

УДК 621.373-187.4; 621.39.072.9

Модификация параметров стабильности сигналов синхронизации при переходе на пакетные сети

Н.В. ФЕДОРОВА,

д. т. н., профессор кафедры телекоммуникационных технологий

О.А. ИЛЬИН,

д. т. н., доцент, профессор кафедры компьютерных наук

ЕЛИССАВИ КАМАЛ КХАЛИФА А.,

аспирант

Государственный университет телекоммуникаций

А.А. МАНЬКО,д. т. н., профессор, член IEEE,
профессор кафедры телекоммуникации

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

В.И. ВАКАСЬ,

к. т. н., член IEEE, ведущий инженер АО «Киевстар»

В статье рассмотрены эволюционный путь, который привел к модификации параметров стабильности сигналов синхронизации при переходе на пакетные сети, основные параметры стабильности сигналов синхронизации и методы их измерений в пакетных сетях. Представлены результаты измерений на «реальной» сети. В данной работе предложена схема из трех RTP-серверов, не содержащая механизма переключения на резерв. Разработан метод взаимного мониторинга распределенных первичных устройств синхронизации с целью их эффективного применения при условии комбинированного использования встроенных и выделенных сетей синхронизации.

Ключевые слова:

синхронизация, сигналы синхронизации, пакетные сети, параметры стабильности сигналов синхронизации, измерение параметров стабильности.

Введение. Проведение измерений параметров стабильности сигналов синхронизации является неотъемлемой частью мониторинга существующих сетей синхронизации. Это правило также справедливо и при переходе на пакетные сети. Традиционные параметры стабильности сигналов синхронизации претерпели дальнейшее развитие при оценке на IP-сетях.

Эволюции параметров стабильности сигналов синхронизации, измерениям и дальнейшей обработке данных параметров и посвящена эта статья.

Постановка проблемы. Переход от TDM к пакетной среде. На TDM-сетях непосредственно измеряется только функция ошибки временного интервала (Time Interval Error, TIE): разность между измеренным значением временного интервала, производимого задающим генератором, и измеренным значением того же самого временного интервала, производимого эталонным задающим генератором. Затем на основе полученного массива TIE можно провести расчет максимальной ошибки временного интервала (Maximum Time Interval Error, 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. Кроме того, производится расчет девиации временного интервала (Time Deviation, TDEV): измеренное значение ожидаемого изменения временного интервала сигнала как функция времени интеграции. TDEV может также обеспечивать информацией о спектральных составляющих фазового (или временного) шума сигнала.

Таким образом, критерием оценки качества сигналов синхронизации TDM-сети определены два показателя – MTIE и TDEV [1, 2].

В монографии [3] были представлены протоколы, позволяющие организовать опорную частоту в пакетной среде передачи. Встал вопрос – как оценить стабильность такой опорной частоты? В силу наличия новой среды передачи и новых технологических протоколов были разработаны соответствующие измеряемые параметры стабильности сигналов синхронизации [4], позволяющие оценить качество стабильности в пакетной среде.

Измерения в пакетной среде основаны на вычислении всех данных, необходимых не только для оценки точности сличения времени и оценки стабильности частоты, но и для оценки таких параметров сети, как двусторонняя и односторонняя задержки пакетов, а также девиации задержки пакетов PDV (Packet Delay Variation) [5]. Аппаратное проставление меток времени обеспечивает наносекундную точность. Характеристики сети оценивают по показателям TDEV и минимальному отклонению времени пакетов (packet MinTDEV), вычисленным на основе результатов измерения PDV по меткам времени пакетов относительно местного (опорного) времени. Измерения PDV также представляют собой восстановление тактовой частоты по Рекомендации G.8261.1 [6]. После завершения измерений массива данных PDV производится вычисление эксплуатационных показателей качества MTIE/TDEV/MAFE/FPP/FPC. В настоящее время нет полного понимания четкого эксплуатационного перечня этих параметров (в отличие от классической сети синхронизации – TIE/MTIE/TDEV) [1, 5]. Однако на данный момент параметр MAFE можно считать основным для определения качества сигнала синхронизации в пакетной сети [1, 4].

При внедрении новых технологий, в частности LTE, не теряют своей актуальности вопросы, относящиеся к разделу частотно-временного обеспечения сеансов связи, а также проблемы согласования шкал местных хранителей точного времени в территориально разнесенной инфраструктуре электросвязи. В условиях активного перехода от одних технологий к сетям следующего поколения перед специалистами все чаще встают вопросы синхронизации, т. к. точное следование всемирному универсальному времени в конечном счете приводит к повышению доступности и качества предоставляемых услуг.

В процессе построения сети синхронизации РТР выявлены следующие факторы, которые обеспечивают качество и надежность данной сети: планирование размещения РТР-серверов, обеспечение

необходимого резервирования (как на аппаратном уровне РТР-сервера, так и на сетевом), а также проведение мониторинга параметров стабильности по IP [1] посредством измерений.

Вклад Антти Пиетилайнена (NSN) в разработку показателей стабильности для сетей мобильной связи стандарта 3G – параметр MAFE. Удачная попытка приспособить метрологию синхронизации к пакетным сетям предпринята ведущим специалистом NSN Антти Пиетилайненом (Antti Pietilainen) на международном форуме ITSF (International Timing & Sync Forum) в 2011 г. Он рассуждал так: MTIE легко представить как функцию окна шириной τ_0 , скользящего вдоль графика TIE(t), для того чтобы определить в этом окне максимум TIE(τ_0), т. е. размах отклонения фазы измеряемого сигнала от фазы опорного сигнала. Относительная частота y на интервале наблюдения $\tau = \tau_0$ равна отношению:

$$y = \frac{\Delta X}{\tau} \quad (1)$$

и если каждую точку графика MTIE(τ) (диаграмма А на рис. 1) разделить на соответствующую

$$\text{абсциссу } \tau \quad \frac{MTIE(\tau)}{\tau} = \frac{MTIE}{\tau}(\tau) = \frac{\Delta f}{f}(\tau) \quad (2)$$

то получим диаграмму В на рис. 1, где по оси ординат отложены значения относительной частоты. Эти преобразования привели к переходу от показателя стабильности фазы к показателю стабильности частоты – именно она интересует операторов в радиосегменте мобильной связи и, в соответствии со стандартами 2G и 3G, должна быть не хуже 50×10^{-9} [7]. На основании «потолочного правила» из соображений здравого смысла решили, что по наземным линиям связи лучше подводить к базовой станции тактовый сигнал со стабильностью не хуже 16×10^{-9} . На диаграмме А этот предел показан в виде наклонной линии, а на диаграмме В – в виде прямой, параллельной оси абсцисс.

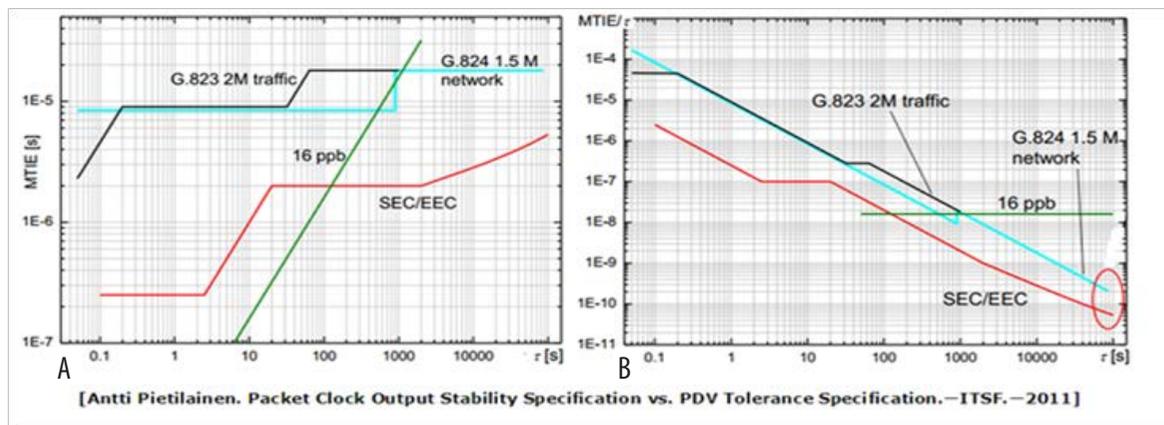


Рисунок 1 – Пределы стабильности для базовых станций мобильной связи 3G

Затем Пиетилайнен отметил, что популярный в сети синхронизации SDH показатель МТІЕ по своей природе вычислений – хороший обнаружитель «самых плохих» отсчетов на многочасовом интервале измерений (скачков и выбросов) без какого-либо усреднения. В практике эксплуатации сетей такие выбросы – явление неизбежное, и один случайный выброс может скомпрометировать многочасовой сеанс измерений. Для того чтобы получить истинную картину стабильности сигналов синхронизации, обслуживающему персоналу приходится выбирать один из двух вариантов:

- провести достаточное (из соображений достоверности) количество повторных длительных измерений в одной и той же контрольной точке с последующей статистической обработкой результатов;
- по собственному усмотрению исключить «незаконные» скачки и выбросы из массива ТІЕ, прежде чем вычислять МТІЕ.

В пакетных сетях, когда исходными данными для вычисления служит PDV (с размахом отклонения до десятков мс), применять показатель МТІЕ более проблематично, чем в сетях SDH (с выбросами ТІЕ до десятков нс). Более того, невозможно прямо сопоставить МТІЕ на входе РТР-клиента (базовой станции) со стабильностью тактового сигнала на выходе этого клиента [7].

Для того чтобы повысить адекватность показателя нестабильности в пакетных сетях, Пиетилайнен предложил третий вариант усреднения данных МТІЕ в виде максимальной средней погрешности временного интервала (Maximum Average Time Interval Error, МАТІЕ):

$$MATIE(n\tau_0) = \max_{1 \leq k \leq N-2n+1} \frac{1}{n} \left[\sum_{i=k}^{n+k-1} (x_{i+n} - x_i) \right], \quad (3)$$

где x_i – последовательность погрешности времени в пакетах, $n\tau_0 = \tau$ – ширина окна наблюдения, $n = 1, 2, \dots$, integer part ($N/2$) – число отсчетов в окне, τ_0 – интервал дискретизации, N – число отсчетов в массиве данных измерения и k – шаг скольжения окна. Если сравнить МАТІЕ($n\tau_0$) с МТІЕ($n\tau_0$):

$$MATIE(n\tau_0) = \max_{1 \leq k \leq N-n} \left(\max_{k \leq i \leq k+n} x(i) - \min_{k \leq i \leq k+n} x(i) \right), \quad (4)$$

то можно сказать, что МТІЕ($n\tau_0$) – это обнаружитель размаха погрешности времени на указанном интервале наблюдения для всего массива данных измерения, а МАТІЕ($n\tau_0$) – обнаружитель максимального среднего значения отсчетов погрешности времени на указанном интервале наблюдения. Усреднение эквивалентно низкочастотной фильтрации скачков и выбросов. Если вспомнить, что интервал наблюдения и частота Фурье f связаны соотношением $\tau = 1/\pi f$, то ясно,

что МАТІЕ($n\tau_0$) дает спектральный состав фазовых шумов измеренной последовательности отсчетов PDV. А теперь, если применить к МАТІЕ($n\tau_0$) преобразование, показанное на рис.1, 5, получим спектральный состав частотных шумов в виде максимальной средней погрешности относительной частоты МАФЕ($n\tau_0$):

$$\frac{MATIE(n\tau_0)}{\tau} = MAFE(n\tau_0), \quad (5)$$

Показатель МАФЕ($n\tau_0$), Maximum Average Frequency Error, рассчитанный по массиву данных измерения пакетов РТР на входе клиента РТР базовой станции, интересен тем, что его можно сопоставить с нестабильностью тактовой частоты на выходе ФАП клиента РТР базовой станции. Это значит, что по поведению МАФЕ($n\tau_0$) на входе клиента РТР можно судить о соответствии сети радиодоступа требованию к синхронизации – относительная частота в радиосегменте должна быть не хуже 50×10^{-9} .

На рис. 2 показан пример расчета в сопоставлении с двумя шаблонами, которые предложила компания NSN, автор – Пиетилайнен.

Шаблон NSN HRM-1 предназначен для применения на входе клиента РТР, т. е. на выходе модели 1 гипотетического образцового тракта пакетной сети (Hypothetical Reference Model 1, HRM-1), который изображен на рис. 3, а NSN HRM-2 – для HRM-2 (рис. 4).

По этим шаблонам оценивают вычисленный из массива PDV параметр МАФЕ. На сегодняшний день параметр МАФЕ, наложенный на шаблоны HRM-1 и HRM-2, является самым адекватным параметром оценки показателей стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях [8, 9].

Следует отметить, что предложенные Пиетилайненом показатели были приняты в перечень показателей стабильности сигналов синхронизации пакетных сетей в Дополнении I Рекомендации ИТУ-Т G.8261.1 (02/12) [6]. И хотя шаблоны HRM-1 и HRM-2 в ИТУ-Т

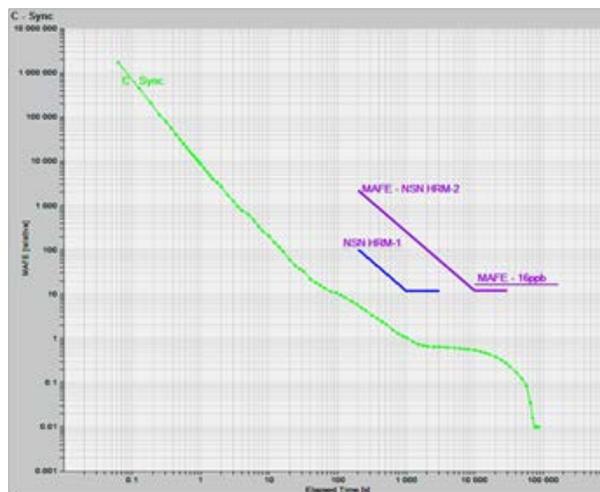


Рисунок 2 – Шаблоны HRM-1 и HRM-2 для параметра МАФЕ

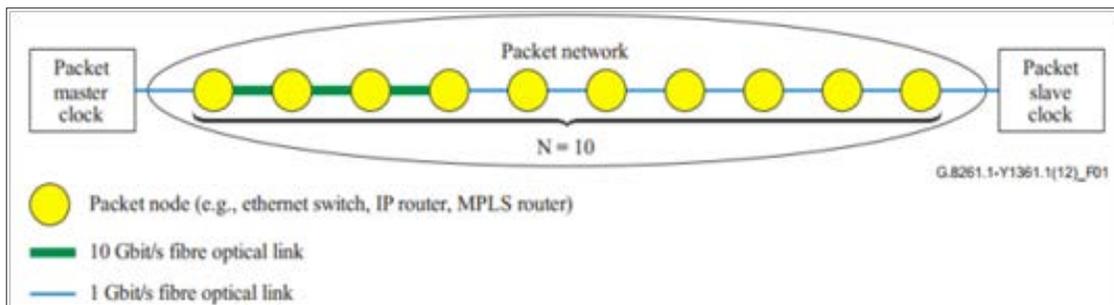


Рисунок 3 – Пакетный тракт для HRM-1

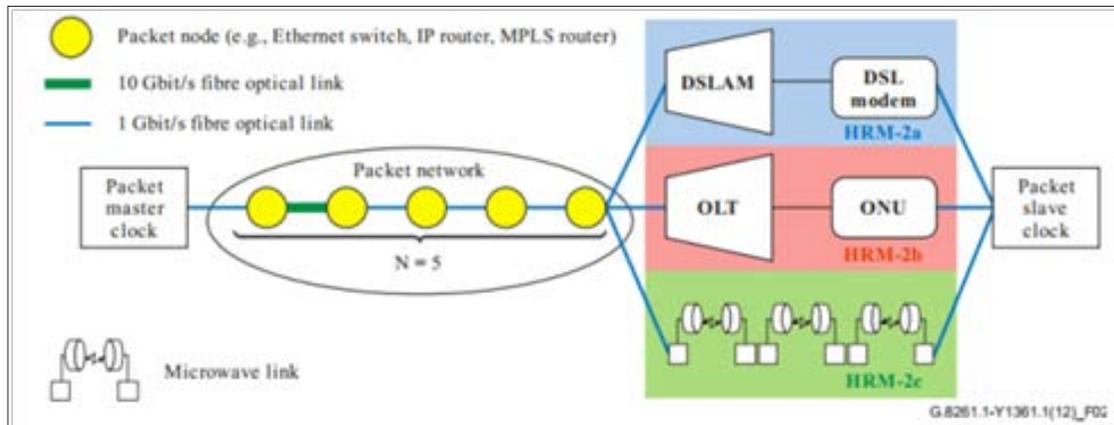


Рисунок 4 – Пакетный тракт для HRM-2

в настоящее время не признают, тем не менее их широко применяют в современной измерительной технике для пакетных сетей.

Приведем пример измерений, проведенных на сети компании ПрАТ «Киевстар» с расчетом параметров стабильности.

На рис. 5 изображен график PDV(t), по которому был рассчитан представленный ранее параметр MAFE(τ).

Рисунок 6 дает представление о поведении относительной частоты во времени.

На рис. 7 представлена функция распределения задержек пакетов Sync.

Выводы. По существу, синхронизация частоты (синхронизация) базовых станций стандарта 3G – это дистанционное сличение времени по протоколу RTP в сочетании с дифференцированием погрешности времени. В результате получают дистанционную оценку

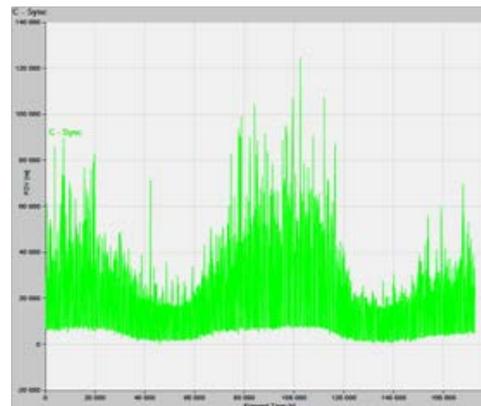


Рисунок 5 – Измерения PDV

относительной частоты [9]. Постепенно приходят к тому, что просто освежить понятия сетей синхронизации SDH и на этой основе оценивать относительную

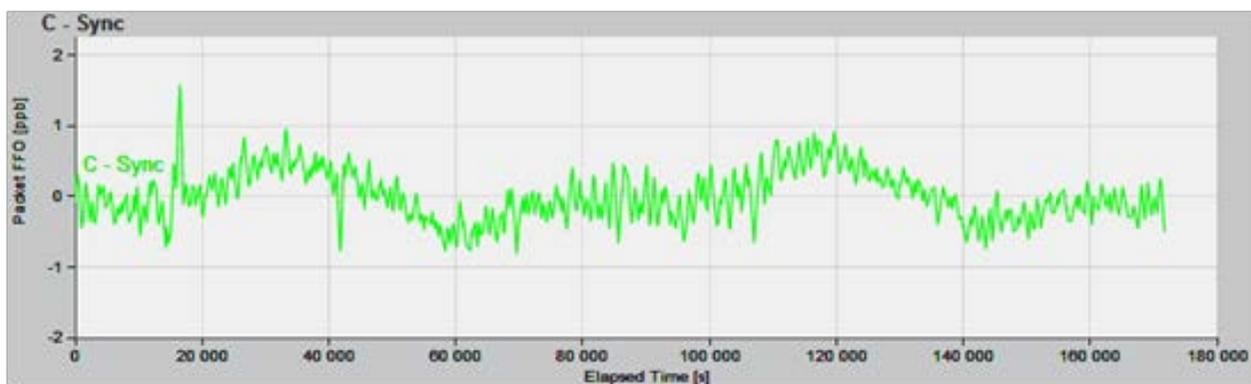


Рисунок 6 – Относительная частота по времени

частоту сигнала, доставляемого потребителю, как производную погрешности времени оказывается недостаточно. Следует подчеркнуть, что при внедрении сетей LTE/LTE-A возникает сложность не только синхронизации, но и синхронизации времени базовых станций, и проблема отказа от старых навыков становится еще острее. Иначе говоря, для того, чтобы существующий опыт применить в перспективе и преодолеть ложные представления на основе неверных предположений, каждая компания должна осознать свои потребности и разработать собственные методики измерений, обосновать нормы и предельные соотношения. Например, на основании изложенного выше целесообразно разработать ведомственную методику оценки качества RTP-клиентов базовых станций, предлагаемых разными поставщиками.

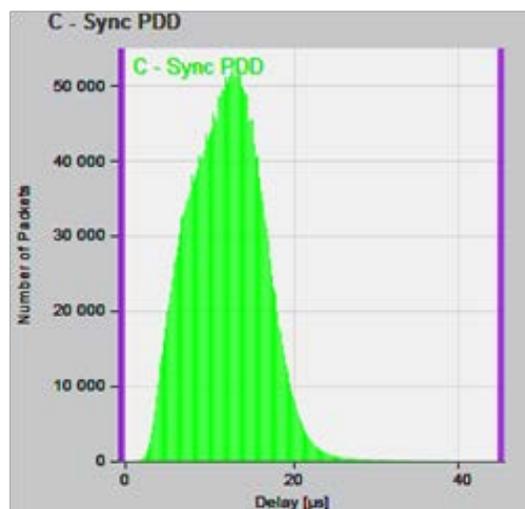


Рисунок 7 – Расчет Sync PDD

ЛИТЕРАТУРА

1. Контроль и измерение параметров сигналов синхронизации в IP/MPLS-сети / В.И. Вакась, Н.В. Федорова // 23-я Междунар. Крым. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2013): материалы конф. (Севастополь, 09–13 сент. 2013 г.). – Севастополь: Вебер, 2013. – С. 273–274.
2. **Bregni, S.** Synchronization of Digital Telecommunication Networks. John Wiley & Sons, Inc. 2001. (Имеется перевод на русский язык: С. Брени. Синхронизация цифровых сетей связи. М., Мир, 2003).
3. **Mills, D.L.** Computer network time synchronization: the network time protocol. CRC Press, 2006 (Имеется перевод на русский язык: Сличение времени в компьютерных сетях: протокол сетевого времени на Земле и в космосе / Д. Миллс [пер. с англ. под ред. А.В. Савчука] – К.: WIRCOM. – 2011. – 464 с).
4. **Fedorova, N.V., Diomin, D.A.** Parameters of Synchronization Signals in IP/MPLS networks / N.V. Fedorova, D.A. Diomin // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2016 р., № 1 (41). – С.44–51.
5. **Вакась, В.И., Федорова, Н.В., Демин, Д.А.** Измерения параметров стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях / В.И. Вакась, Н.В. Федорова, Д.А. Демин // Зв'язок. – 2016 р., № 1. – С.40–43.
6. ITU-T G.8261.1/Y.1361.1 (02/2012). Packet delay variation network limits applicable to packet-based methods (Frequency synchronization).
7. **Вакась В.И., Федорова Н.В.** Распространение опорных сигналов синхронизации в IP-сетях. Реализация по протоколу RTP / В.И. Вакась, Н.В. Федорова // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава. – 2014 р. – № 1 – С. 91–96.
8. **Vakas, V.I., Domin, D.A., Manko, O.O., Kulinskyi, O.O.** Evolution of Stability of Synchronization Parameters in Packet Networks / 2017 IEEE First Ukraine Conference on electrical and computer engineering (UKRCON) May 29 – June 2, 2017, Proceedings. – Kyiv, Ukraine, 2017. – P. 886–889.
9. **Vakas, V.I., Domin, D.A., Kulinskyi, O.O.** Monitoring of stability of synchronization parameters in LTE network. / 2th international conference on Advanced information and communication technologies – 2017 (AICT-2107) 4–7 July, 2017, Proceedings. – L'viv, Ukraine, 2017. – P. 201–204.

The article reviewed transition from TDM networks to networks with packet information transfer. Considered the evolutionary path that led to modification of the stability parameters of the synchronization signals during the transition to packet networks. There are main parameters of synchronization signals stability and methods for their measurement and monitoring in packet networks defined in the article. The original scheme consisting of three PTP servers, which does not contain the most unreliable element – the mechanism for switching to the reserve proposed in the article.

The proposed scheme is the most optimal for building synchronization networks for 4G technology. Maximum efficiency of using PTP servers achieved in this scheme. Each of the servers is not just in "hot standby", but is active and it contributes directly to the stability of the reference signals.

The method of mutual monitoring of the distributed primary devices of synchronization with the purpose of their effective use on condition of the combined use of the builtin and allocated networks of synchronization is developed.

There are main parameters of synchronization signals stability for the qualitative assessment of synchronization network monitoring specified in the article. The main operational parameter of stability is the indicator MAFE. With it help it is possible to estimate quality of a signal quickly. The indicator has masks for two modes of work of MPLS network (up to 5 and to 10 rereceptions by routers of a signal of PTP).

Получено 08.03.19.