

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ, МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ

УДК 53.087.92+62.621.382.2/.3

ЭМУЛЯТОР GPS-ПРИЕМНИКА КАК ИСТОЧНИК ТОЧНОГО ВРЕМЕНИ

© 2011 г. М. Е. Шкарбалюк, С. В. Пильгаев, А. В. Ларченко, О. М. Лебедь,
М. В. Филатов, Ю. В. Федоренко

*Полярный геофизический институт, Кольский научный центр РАН
Россия, 184209, Апатиты Мурманской обл., ул. Академгородок, 26а
E-mail: chetaxa@gmail.com*

Поступила в редакцию 05.08.2010 г.

Описан эмулятор GPS-приемника, созданный в ПГИ КНЦ РАН для проведения геофизических исследований. Отклонение времени, поддерживаемого эмулятором, от истинного мирового времени UTC (Universal Coordinated Time), определяемого по восходящему фронту PPS-импульса GPS, составило ~15 мкс за 20 ч при использовании термостатированного кварцевого генератора и ≤4 мкс за 20 ч при использовании рубидиевого стандарта частоты. Для определения и последующего исключения линейного тренда отклонения времени эмулятора от UTC предусмотрена операция синхронизации в начале и конце измерений. Прибор способен работать с различными типами задающих генераторов и GPS-приемников, генерирующих GPRMC-строку и PPS-импульс. Прибор относительно прост в изготовлении и обслуживании и надежен в работе.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении геофизических исследований для получения детальной информации о пространственной структуре электромагнитного поля, создаваемого естественными или искусственными источниками, необходимо проводить пространственные измерения комплексных амплитуд сигналов. Изучая поля искусственных источников гармонических сигналов, требуется измерять амплитуду и фазу как источника, так и приемника и определять разность фаз между источником электромагнитного поля и компонентами поля в месте установки измерительной системы. Такие измерения требуют прецизионной синхронизации систем, измеряющих ток в антенне источника и компоненты электромагнитного поля на удалении от источника. В ПГИ КНЦ РАН подобные устройства разработаны и введены в эксплуатацию [1, 2]. Они позволяют измерять разность фаз между сигналами источника и приемника с погрешностью $\sim \pm 0.1^\circ$ на частоте 200 Гц или привязывать время к UTC (Universal Coordinated Time) со среднеквадратичным отклонением < 1 мкс.

Самым простым и экономически выгодным решением для генерации временных меток является приемник глобальной навигационной спутниковой системы GPS или ГЛОНАСС. Для измерений, проводимых при прямой видимости неба, этого достаточно, но порой возникает необходимость расположения измерительной аппаратуры в местах, где использование GPS-приемника затруднено или вообще невозможно, например, на морском дне, в шахте или в густом лесу во время

дождя. Для таких случаев созданы и имеются в продаже автономные генераторы временных меток, такие как модуль частоты и времени TimeMAX [3] компании Symmetricom, генератор временных меток ES-292 [4] компании ESE или генератор временных меток GPS200 [5] компании Masterclock. Все они позволяют получать импульсы напряжения с частотой 1 Гц (PPS), восходящий фронт которых синхронизирован с мировым координированным временем, и длительно поддерживать точное время при отключенном GPS-приемнике.

Однако они обладают недостатками, ограничивающими их применение при геофизических наблюдениях. Во-первых, должна иметься возможность выбора задающего генератора по соотношению потребляемая мощность/стабильность. При измерениях с питанием от аккумулятора не всегда требуется высокая точность привязки временных меток к UTC, но нужно обеспечить малое потребление, поэтому в этом случае целесообразно выбрать обычный кварцевый генератор, а не рубидиевый стандарт частоты, что затруднительно исполнить при использовании промышленных образцов.

Во-вторых, желательно предусмотреть возможность изменения частоты задающего генератора, и, следовательно, коэффициента деления счетчика, например, для использования генератора временных меток для синхронизации а.ц.п. Такая модификация устройств [3–5] и им подобных просто невозможна.

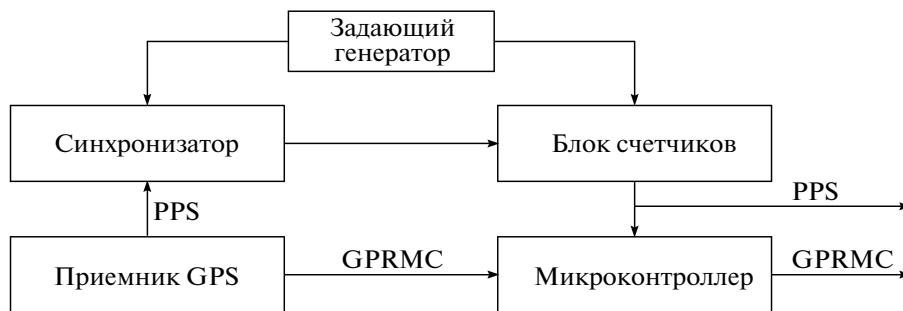


Рис. 1. Структурная схема эмулятора GPS-приемника.

В-третьих, при работе в автономном режиме зависимость отклонения временных меток от UTC, в основном, линейна из-за неточности настройки частоты задающего генератора. Для определения этой зависимости (с целью последующего ее исключения) нужно предусмотреть режим, в котором после проведения измерений может быть осуществлена повторная синхронизация и записана величина накопленной ошибки. Такой режим в перечисленных выше устройствах отсутствует.

В-четвертых, их стоимость высока, что не всегда приемлемо при проведении полевых измерений.

Необходимость в автономных синхронизаторах возникла при проведении геофизических измерений в ПГИ, в результате которых были выработаны изложенные выше основные требования. Так как ни одно из имеющихся на рынке устройств не соответствует этим требованиям, в особенности по обеспечению возможности компромисса между точностью и энергопотреблением и определения величины линейного тренда ошибки, было разработано собственное устройство — эмулятор GPS-приемника.

СТРУКТУРНАЯ И ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМЫ

Основная задача эмулятора GPS — это генерация PPS-импульсов, синхронизированных с UTC, и GPRMC-строки, соответствующей стандарту NMEA0183 [6]. Эмулятор должен обладать несколькими режимами работы — начальной синхронизацией с GPS-приемником, автономным режимом и режимом конечной синхронизации с GPS-приемником — с целью определения времени ухода эмулятора по окончании регистрации для последующего учета линейного тренда частоты задающего генератора и коррекции временных меток.

Структурная схема разработанного устройства приведена на рис. 1 (показаны основные блоки

эмулятора). В качестве задающего может использоваться любой генератор сигналов, имеющий выходную частоту 10 МГц. Для получения PPS-импульсов используется блок счетчиков, выполняющий функцию делителя частоты с 10 МГц до 1 Гц.

Синхронизация фронтов PPS-импульсов эмулятора с фронтами PPS-импульсов GPS-приемника происходит следующим образом: по восходящему фронту PPS-импульса от GPS-приемника синхронизатор вырабатывает управляющий импульс сброса для блока счетчиков. Каждый раз по приходу импульса сброса блок счетчиков обнуляется и начинает делить частоту поступающих на него импульсов. Отсюда следует, что в режиме синхронизации при подключенном GPS-приемнике синхронизация фронта PPS-импульса от блока счетчиков с фронтом PPS-импульса GPS-приемника происходит каждую секунду.

После отключения GPS-приемника импульсы сброса не вырабатываются, и блок счетчиков делит частоту поступающих на него импульсов, эмулируя PPS-импульс при переполнении последнего в линейке счетчика U_7 (см. рис. 2). Микроконтроллер предназначен для управления всем устройством, обработки GPRMC-строк, поступающих с GPS-приемника, и генерации собственных GPRMC-строк.

Устройство работает в трех режимах:

1) в режиме начальной синхронизации происходит первичная синхронизация GPS-эмулятора с GPS-приемником для дальнейшей работы устройства в автономном режиме;

2) автономный режим выбирается, если спутниковый сигнал отсутствует, а сигналы GPS эмулируются программой;

3) в режиме конечной синхронизации происходит повторная синхронизация GPS-эмулятора с GPS-приемником для определения времени ухода эмулятора по окончании регистрации для последующего учета линейного тренда частоты задающего генератора и коррекции временных меток.

Эмулятор переключается между режимами работы автоматически при подключении и отключении GPS-приемника.

В режиме начальной и конечной синхронизации GPS-эмулятор принимает строку (соответствующую стандарту NMEA0183 [6]) с GPS-приемника, содержащую текущее время, дату и координаты приемника. Затем, после перехода в автономный режим, GPS-эмулятор полностью заменяет собой GPS-приемник.

Принципиальная электрическая схема GPS-эмулятора приведена на рис. 2. Блок синхронизации выполнен на двух D -триггерах КР1533ТМ2 (1, 2). Блок синхронизации позволяет достигнуть точности синхронизации фронтов PPS-импульсов GPS-эмулятора и GPS-приемника с абсолютной ошибкой ≤ 0.3 мкс, что сопоставимо с точностью самих GPS-приемников.

Блок счетчиков выполнен на семи синхронно подключенных микросхемах 4-разрядных синхронных десятичных счетчиков с асинхронным сбросом и синхронной загрузкой (U_1-U_7 на рис. 2).

Генерацию GPRMC-строки выполняет микроконтроллер PIC18F452 [7]. В режиме синхронизации на вход микроконтроллера по интерфейсу RS-232 поступает GPRMC-строка с GPS-приемника, в которой содержится текущее время UTC и дата. Микроконтроллер проверяет достоверность данных, содержащихся в GPRMC-строке по символу "A"/"V" (позиция символов описана в стандарте NMEA0183 [6]). Если в течение 10 с микроконтроллер получал верные строки (символ "A" в GPRMC-строке), то он сам начинает генерировать GPRMC-строку с текущим временем и датой по приходу PPS-импульса от блока счетчиков.

На рис. 3 представлен упрощенный алгоритм работы микроконтроллера. После инициализации, происходящей при включении питания, микроконтроллер проверяет статус всех систем. При этом проверяется, функционирует ли генератор, задающий частоту 10 МГц, подключен или нет GPS-приемник, верны или нет текущие дата и время. Если все условия выполнены и верны, то по приходу PPS-импульса от блока счетчиков микроконтроллер приступает к генерации собственной GPRMC-строки в соответствии со стандартом NMEA0183 [6] и передает ее по интерфейсу RS-232 потребителю. Если GPS-приемник уже был подключен и эмулятор работал >1 с в автономном режиме, то при следующем подключении GPS-приемника будет измерена ошибка, накопленная эмулятором за время автономной работы, и произведена повторная синхронизация фронтов PPS-импульсов GPS-приемника и GPS-эмулятора. Готовая GPRMC-строка передается на выход эмулятора GPS-приемника по интерфейсу RS-232.



Рис. 3. Блок-схема программы микроконтроллера эмулятора GPS-приемника.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ВЫВОДЫ

Для определения отклонения времени, поддерживаемого эмулятором, от UTC, определяемого по восходящему фронту PPS-импульса GPS, и выбора оптимального типа задающего генератора были проведены лабораторные испытания устройства с использованием двух типов задающих генераторов – кварцевого термостатированного генератора ОСХО8663 компании Oscilloquartz [8] и рубидиевого стандарта компании Ball-Efratom.

На рис. 4а приведены результаты испытаний эмулятора GPS с использованием кварцевого термостатированного генератора ОСХО8663. На рис. 4а (кривая 1) видно, что отклонение времени, поддерживаемого эмулятором от UTC, определяемого по восходящему фронту PPS-импульса GPS, составило ≤ 9 мс за 20 ч. Линейное

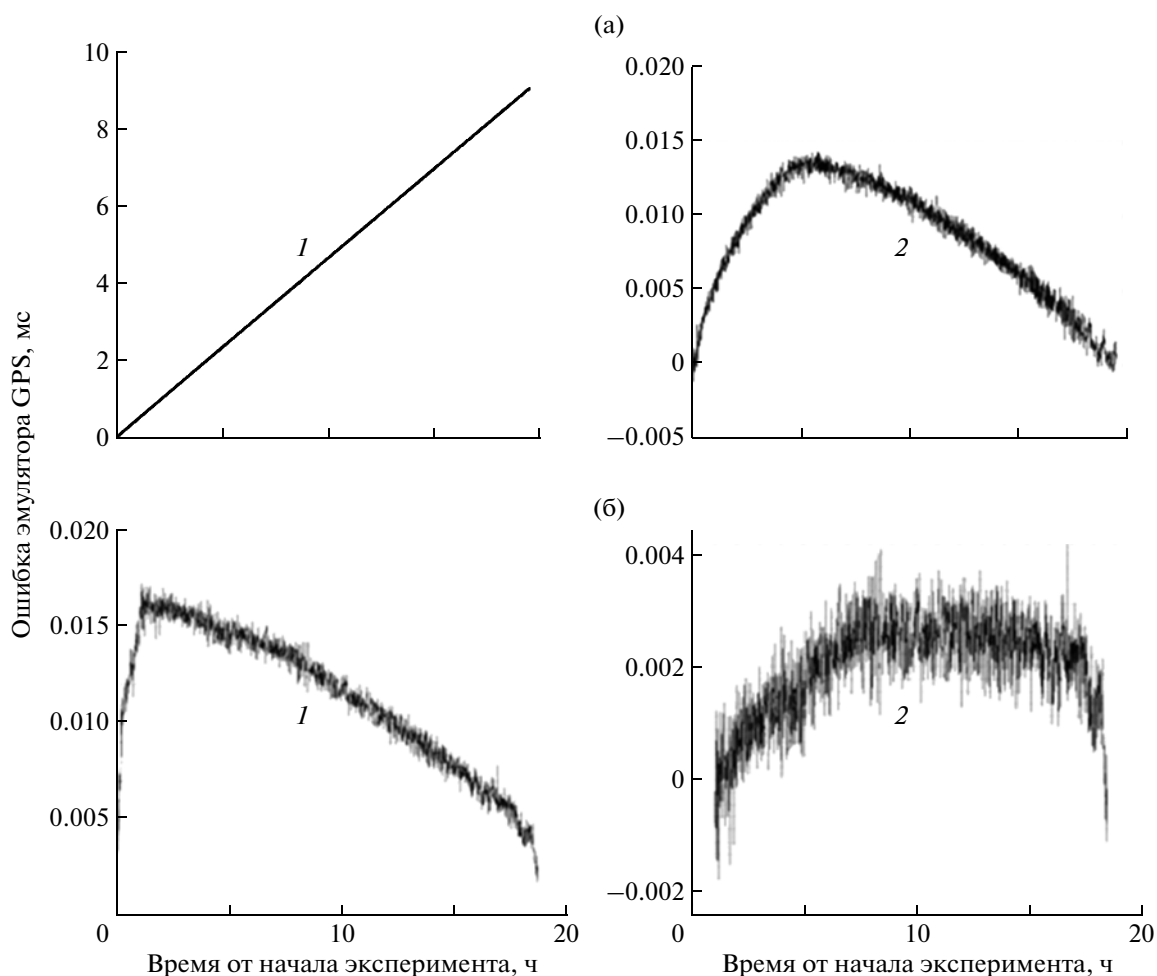


Рис. 4. Результаты эксперимента с использованием кварцевого термостатированного генератора (а) и рубидиевого генератора (б) с линейным трендом (1) и без тренда (2).

поведение ошибки следования PPS-импульсов эмулятора GPS позволяет вычислить и исключить линейный тренд, получив после этого более высокую точность привязки временных меток к UTC. На рис. 4а (кривая 2) видно, что после исключения линейного тренда отклонение времени, поддерживаемого эмулятором, от UTC, определяемого по восходящему фронту PPS-импульса GPS, составило ≤ 15 мкс за 20 ч, что позволяет, например, измерять в течение суток фазу сигнала на частоте 100 Гц с погрешностью $\sim 0.1^\circ$.

Результаты испытаний эмулятора с использованием рубидиевого стандарта в качестве задающего генератора приведены на рис. 4б. На рис. 4б (кривая 1) видно, что отклонение времени, поддерживаемого эмулятором, от UTC, определяемого по восходящему фронту PPS-импульса GPS, составило ≤ 15 мкс за 20 ч. На рис. 4б (кривая 2) видно, что после исключения линейного тренда отклонение времени, поддерживаемого эмулято-

ром, от UTC, определяемого по восходящему фронту PPS-импульса GPS, составило ≤ 4 мкс за 20 ч.

Используемые в эмуляторе радиоэлементы выбраны исходя из требований минимального энергопотребления и минимальной задержки сигнала. Напряжение питания схемы эмулятора 5 В, потребляемый ток ~ 200 мА (без GPS-приемника и задающего генератора), диапазон рабочих температур от 0° до $+50^\circ\text{C}$.

Для синхронизации эмулятора с мировым временем могут быть использованы GPS-приемники любых типов, позволяющие получить PPS-импульс и GPRMC-строку по интерфейсу RS-232, и любой генератор сигналов, имеющий выходную частоту 10 МГц и совместимый по уровню сигнала с т.т.л.-микросхемами. Имеется возможность оценки линейного тренда частоты задающего генератора для корректировки значений временных меток при обработке данных, синхронизированных с UTC. В результате проведенных испытаний выявлено, что отклонение времени, поддерживаемого

мого эмулятором, от истинного мирового времени, определяемого по восходящему фронту PPS-импульса GPS, при использовании термостатированного кварцевого генератора составляет ~0.75 мкс/ч. Чтобы достичь более высокой точности временных меток в течение длительного времени, можно использовать рубидиевый стандарт частоты. При этом уход часов эмулятора относительно UTC не превышает 0.02 мкс/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пильгаев С.В., Ахметов О.И., Филатов М.В., Федоренко Ю.В. // ПТЭ. 2008. № 3. С. 175.
2. Федоренко Ю.В., Пильгаев С.В., Филатов М.В., Ахметов О.И. // ПТЭ. 2009. № 4. С. 179.
3. <http://www.symmetricom.com/products/gps-solutions/embedded-subsystems/TimeMAX/>
4. <http://www.eso-web.com/292.htm>
5. <http://www.masterclock.com/products/gps200.php>
6. http://www.nmea.org/Assets/100108_nmea_0183_sentences_not_recommended_for_new_designs.pdf
7. <http://www.microchip.com/wwwproducts/devices.aspx?ddocname=en010296>
8. http://www.oscilloquartz.com/file/pdf/8863_da_screen.pdf