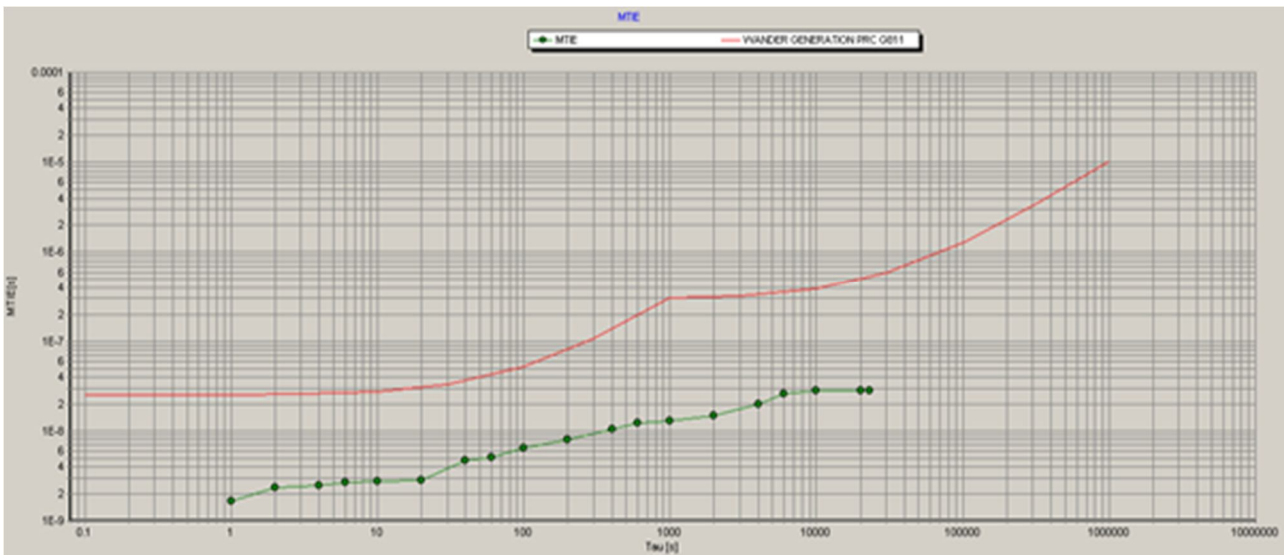
Пример измерений параметров сети синхронизации в IP/MPLS-сети. Измерения параметров стабильности частоты выполнены на сети IP/MPLS на уровне PE (Provider Edge) маршрутизатора с тремя переприемами для синхронизации БС мобильной связи, подключаемой по IP-интерфейсам. В качестве опорной частоты для сети IP/MPLS использовался сигнал сети синхронизации, транслируемый по сети SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Источниками сигнала синхронизации являются распределенные по сети цезиевые генераторы и GPS-приемники. С уровня PE сигнал может распределяться на нижние уровни (например, на уровень Р) и, соответственно, может быть использован для синхронизации БС.

Результаты линейных испытаний на участке РТР (Precision Time Protocol) для уровня агрегации приведены на Рис. 1. Маска согласно Rec. ITU-T G.811 (уровень первичного источника сети синхронизации) для параметров MTIE и TDEV приведена соответственно на Рис.1 б, в. Значения MTIE и TDEV были вычислены из непосредственно полученного результата измерения ошибки временного интервала (TIE) – Рис.1 а).

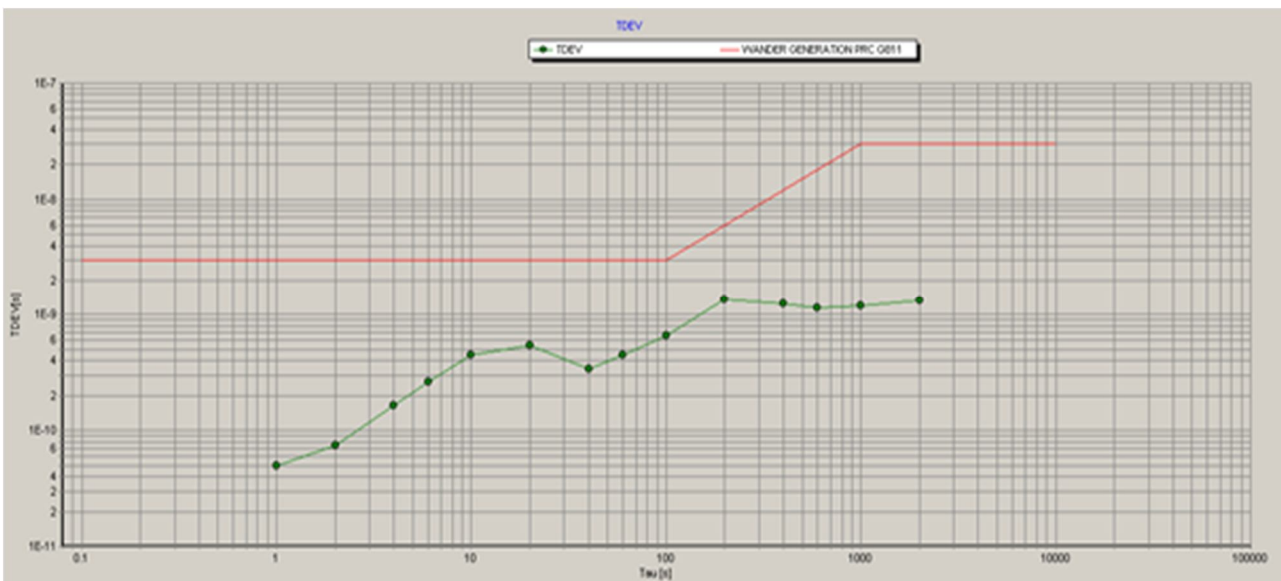
Сигнал пригоден для БС, так как его стабильность выше, чем $5 \cdot 10^{-8}$ за сутки [2]. Вопрос синхронизации БС мобильной связи является наиболее актуальным в настоящий момент в аспекте синхронизации пакетных сетей.



а)



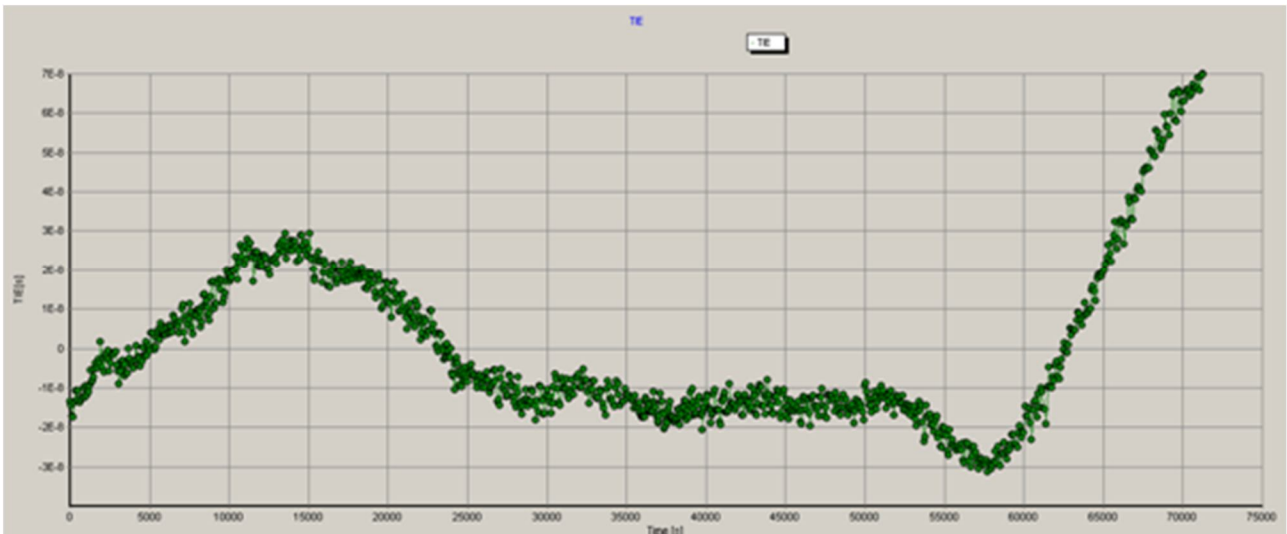
б)



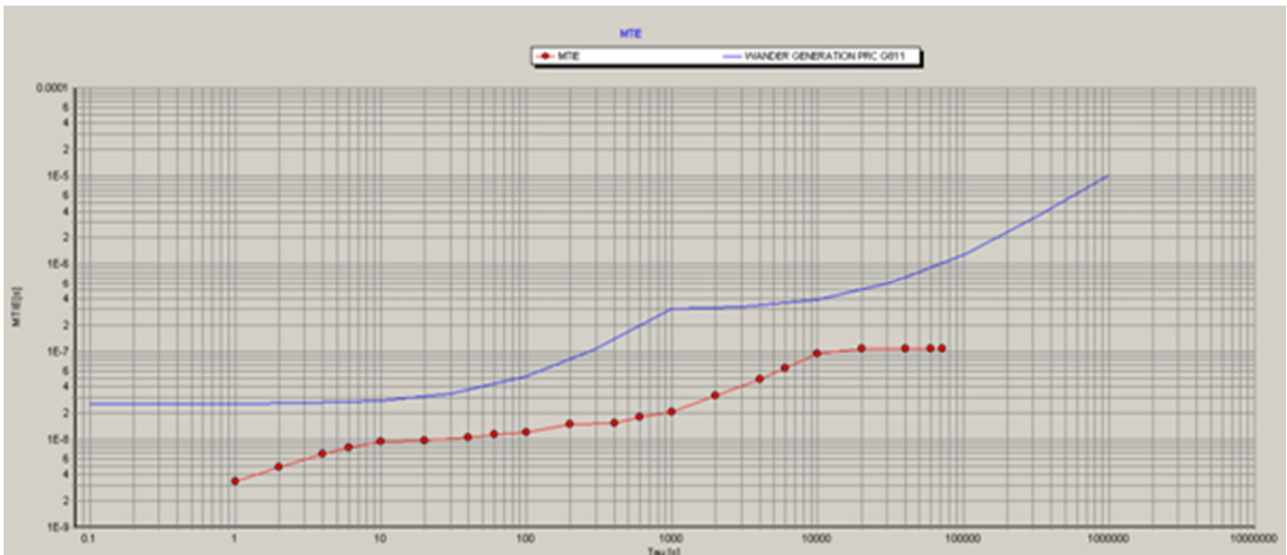
с)

Рис. 1. Измерение параметров стабильности на участке РТР:
 а) ошибка временного интервала (TIE); б) максимальная ошибка временного интервала (MTIE);
 с) девиация времени (TDEV)

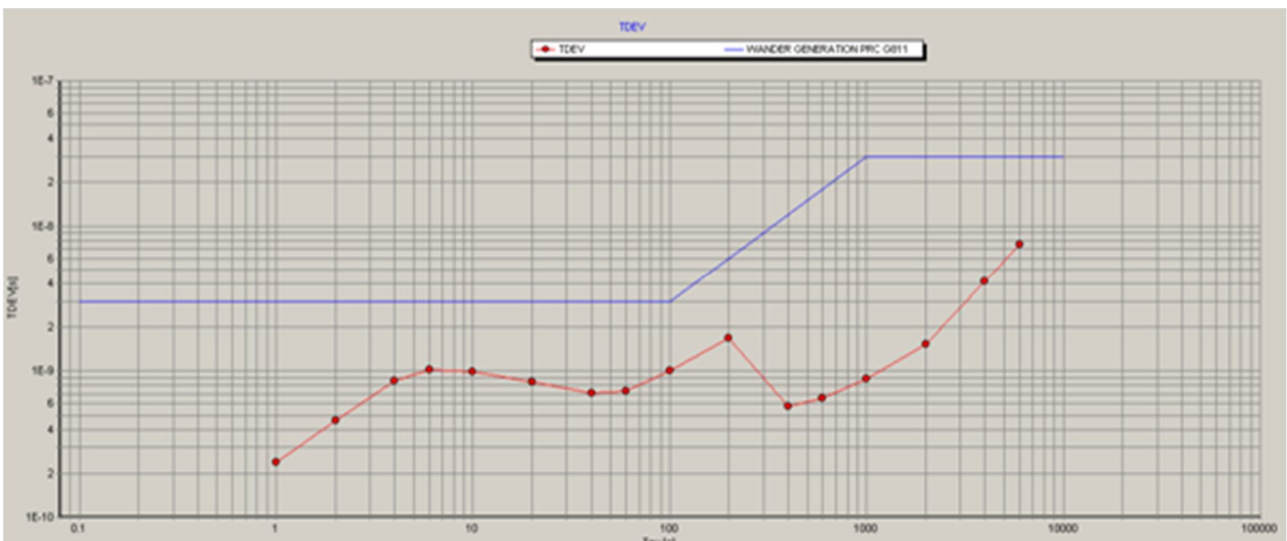
Результаты линейных испытаний на NTP (Network Time Protocol) для уровня сети доступа, т.е. на самом уровне БС) представлены на Рис. 2.



а)



б)



в)

Рис. 2. Измерение параметров стабильности на участке NTP: а) ошибка временного интервала (TIE); б) максимальная ошибка временного интервала (MTIE); в) девиация времени (TDEV)

Строго говоря, ядро сети и уровень агрегации не нуждается в синхронизации как таковой. Но в процессе внедрения сети IP/MPLS и при постепенном развертывании большого количества БС с IP-интерфейсами на больших сетях может возникнуть проблема синхронизации старых базовых станций с остающимися островами традиционной транспортной сети TDM (Time Division Multiplexing). Таким образом, возможна передача сигнала синхронизации от "облака" IP/MPLS на отдельные участки SDH, а также непосредственно на сами базовые станции посредством организации отдельных потоков E1. Примечательно, что в таком случае трафик и сигнальная информация могут передаваться аналогичным образом, – это дает возможность минимизировать временные и материальные затраты при реализации перехода на пакетные сети и более гибко организовать сам процесс модернизации (или замены) БС IP-интерфейсами.

В процессе развертывания и эксплуатации сети синхронизации на транспортной сети IP/MPLS возникает необходимость в создании системы мониторинга сигналов синхронизации. Эта система не должна зависеть от количества поставщиков оборудования и количества источников сигнала синхронизации. Предлагается постоянно проводить измерение значений ТПЕ для сигналов от нескольких первичных источников относительно друг друга и на основе постепенно накапливаемых данных вычислять значения МТПЕ и TDEV в заранее определенные промежутки времени.

Число сравниваемых сигналов должно быть не менее трех, что даст возможность по мажоритарному правилу определить аварийный сигнал. Для этих целей создаются аппаратно-программные измерительные комплексы, которые являются основой системы мониторинга.

Измерителями в данном случае могут быть упомянутые выше измерительные приборы нового поколения, которые устанавливаются на сети стационарно.

В отличие от синхронизации цифровой классической сети, места контрольных измерительных точек на IP/MPLS-сети могут варьироваться более свободно, что обусловлено гибкостью конфигурации по IP [1, 2].

Таким образом, на основе постоянного мониторинга можно принять решение о том, какой из трех сигналов вышел за нормы, которые определены масками Рекомендации ITU-T G.811 [11]. Для вычислений МТПЕ и TDEV необходимо накопить массивы данных ТПЕ и затем в определенные интервалы времени производится выдача результата.

Следует также определить еще один параметр, оценивающий качество синхронизации. Девиация задержки пакетов (Packet Delay Variation – PDV): характеризует уровень загрузки IP/MPLS-сети в зависимости от задержки пакетов.

В классической цифровой сети этот параметр отсутствует в силу ее природы. PDV не должен превышать 50 мс, в противном случае параметры стабильности сигналов синхронизации выйдут за нормы, которые определены масками Rec. ITU-T G.811 [11]. Этот факт подтверждается измерениями МТПЕ и TDEV на пилотном участке сети синхронизации в IP/MPLS-сети.

Параметр PDV измеряется специализированными приборами STA-61 (Spectracom) и Paragon-m (Oscilloquartz) и может представлять собой эксплуатационный параметр в проектируемой системе мониторинга сети синхронизации в транспортной IP/MPLS-сети.

Выводы.

1. При увеличении количества устройств, проблемы синхронизации не могут быть рассмотрены в частном порядке и должны рассматриваться системно, т.е. появление определенной “критической массы” потребителей сигналов синхронизации на IP/MPLS-сети приводит к необходимости рассматривать систему синхронизации как отдельную составную часть системы электросвязи.

2. Так, где при увеличении количества цифровых устройств начинают меняться концепции построения сети синхронизации и принципы управления нею. Такой системный подход могут обеспечить измерения параметров сигнала синхронизации.

3. Критериями оценки качества сигналов синхронизации являются три показателя – TIE, MTIE и TDEV. В статье представлены результаты практических измерений. Также установлена зависимость качества синхронизации от уровня загрузки сети по показателю PDV.

4. В статье рассмотрены вопросы создания системы мониторинга сети синхронизации, реализованной в транспортной IP/MPLS-сети. Эта система не должна зависеть от количества поставщиков оборудования и количества источников сигнала синхронизации. Наличие полноценной системы мониторинга даст возможность оперативно реагировать на нештатные ситуации, возникающие на сети.

Литература

1. Вакась В. И. Синхронизация базовых станций при внедрении технологий IP-сетей / В. И. Вакась, И. П. Черняк // 21-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011). Материалы конф. (Севастополь, 12-16 сент. 2011 г.). – Севастополь: Вебер, 2011, С. 374-375.

2. Вакась В. И. Методы обеспечения синхронизацией базовых станций от разных иерархических уровней сети с коммутацией пакетов / В. И. Вакась, Н. В. Федорова // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2012 р. – Т.10, №4. – С. 91-96.

3. Бойченко О. В. До питання надійної передачі інформації в системах реального масштабу часу / О. В. Бойченко, Я. І. Торошанко, О. С. Торошанко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2010 р. – № 4(16). – С. 56-63.

4. Торошанко Я. І. Виправлення помилок циклової синхронізації в мультимедійних системах / Я. І. Торошанко, В. П. Грушевська // Матер. VI міжнарод. научно-техн. симпозиума «Новые технологии в телекоммуникациях 99», 21-25 января 2013, Вышков. – С. 99-100.

5. Mills D. L. Computer network time synchronization: the network time protocol. – CRC Press, 2006. – 304 p.

6. Алексеев Ю. А. Требования к построению системы тактовой синхронизации на сети связи общего пользования России / Ю. А. Алексеев, М. Н. Колтунов // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2008 р. – № 2(4). – С. 32-37.

7. Лісковський І. О. Узагальнюючий алгоритм аналізу працездатності фрагмента мережі тактової синхронізації довільної топології І. О. Лісковський // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2013 р. – № 3(27). – С. 41-47.

8. Definitions and terminology for synchronization networks // Recommendation ITU-T G.810. – 1996.

9. Шкляревский И. Измерение параметров синхронизации в цифровых телекоммуникационных сетях / Игорь Шкляревский // Глобальные сети и Интернет. – 2001. – №5-6(19). – С. 8-12.

10. Беркман Л. Н. Підвищення надійності функціонування мережі тактової синхронізації / Л. Н. Беркман, І. О. Лісковський // Матеріали IV Міжнародного науково-технічного симпозиуму «Нові технології в телекомунікаціях». – К.: ДУІКТ, 2011. – С.72-75.

11. Timing characteristics of primary reference clocks // Recommendation ITU-T G.811. – 1997.