

УДК 621.395.74.072

Гайдаманчук В. А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАФИКА В ПАКЕТНЫХ СЕТЯХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА ВЕДОМЫХ ЧАСОВ ОБОРУДОВАНИЯ РТР

Гайдаманчук В. А. Експериментальне дослідження впливу інтенсивності трафіку в пакетних мережах на стійкість роботи генератора веденого годинника устаткування РТР. Стаття присвячена практичним аспектам одного з найбільш вживаних підходів до вирішення проблеми відновлення тактової частоти в транспортному оточенні з комутацією пакетів. Експериментально досліджені впливи продуктивності, яка доступна системі РТР IEEE-1588-2008 в пакетній мережі, на стійкість генератора з частотним автопідстроюванням веденого годинника РТР.

Ключові слова: СИНХРОНІЗАЦІЯ, ПРОТОКОЛ ПРЕЦИЗІЙНОГО ЧАСУ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ, ГРОСМЕЙСТЕРСЬКИЙ ГОДИННИК, РТР

Гайдаманчук В. А. Экспериментальное исследование влияния интенсивности трафика в пакетных сетях на устойчивость работы генератора ведомых часов оборудования РТР. В статье рассмотрены практические аспекты одного из наиболее востребованных подходов к решению проблемы восстановления тактовой частоты в транспортной среде с коммутацией пакетов. Экспериментально исследовано влияние производительности, доступной системе РТР IEEE 1588-2008 в пакетной сети, на устойчивость генератора с частотной автоподстройкой ведомых часов РТР.

Ключевые слова: СИНХРОНИЗАЦИЯ, ПРОТОКОЛ ПРЕЦИЗИОННОГО ВРЕМЕНИ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ, ГРОССМЕЙСТЕРСКИЕ ЧАСЫ, РТР

Gaidamanchuk V. A. Experimental research of the influence of traffic intensity on the stability of PTP slave clock oscillator. This paper deals with practical aspects of one of the demanding approaches to solving the clock frequency recovery problem in transport packet networks. Influence of the efficiency available in the IEEE 1588-2008 PTP system in packet networks on the stability of the PTP slave clock oscillator with PLL control is studied.

Key words: SYNCHRONIZATION, PRECISION TIME PROTOCOL, PHASE-LOCKED LOOP, GRANDMASTER CLOCK, PTP

Введение. В Рекомендациях ITU-T G.811 – G.813, G.823, где сформулированы требования к “классической” сети синхронизации SDH, не упоминается понятие “*время*”. Более того, понятие UTC (Universal Time Coordinated) рассматривается только в контексте “*частота UTC*” (раздел 4.1.11 Рекомендации G.810 ITU-T). Неизбежная замена сетей SDH (Synchronous Digital Hierarchy) транспортной средой с коммутацией пакетов привела к необходимости пересмотра концепции синхронизации сетей, результаты которого отражены в Рекомендации G.8261 ITU-T, где отмечено, что *способы восстановления тактовой частоты на основе протоколов сличения времени* [1] в некоторых случаях могут оказаться “единственной возможностью отслеживания PRC (Primary Reference Clock)” для решения проблемы тактовой синхронизации. С другой стороны, предусмотрена возможность обоснованного пересмотра сетевой нормы стабильности частоты, которая в соответствии с Рекомендацией G.823 ITU-T составляет в настоящее время 1×10^{-11} [2].

Как известно, в стандарте IEEE 1588 [3] вводится понятие гроссмейстерских часов (сервер РТР – Precision Time Protocol) и ведомых часов (клиент РТР) при этом система автоматической подстройки генератора ведомых часов не определена, и является прерогативой изготовителя оборудования, однако является важнейшим фактором качества сличения времени и восстановления частоты. Следовательно, представляет интерес оценка соответствия параметров системы частотной автоподстройки (ЧАП) генератора ведомых часов протоколу РТР. С этой целью были проведены испытания оборудования, реализующего РТР IEEE 1588 -2008 с помощью схемы, которая показана на рис. 1. Сервер РТР TimeProvider5000 подключен к транспортной среде IP/MPLS/Ethernet так, что доступен клиенту РТР TimeProvider500 по двум трактам, отмеченным на рис. 1:

1 – “неперегруженный” тракт, состоящий из трех элементов сети Fast Ethernet (NE FE) и двух элементов сети Gigabit Ethernet (NE GE);

2 – специфический “перегруженный” тракт с ограниченной производительностью, состоящий из последовательно соединенных двух элементов сети Fast Ethernet (NE FE), двух элементов сети Gigabit Ethernet (NE GE), преобразователя форматов Ethernet/E1, девяти элементов сети SDH (NE SDH), обратного преобразователя форматов E1/Ethernet, канала Ethernet с максимальной производительностью 64 кбит/с (самое “узкое место” в тракте 2) и канала служебной связи радиорелейной линии STM1 (PPЛ STM1) производительностью 128 кбит/с. Поочередная работа по каждому из трактов имитировала работу обмена сервер РТР – клиент РТР с разной загруженностью трафиком.

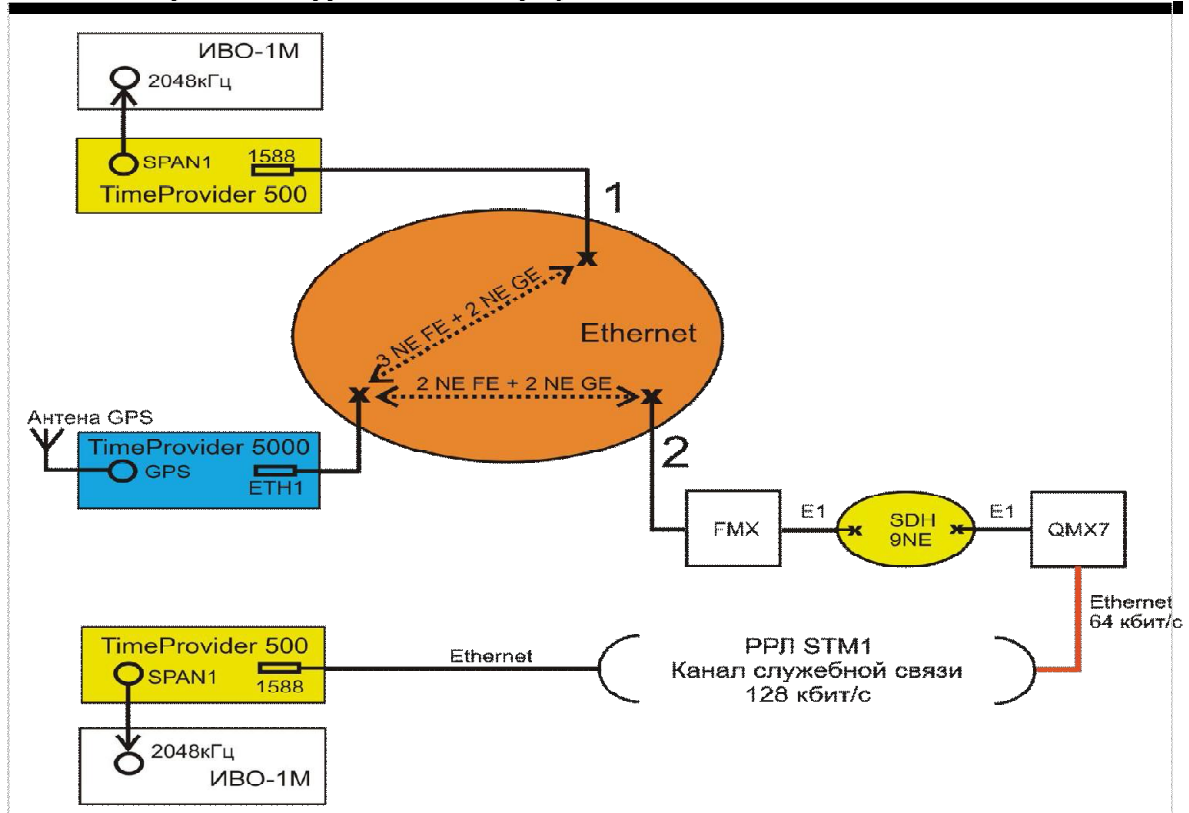


Рис. 1. Результаты линейных испытаний РТР

Было зафиксировано что частота пропадания пакетов РТР тракте 2 достигала 50% в результате “перегрузки” его сообщениями РТР и служебной информацией системы управления РПЛ, объем которой в данном эксперименте мог быть оценен только косвенно. Так как при интенсивности обмена сообщениями между сервером РТР и клиентом РТР, равной 32 пакета в секунду, максимальная скорость передачи сервера РТР составляет ~ 25,6 кбит/с, а максимальная скорость передачи клиента РТР ~ 11,3 кбит/с, то можно сделать вывод о том, что доступная системе РТР производительность тракта 2 оказалась равной 16 – 12 кбит/с. Измерения производились прибором ИВО-1М (измеритель временных интервалов).

Поведение выделенного клиента РТР (ведомые часы) в виде переходного процесса после включения его в “неперегруженном” тракте, показанное на рис. 2, можно отследить по диаграмме состояний системы ЧАП, которая приведена на рис. 3.

В процессе обмена система ЧАП работает в режиме свободных колебаний собственного генератора с неопределенностью частоты 16×10^{-9} до тех пор, пока входной порт клиента РТР не начнет принимать сообщения от сервера РТР.

Как показано на рис. 2, обнаружение сообщений от сервера произошло через 660 секунд после включения. После того, как на 720 секунде количество принятых сообщений стало достаточным для формирования опорного сигнала и стабилизировалась частота поступления сообщений, система ЧАП перешла в состояние ускоренного слежения.

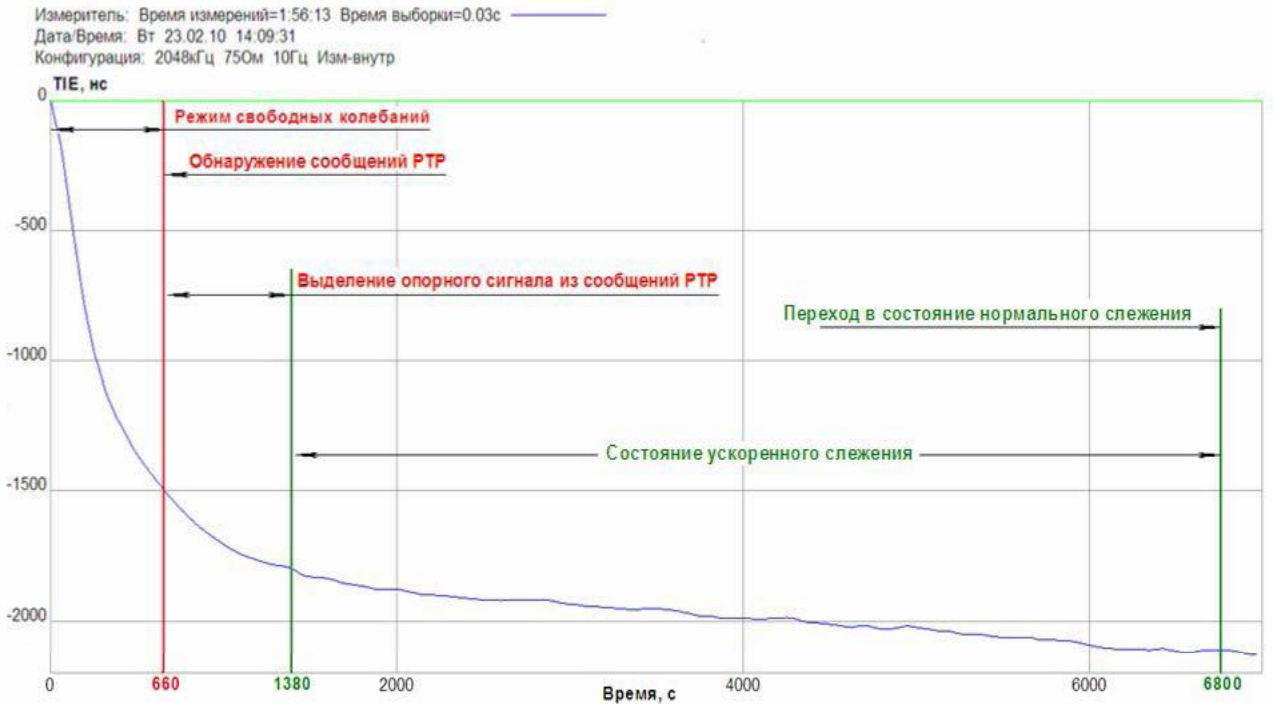


Рис. 2

По рис. 2 можно оценить величину постоянной времени петли ЧАП в этом состоянии ~ 6000 с.

Более подробно систему ЧАП клиента РТР можно охарактеризовать по показателю стабильности МТІЕ (Maximum Time Interval Error) с помощью рис. 4, где цифрами отмечены: 1 – измеренная характеристика выходного сигнала клиента РТР в режиме свободных колебаний; 2 – характеристика переходного процесса, показанного на рис. 2; 3 – характеристика установившегося режима, начало которого отмечено на 6800-й секунде после окончания переходного процесса на рис. 2; 4 – характеристика выходного сигнала клиента РТР в режиме удержания частоты; 5 – характеристика работы системы РТР в “перегруженном” канале, отмеченном на рис. 1 цифрой 2.

Перечисленные характеристики сопоставлены на рис. 4 с шаблонами допустимых фазовых блужданий на стыках PRC, SEC (SDH Equipment Clock), а также с требованиями к синхронизации частоты базовых станций мобильной связи. Технические требования к параметрам тактовой синхронизации базовых станций (3G/MPLS) сведены в разделе 4.2 европейского стандарта ETSI TS 125 402 – Synchronisation in UTRAN Stage 2: “Основная проблема состоит в том, чтобы для

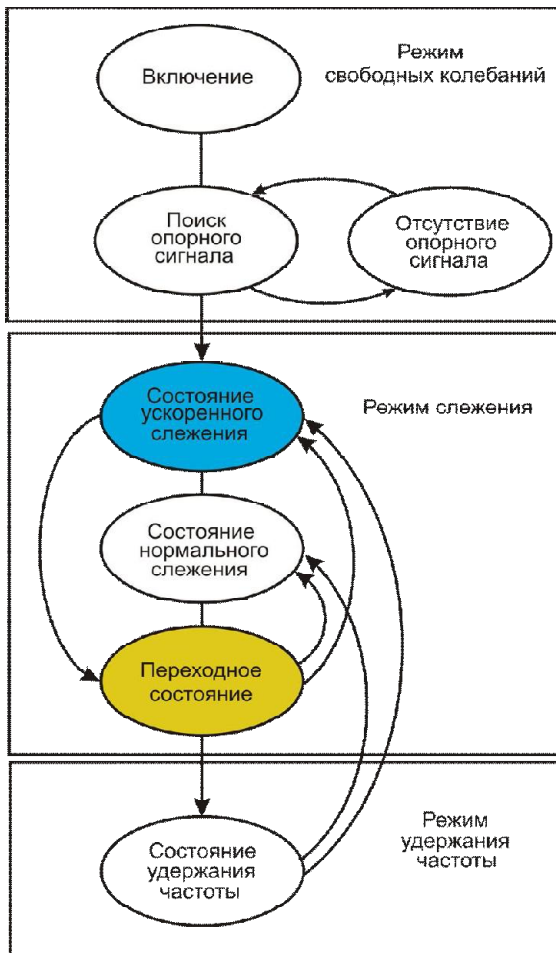


Рис. 3

формирования сигналов в радиосегменте обеспечить для базовой станции опорный сигнал синхронизации с точностью частоты лучше, чем 50×10^{-9} . Уровень фазовых блужданий достаточно поддерживать в соответствии с Рекомендацией ITU-T G.813. Параметры оборудования синхронизации элементов сети радиодоступа и распределение в ней опорных сигналов должны быть такими, чтобы обеспечить во время отказов в сети синхронизации точность частоты на базовой станции 50×10^{-9} ”

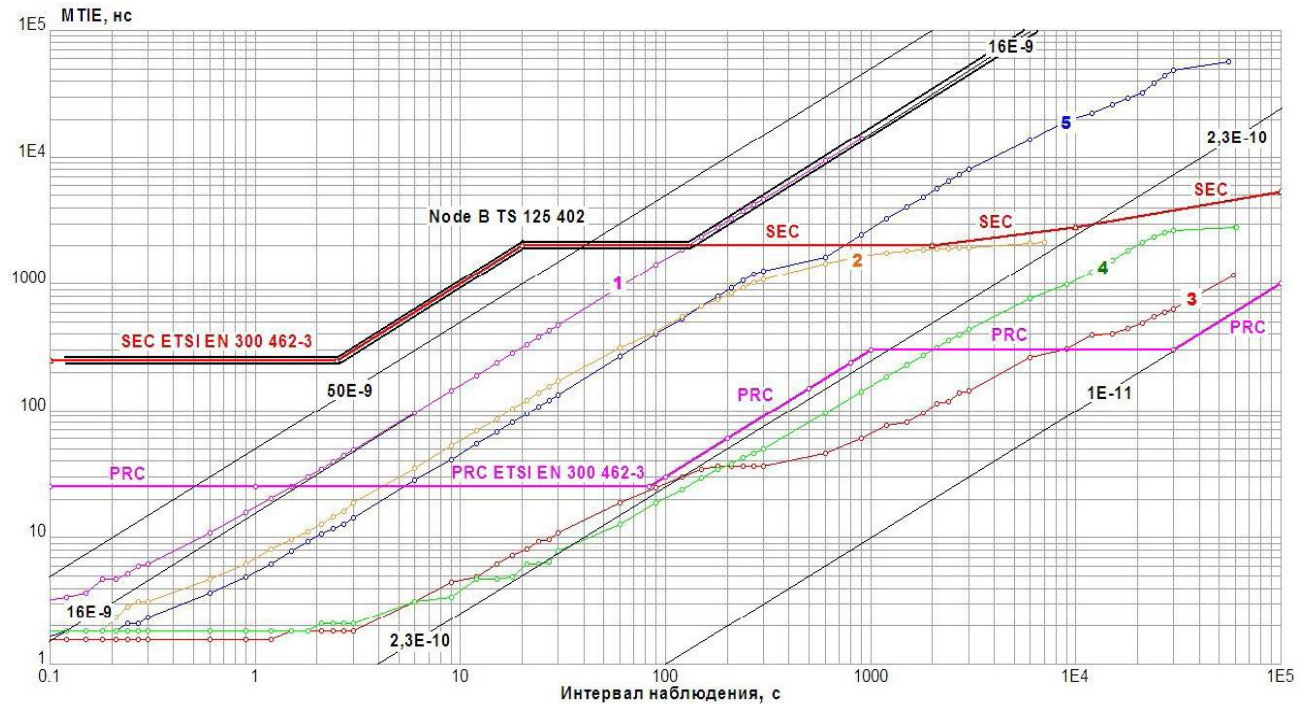


Рис. 4

Как полагают, для того, чтобы удовлетворить последнему требованию к точности частоты в аварийных ситуациях, необходимо доставлять к базовой станции тактовую частоту с точностью не хуже $\sim 16 \times 10^{-9}$ [6]. Этим требованиям на рис. 4 соответствует шаблон “Node B TS 125 402”.

Обсуждение результатов линейных испытаний. Характеристика режима свободных колебаний 1 собственного кварцевого генератора клиента RTP совпала с линией 16×10^{-9} на интервалах наблюдения от 6 с до 6000 с, что соответствует техническим условиям [5]. Поведение системы ЧАП в процессе перехода из режима свободных колебаний в режим слежения, показанном на рис. 2, описывается характеристикой 2, которая в состоянии ускоренного слежения не превышает предела фазовых блужданий, установленного для SEC. После перехода системы ЧАП в состояние нормального слежения его характеристика 3 на интервалах наблюдения до 9000 с не превышает предела, установленного для PRC. После прекращения обмена сообщениями RTP между сервером и клиентом система ЧАП переходит в режим удержания частоты, в котором по техническим условиям [3] уход фазы составляет 20 мкс в сутки (линия $2,3 \times 10^{-10}$ на рис. 4) при условии, что клиент до этого отработал в режиме слежения не менее 24 часов, а его питание не выключалось в течение 5 суток. Приведенная здесь реальная характеристика 4 удержания частоты, измеренная при указанных условиях, вполне соответствует техническим условиям. Наибольший практический интерес представляет характеристика ЧАП ведомых часов RTP 5 в “перегруженном” тракте, когда ЧАП балансирует между состоянием ускоренного слежения и переходным состоянием (см. рис. 3). На основании анализа журналов событий системы управления клиента можно заключить, что переход системы ЧАП из состояния слежения в переходное состояние происходит тогда, когда в результате перегрузки тракта передачи

частота пропадания пакетов становится равной $\sim 50\%$. Хотя характеристика 5 пересекает шаблон допустимых блужданий фазы для SEC на интервале наблюдения около 700 с, тем не менее она удовлетворяет требованию к допустимой неопределенности частоты 16×10^{-9} на входе базовой станции и совпадает с характеристикой переходного процесса на интервалах наблюдения менее чем 600 с. Следует подчеркнуть, что она не имеет ничего общего с характеристикой режима свободных колебаний 1 и совпадает с характеристикой 2 переходного процесса на интервалах наблюдения до 600 с. Более того, уже в суточном сеансе измерений очевидна тенденция изменения долговременной стабильности характеристики 5 в лучшую сторону и следует ожидать, что на интервале наблюдения в несколько суток она должна отслеживать частоту UTC (т.е. пересечет линию 1×10^{-11}).

Заключение. Сопоставление результатов экспериментальных исследований восстановления тактовой частоты в сетях с коммутацией пакетов с помощью протокола RTP стандарта IEEE 1588-2008 (оборудование TimeProvider5000/500) с расчетными [4, 5], служат основанием для следующих выводов:

1. Данные, представленные на рис. 2 и 4, свидетельствуют о том, что в условиях “неперегруженного” тракта передачи сообщений RTP система ЧАП клиента RTP через 1300 секунд после включения питания входит в состояние ускоренного слежения, а спустя 6800 с переходит в состояние нормального слежения [6]. Это означает, что стабильность восстановленного сигнала синхронизации практически удовлетворяет требованиям к сигналу на выходе PRC через ~ 4000 секунд. Если принять во внимание, что расчетный интервал усреднения, необходимый для восстановления частоты через сличение времени по RTP равен ~ 1 часу [4], то можно утверждать, что параметры системы ЧАП клиента RTP (TimeProvider500) хорошо согласованы с логикой протокола.

2. Несмотря на то, что хотя способу восстановления частоты через сличение времени по RTP и присуща зависимость от интенсивности трафика в сети с коммутацией пакетов, в ходе исследований в зоне параметров, представляющих интерес для реальной работы, отмечено отсутствие прямой зависимости качества восстановления частоты от интенсивности переприемов между сервером и клиентом RTP. Более того, характеристики в широких пределах слабо зависят от количества переприемов и заметно ухудшаются тогда, когда минимально доступная системе RTP производительность сети становится меньше граничной величины. Но даже в этом случае долговременная (на интервале суток и более) стабильность восстановленной частоты посредством RTP1588 удовлетворяет нормативным требованиям TS 125 402.

3. Величина минимальной величины доступной системе RTP производительности сети, при которой возможно эффективное использование RTP, зависит от интенсивности обмена сообщениями RTP между сервером и клиентом и составляет ~ 25 кбит/с при условии, что интенсивность обмена сообщениями Sync, Delay_Resp и Delay_Req равна 32 пакета в секунду.

Литература

1. Одуан К. Измерение времени / К. Одуан, Б. Гино. Основы GPS: М.: Техносфера. – 2002.
2. ITU-T Recommendation G.8261/Y.1361: Timing and Synchronization aspects in packet networks (05/2006).
3. Ruffini S. . WCDMA and LTE Synchronization Aspects / S. Ruffini // The 6th International Telecom Sync Forum, Munich, ITSF. – 2008
4. John C. Eidson. Measurement, Control, and Communication Using IEEE 1588: Springer-Verlag New York, Inc. – 2006. – 283 p.
5. Савчук А. Теоретические основы синхронизации текущего времени в телекоммуникациях / А. Савчук, В. Шапошников, И. П. Черняк // Зв’язок. – 2007. – № 3. – С. 1-5.
6. TimeProvider 500. IEEE 1588-2008 (PTP) Translator: User’s Guide Revision B – March 2009 Part Number 098-00078-000.