

ТЕХНОЛОГИИ И БИЗНЕС

сети синхронизации



Спутниковые системы и сети синхронизации

Часть 2. Стандарты частоты с приемниками GPS

Устройства синхронизации порою достаточно сложно классифицировать, еще сложнее измерить реальные параметры их нестабильности. Попытаемся привести примеры решения обеих проблем

Стандарты частоты на основе кварцевых и рубидиевых генераторов, подстраиваемых сигналами GPS, весьма разнообразны. Промышленностью выпускаются десятки или даже сотни различных моделей такого оборудования, предназначенных для решения тех или иных

задач. Приемникам GPS посвящена первая часть статьи (ТЕЛЕКОМ 9/2004). Во второй части автор попытается привести простую и понятную классификацию таких стандартов частоты и обсудить особенности различных типов и групп оборудования данного класса.

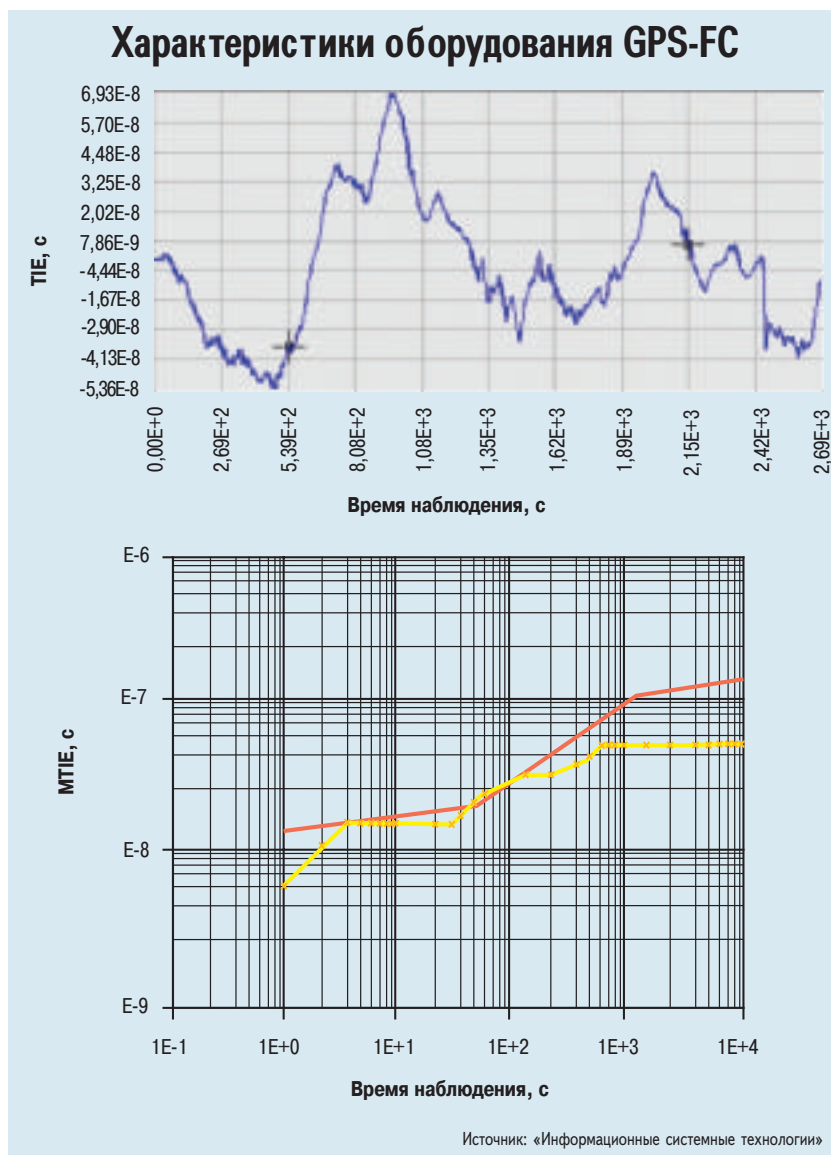
Две разновидности стандартов частоты

Стандарты частоты, имеющие в своем составе приемник GPS, можно условно разделить на два типа: универсальные стандарты частоты и специализированные стандарты частоты типа PRC (Primary Reference Clock — первичный источник синхронизации), применяемые в сетях синхронизации цифровых сетей электросвязи.

Универсальные стандарты частоты имеют сравнительно простую архитектуру, в общем соответствующую структурной схеме, приведен-

ной в первой части статьи. Они выпускаются сотнями предприятий и имеют весьма широкий диапазон технических параметров в зависимости от назначения. Устройства синхронизации типа PRC производятся в соответствии с требованиями международных стандартов в области телекоммуникаций ITU-T G.811 и G.812, которые нормируют уровень нестабильности выходного сигнала на различных временных интервалах и задают определенную архитектуру оборудования, рассмотренную ниже и являющуюся более сложной по сравнению с архитектурой универсальных стандартов частоты.

По уровню нестабильности рассматриваемые универсальные и специализированные стандарты частоты можно условно разделить на несколько групп в соответствии с обеспечиваемой ими кратковременной нестабильностью. Ведь долговременная стабильность всех стандартов частоты определенного класса, вообще говоря, определяется стабильностью системного времени GPS, хотя зависит также от правильности используемых алгоритмов усреднения сигналов GPS в модуле приемника и корректировки частоты генератора стандарта частоты. Принадлежность стандарта частоты к какой-то из групп определяется в первом приближении в зависимости от типа используемого генератора (кварцевый, рубидиевый и т. д.), а в конечном счете — от реального уровня характеристик нестабильности данного оборудования (который необходимо уметь измерять). Так, в таблице внизу представлены характеристики высокостабильных PRC, оснащенных кварцевыми или рубидиевыми генераторами. В ней также приводится пример возможной классификации стандарта частоты в зависимости от обеспечиваемой нестабильности выходного сигнала. Для его характери-



В диапазоне от 1 до 300 с характеристики GPS-FC не удовлетворяют требованиям Рекомендации G.811

стики можно применить параметр MTIE (Maximum Time Interval Error — максимальная погрешность, или ошибка временного интервала), введенный упомянутыми выше телекоммуникационными стандартами. MTIE характеризует максимальный на заданном интервале измерения размах специального параметра TIE (Time Interval Error),

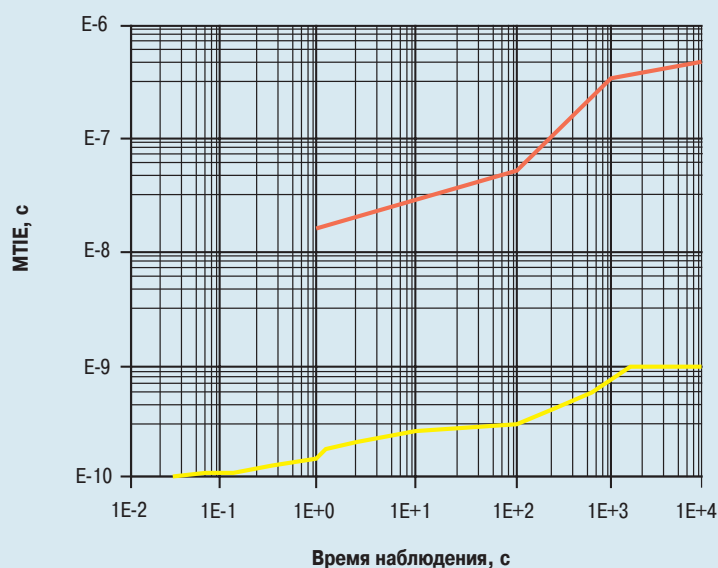
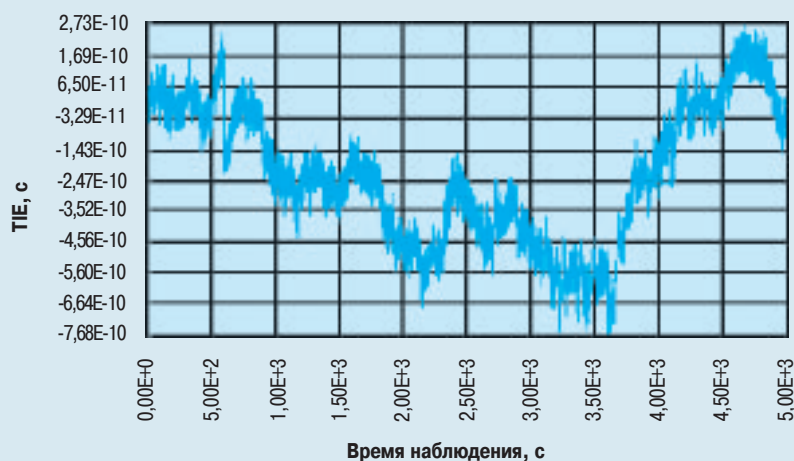
по сути являющегося измеренным во временной области отклонением фазы измеряемого сигнала от фазы опорного сигнала, относительно которого оценивается стабильность первого.

На рисунках на с. 55, 56 приведены характеристики TIE и MTIE двух типичных видов оборудования. Первый, стандарт час-

Сравнительные характеристики некоторых типов модулей приемников GPS

Нестабильность (MTIE на интервале 1÷10 секунд)	Универсальные стандарты частоты	Стандарты частоты типа PRC	Примечания
Низкая	более $2,5 \times 10^{-9}$	—	такие PRC не производятся
Средняя	$(2,5 \div 0,5) \times 10^{-9}$	$(2,5 \div 0,5) \times 10^{-9}$	SSU/PRS для локальных узлов
Высокая	$(5 \div 0,5) \times 10^{-9}$	$(5 \div 0,5) \times 10^{-9}$	SSU/PRS для транзитных узлов
Очень высокая	$< 5 \times 10^{-10}$	$< 5 \times 10^{-10}$	высококачественные SSU/PRS

Параметры TIE и MTIE оборудования Epsilon SSU



Источник: «Информационные системные технологии»

Характеристики Epsilon SSU значительно превышают требования Рекомендации G.811

тоты GPS-FC, выпускавшийся до 2003 года американской корпорацией Datum, относится к группе универсальных стандартов частоты с низким уровнем стабильности. Он построен по архитектуре, вкратце описанной в первой части статьи: модуль приемника GPS—схема ФАПЧ—кварцевый генератор, в данном случае, низкостабильный. На рисунке на с. 55 продемонстрирован процесс корректировки частоты кварцевого генератора, используемого в данном устройстве. В силу быстрого ухода частоты кварца выбранный алгоритм корректировки вынужденно допускает сравнительно большой размах погреш-

ности временного интервала (порядка 1×10^{-7}).

Если проанализировать ход графика MTIE этого же устройства в зависимости от интервала измерений (данные по горизонтали), можно получить наглядное представление о типичном влиянии узлов рассматриваемого класса стандартов частоты на его характеристики. На очень коротких временных интервалах (миллисекунды) кварцевый генератор еще обеспечивает приемлемую стабильность сигнала. Начиная с интервалов порядка 1 с и приблизительно до 300 с он уже не может поддерживать частоту своего сигнала достаточно стабильной, но корректи-

ровки сигналом GPS еще не целесообразны, так как на таких интервалах сигнал самого приемника GPS еще недостаточно стабилен (недостаточно хорошо усреднен). В силу этого в данном диапазоне интервалов измерений характеристики этого стандарта частоты выходят за пределы норматива ITU-T G.811 для PRC, показанного на рисунке в виде шаблона (красная линия). Наконец, на интервалах свыше примерно 500 с сигнал GPS уже достаточно стабилен и частота кварца успешно корректируется (на графике хорошо видно, что нестабильность стандарта частоты на таких временных интервалах уже практически постоянна).

На рисунках слева представлены характеристики устройства Epsilon SSU производства французской компании Tekelec Systemes. Оно принадлежит к типу PRC и использует в качестве встроенного генератора высокостабильный кварцевый генератор с двойной термостабилизацией и параметрами стабильности, практически предельно достижимыми для кварцевых генераторов. Видно, что размах кривой TIE (верхний рисунок) составляет всего около 9×10^{-10} с, а корректировка частоты генератора сигналами GPS производится примерно на порядок реже, чем в предыдущем устройстве. Нижний рисунок убедительно демонстрирует, что нестабильность данного устройства значительно лучше нормативных требований ITU-T.

Все результаты, представленные на рисунках, получены в измерительной лаборатории компании «Информационные системные технологии» в 2003 году. Работы выполнялись с помощью измерителя параметров синхронизации с цифровым разрешением 10 пс (модель ИПС-2002) производства этой же компании. Важно уточнить, что для получения результатов измерений высокостабильных сигналов, таких как выходной сигнал оборудования Epsilon SSU, с приемлемой погрешностью уже недостаточно соответствия характеристик измерительного прибора стандарту ITU-T O.172, на который ссылаются практически все производители подобной техники.

Данная тема заслуживает отдельного рассмотрения, но для ин-

женеров-метрологов хотелось бы дать следующие рекомендации: чтобы оценить возможность измерения сигнала конкретным типом измерительного прибора, необходимо провести его калибровку — подать на вход свой же опорный сигнал и измерить его характеристику TIE в реальном времени. Очевидно, что корректно измерять этим прибором можно только такой сигнал, фазовый шум которого хотя бы в пять раз выше, чем внутренний фазовый шум прибора.

Особенности архитектуры PRC

PRC — это источники сигналов синхронизации для цифровых сетей электросвязи. В принципе, устройства класса PRC могут быть и не связаны с сетью GPS (или подобной спутниковой радионавигационной системой). В этом случае альтернативным решением является включение в состав PRC автономных, обладающих максимально возможной стабильностью сигнала водородных и цезиевых стандартов частоты, которые уже рассматривались автором в предыдущих статьях (например, ТЕЛЕКОМ 10/2003, с. 60). Такие PRC оказываются значительно дороже, но имеют преимущество автономности: обеспечение потребителя стабильным сигналом зависит только от исправности самого оборудования PRC и не зависит от посторонних факторов, таких как корректное функционирование сети GPS. Однако наиболее широко применяемая разновидность оборудования PRC в основе своей является стандартом частоты, долговременная стабильность которого определяется сигналами GPS, и общие принципы работы которого описаны в первой части статьи, но дополненного рядом функциональных возможностей, необходимых для применения в телекоммуникациях (резервирование основных узлов, возможность синхронизации не только от сигналов GPS, но и от специальных сигналов с других узлов сети электросвязи и рядом других).

На оборудование PRC можно посмотреть и с другой стороны: в его основе лежат так называемые вторичные задающие генераторы опорного сигнала (или источники сигналов синхронизации), способные синхронизироваться от вход-

ного сигнала первичного опорного источника. Стандарт ITU-T G.812 устанавливает множество упоминавшихся функциональных требований (заданная кратковременная нестабильность, резервирование и т. д.) к оборудованию вторичных задающих генераторов, так называемому SSU (Synchronization Supply Unit — источник сигнала синхронизации). Если же дополнить SSU источником опорного сигнала на основе приемника GPS, обеспечивающим требуемую стандартом G.811 долговременную стабильность, получится оборудование класса PRC, соответствующее требованиям обоих вышеупомянутых стандартов.

Рассмотрим подробнее устройство этого типа синхронизаторов частоты на примере оборудования Epsilon SSU. На уровне функциональной схемы PRC с приемником GPS (рис. на с. 58) существует по крайней мере два схемотехнических решения, позволяющие обеспечить синхронизацию базового устройства SSU от сигналов приемника GPS. В первом случае базовое устройство SSU использует штатный вход внешнего синхронизирующего сигнала со стандартным интерфейсом (как правило, это синусоидальный сигнал 10 МГц или сигнал специальной формы типа меандра частотой 2,048 МГц) для подключения внешнего сигнала от универсального стандарта частоты. Преимущество такого решения заключается в том, что дополнительная

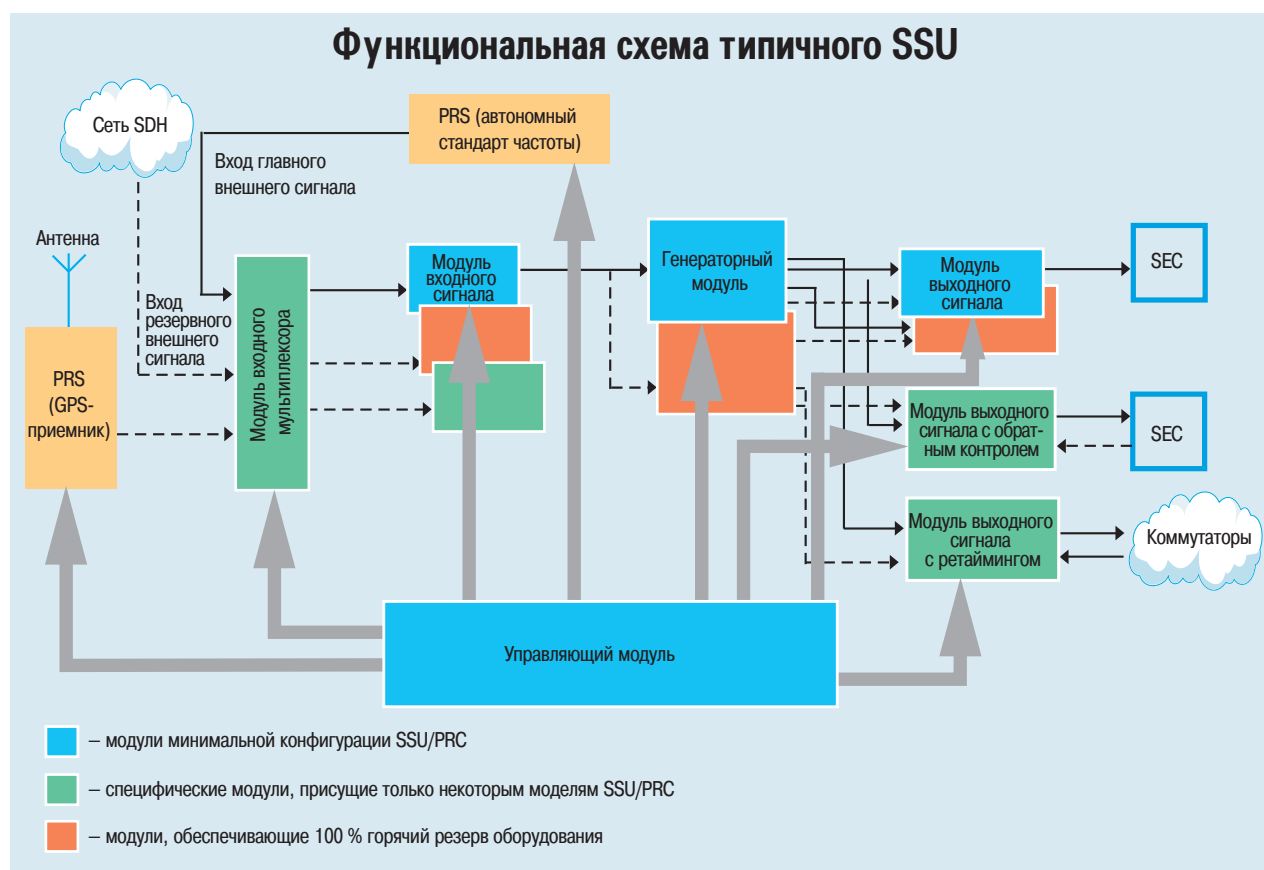
система ФАПЧ позволяет тщательнее отфильтровать флуктуации фазы, которые могут присутствовать в сигнале универсального стандарта, особенно с относительно низкой стабильностью. Кроме того, штатные входы базового оборудования оснащены функцией мониторинга качества (нестабильности) входного сигнала. Несмотря на метрологически несовершенный подход к такому мониторингу (измерения проводятся относительно сигнала своего встроенного генератора, который, в свою очередь, привязан к измеряемому входному сигналу!), он может быть полезен для выявления аварийных ситуаций: пропадания входного сигнала, быстрых скачков фазы и т. п. Однако расплачиваться за эти преимущества приходится повышенными стоимостью оборудования и массогабаритными характеристиками.

В этой связи в последние несколько лет большой популярностью среди производителей оборудования стало пользоваться второе, альтернативное, решение — когда выходной сигнал с модуля приемника GPS (импульсный сигнал частотой 1 Гц) подается непосредственно на вход системы ФАПЧ основного встроенного генератора оборудования SSU. Это требует более гибкой настройки ФАПЧ, но обеспечивает подстройку сигнала встроенного генератора непосредственно по сигналу GPS. Возможность реализации такого решения подтверждают результаты измере-

ТЕЛЕКОМ-ИНФО

Основные группы требований Рекомендации ITU-T G.812

- ✓ требования к функциям, выполняемым оборудованием, таким как мониторинг качества входного сигнала или интерфейсам оборудования (в электросвязи внутриузловые сигналы синхронизации — аналоговые сигналы частотой 2,048 МГц специальной формы, межузловые — цифровые сигналы 2,048 Мбит/с или сигналы синхронной цифровой иерархии);
- ✓ требования к кратковременной и долговременной нестабильности оборудования в случае, когда оборудование является ведомым сигналом идеального первичного источника;
- ✓ требования к устойчивости к фазовым нестабильностям сигналов, поступающих из сети, и возможности их фильтрации (очистки от фазовых шумов), что является одним из основных назначений узловых SSU, не являющихся источниками первичного сигнала;
- ✓ требования к устойчивости к переходным процессам на сети (скачки фазы сигнала синхронизации при переключениях или аварийных ситуациях), а также к уровню скачков фазы при переходных процессах, возникающих в самом оборудовании SSU.



Этот тип оборудования предназначен для генерации и распределения сигналов синхронизации

ний использующего именно такое решение оборудования Epsilon SSU, приведенные на рис. на с. 56. Практически все ведущие производители стандартов частоты SSU/PRC имеют в своем ассортименте оборудование такого экономического класса. Первое же решение продолжает оставаться востребованным в дорогих устройствах SSU/PRC высшего уровня качества, где предпочтение отдается повышенной надежности и максимально достижимым характеристикам. Примером такого оборудования может служить устройство синхронизации US4G бельгийской компании Gillam-FEi. Например, при метрологической аттестации приемника GPS, взятого из состава этого оборудования, были получены значения суточной нестабильности (среднеквадратичное относительное отклонение частоты) около 8×10^{-14} , чего автору не приходилось наблюдать ни в каком другом оборудовании класса PRC. Измерения такого класса точности проводились в НИЦ «Институт метрологии» (Харьков) на специальном измери-

тельном стенде с использованием Государственного эталона времени и частоты, в основе которого лежит группа водородных мазеров, в качестве источника опорного сигнала.

По сравнению с большим количеством производителей универсальных стандартов частоты, производителей PRC значительно меньше — автору известно не более десятка наименований компаний, самостоятельно разрабатывающих и производящих подобное оборудование.

Основные требования к оборудованию PRC

Рассмотрим вкратце основные требования к оборудованию PRC в свете упоминавшихся Рекомендаций G.811 и G.812.

Рекомендация G.811 содержит требования к PRC, касающиеся, в первую очередь, долговременной нестабильности, которая не должна превышать 1×10^{-11} за период не менее двух недель и должна периодически сверяться с UTC (Universal Time Coordinated — всемирное скоординированное время). Кроме того, оборудование PRC должно обладать кратковременной нестабильностью, не выше той, что задается на конкретных

интервалах измерения специальными шаблонами (часть такого шаблона по параметру MTIE представлена на рис. на с. 56, красная линия). Например, на интервалах измерения от 0,03 до 10 с параметр MTIE не должен превышать $2,5 \times 10^{-9}$ с.

Рекомендация G.812, как уже упоминалось, содержит требования к SSU, предназначенным для работы в ведомом от первичного источника режиме. Однако, поскольку добавление к SSU универсального стандарта частоты на основе GPS (схема вверху) легко превращает его в полноценный PRC, практически все выпускаемые промышленностью модели SSU имеют такую возможность. Поэтому на практике все производимое оборудование PRC соответствует также требованиям Рекомендации G.812, которая, таким образом, попадает в наше поле зрения.

Детальное рассмотрение этих требований и анализ зависимости параметров SSU/PRS от наличия сигналов приемника GPS будет продолжено в одной из следующих статей. ●

Игорь Шкляревский,
ish@ist.net.ua