

Беспроводная система синхронизации времени

на основе сигналов навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS

Олег Пушкарев
o.pushkarev@compel.ru

Во многих радиотехнических устройствах требуется источник точного времени. Один из стандартных вариантов – использовать в качестве времязадающего элемента кварцевый резонатор и вести счет времени с помощью специализированной микросхемы или путем организации программного таймера. При использовании хороших кварцев данный метод позволяет достичь точности порядка 2–8 с в сутки [1].

В необслуживаемых системах уход времени на 8 с в сутки приводит к погрешности в 48 мин. в год, что в большинстве случаев недопустимо. Используя для синхронизации времени сигналы спутниковых навигационных систем, можно обеспечить точность встроенных часов не хуже десятков наносекунд на любом промежутке времени. Сигналы точного времени передаются обеими действующими на сегодняшний день спутниковыми группировками — ГЛОНАСС и GPS. Большинство приемников имеют выход сигнала 1PPS, на котором каждую секунду появляется короткий импульс, синхронизированный со шкалой всемирного координированного времени (UTC). Несмотря на то, что точное время способен выдавать любой GPS-приемник, существуют и специальные решения, отличающиеся повышенной точностью и ориентированные именно на задачи синхронизации времени.

Интеллектуальная GPS-антенна Trimble Acutime Gold

Acutime Gold представляет собой компактный законченный GPS-приемник (рис. 1), предназначенный для монтажа на мачту и способный с высокой точностью выдавать импульсы временной синхронизации и точное время. Приемник Acutime Gold выполнен в водонепроницаемом UV-защищенном корпусе и может работать в промышленном диапазоне температур –40...+85 °С. Acutime Gold содержит патентованные алгоритмы обработки GPS-сигналов компании Trimble и является отличным решением для задач временной привязки и синхронизации, в том числе и в системах передачи данных. Это позволяет создать недорогое независимое решение по синхронизации времени для таких приложений, как измерительные устройства на трубопроводах, компьютерные сети, теле- и радиовещание, сотовые сети. Acutime Gold имеет интерфейс RS-422, который идеально подходит для длинных линий связи, которые неизбежны при монтаже приемника на крышах высотных зданий или на коммуникационных

вышках. В приемнике предусмотрена специальная команда, позволяющая компенсировать задержку распространения сигнала в длинном кабеле, который может иметь длину до 500 м.

Встраиваемый модуль Trimble Resolution SMT 66266-00

GPS-модуль Resolution SMT 66266-00 предназначен для применения в устройствах точной синхронизации времени и выпускается в SMD-корпусе 19×19 мм (рис. 2). От обычного GPS-модуля он отличается повышенной точностью сигнала PPS, который «привязан» к шкале времени UTC с расхождением не более 15 нс. Алгоритм работы модуля оптимизирован для выдачи высокоточных сигналов временной синхронизации. После включения Resolution SMT сначала фиксирует свое местоположение, для чего усредняется информация 2000 измерений координат. Затем приемник переходит в режим выдачи временных меток, используя вычисленное местоположение как фиксированную величину. Если точные координаты места установки известны, их можно загрузить заранее во флэш-память модуля. Специальный алгоритм TRAIM следит за целостностью (integrity) выдаваемых данных и исключает из расчета спутники с неадекватными параметрами. В режиме по умолчанию модуль не выдает наружу значения координат, однако использует их для отслеживания своего местоположения. Если в процессе работы произошло перемещение модуля более чем на 500 м (10 измерений подряд), то алгоритм первоначального определения местоположения запускается повторно. Resolution SMT можно перевести в режим выдачи обычных навигационных данных (PVT), однако точность сигналов временной синхронизации ухудшится примерно в 3 раза. Приемник имеет чувствительность –160 дБ и может одновременно отслеживать сигналы 14 спутников.



Рис. 1. GPS-приемник Acutime Gold



Рис. 2. GPS-модуль Resolution SMT 66266-00

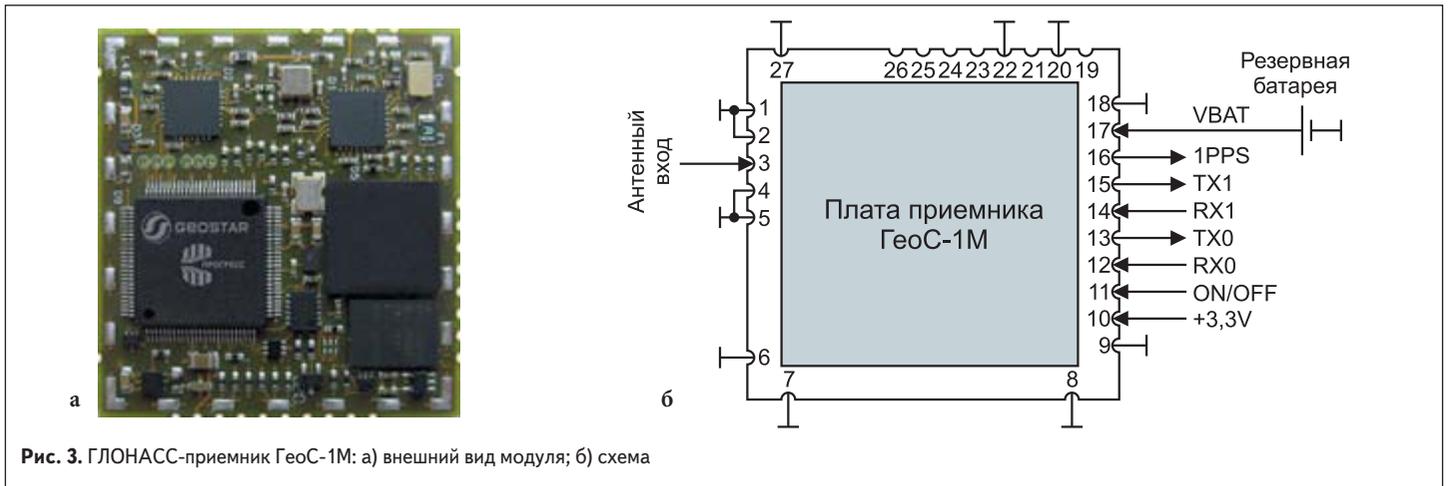


Рис. 3. ГЛОНАСС-приемник GeoC-1M: а) внешний вид модуля; б) схема

Отечественный ГЛОНАСС-приемник GeoC-1M

ГЛОНАСС-приемник GeoC-1M (рис. 3) выполнен в виде модуля для SMD-монтажа. Он предназначен для вычисления текущих координат и скорости объекта в реальном масштабе времени и формирования секундной метки времени. Принцип действия устройства основан на параллельном приеме и обработке 24-мя измерительными каналами сигналов навигационных спутников ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1 (ПТ-код) и GPS на частоте L1 (C/A-код). GeoC-1M может работать одновременно по сигналам как ГЛОНАСС, так и GPS Navstar. Это дает дополнительное преимущество в городских условиях, когда часть небосклона закрыта высокими зданиями. Специально для временных приложений предусмотрен режим фиксированных координат, когда сведения о размещении антенны вводятся в приемник в составе инициализирующих данных. Приемник формирует секундную метку времени с погрешностью синхронизации (при доверительной вероятности 0,997) к шкалам времени GPS, ГЛОНАСС, UTC, UTC(SU) не более 150 нс. Секундная метка времени представляет собой импульс, идущий с темпом 1 раз в секунду, с программируемой длительностью от 10 мкс до 2 мс. Для компенсации времени распространения сигнала в кабеле предоставляется возможность сдвига метки времени на фиксированную задержку в пределах ± 1 мс.

Если ограничиться точностью в пределах 1-2 секунд, то для получения времени можно использовать любой, самый недорогой GPS-модуль, выдающий стандартный NMEA-протокол. Значение времени присутствует в сообщениях RMC, GGA, GLL. Эти сообщения обычно выдаются каждую секунду и содержат время в формате ЧЧММСС:

```
$GPRMC,191334.00,A,5540.3649,N,03734.3873,E,0.00,10735,
207.5,151209,.,A*5D
$GPGLL,5543.50718,N,03739.16394,E,071650.00,A,A*67
$GPGGA,105845.00,5540.37072,N,03734.38519,E,1,05,1.89,
00234,M,0.14,M,.,*64
```

Однако указанное таким образом время относится к факту фиксации координат, а не к моменту выдачи собственно сообщения. Поэтому при

использовании этого времени точность не может быть такой же высокой, как при работе с сигналом PPS. В отличие от фиксации координат, когда необходимо «видеть» минимум 4 спутника, GPS-приемник может выдавать текущее время даже при приеме сигнала с 1 спутника. Благодаря этому факту значительно снижаются требования к видимости неба или к качеству приемной антенны. Далее мы будем вести речь именно о данном способе получения времени — в виде соответствующего поля в сообщении RMC. Прогресс в развитии элементной базы привел к заметному улучшению технических параметров GPS-модулей (размеры, чувствительность, потребление) и снижению их стоимости. Это позволяет использовать их в качестве источника точного времени в тех приложениях, где ранее применение GPS-технологий было невозможно по экономическим соображениям. Сегодня же себестоимость комплектующих деталей для создания модуля синхронизации времени не превышает \$20–30. При множестве достоинств технология GPS обладает одним существенным недостатком — она плохо или совсем не работает в закрытых помещениях. Можно получить сигнал у окна или даже в глубине комнаты, но ни один из производителей не может пока предложить GPS-решение, работающее в любой

точке помещения. Принципиальным моментом работоспособности GPS-приемника в зданиях является наличие больших окон или других путей прохождения радиосигнала спутников. Преодолеть это ограничение можно, если совместить GPS-модуль с технологией беспроводной передачи данных, например ZigBee или Bluetooth. В этом случае можно размещать GPS-модуль в оптимальном для приема месте, а точное время передавать по радиоканалу. Более того, обе части системы (т. е. приемник и передатчик) можно выполнить в виде полностью автономных устройств, требующих обслуживания лишь раз в несколько лет для замены батарей (рис. 4).

Приемник и передатчик могут большую часть времени находиться в спящем режиме, синхронно «просыпаясь» в согласованное время на короткий (единицы–десятки секунд) промежуток сеанса связи. Между сеансами связи, которые точно синхронизируют внутренние часы устройств, могут проходить часы или даже недели — за этот срок расхождение кварцевых осцилляторов не будет значительным. Максимальное потребление энергии происходит при включении GPS-модуля, однако время включения не превышает одной-двух минут при токе потребления порядка 30–50 мА (зависит от типа GPS-модуля). Потребление тока в спя-

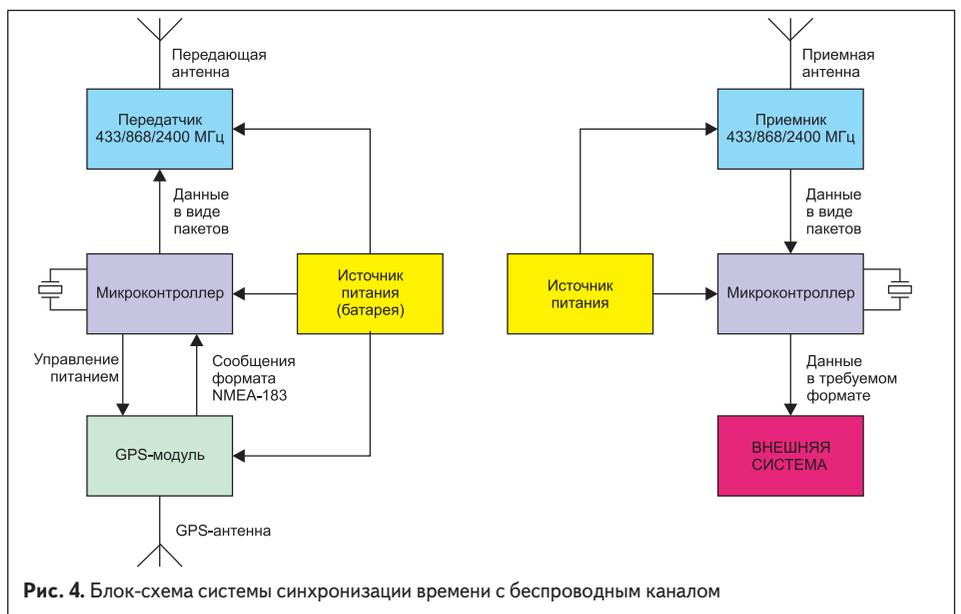


Рис. 4. Блок-схема системы синхронизации времени с беспроводным каналом

Таблица. Параметры системы временной синхронизации на базе модулей XBee

Технические параметры	Передатчик	Приемник
GPS-модуль	COPERNICUS II 63530-00	Нет
ZigBee-модуль	XB24-BUIT-004	XB24-BWIT-004
GPS-антенна	Активная, SMA-разъем	Нет
ZigBee антенна	Внешняя, SMA-разъем	Встроенная в модуль (внутри корпуса)
Внутренний стабилизатор	3 В	3 В
Резервное питание	4 батареи AA	3 батареи AAA
Время автономной работы	не менее 12 часов*	не менее 12 часов*
Поддержка спящего режима	Не реализована	Не реализована

Примечание:* – расчетное значение при использовании щелочных батарей (Alkaline).

щем режиме при работающих часах реального времени для современных микроконтроллеров составляет единицы микроампер. При использовании батарей максимальной емкости (10x А/ч) можно обеспечить автономную работу в течение 5–10 лет.

Система синхронизации времени с модулями XBee

Для проверки данной идеи было построено 2 прототипа системы синхронизации времени на основе сигналов GPS. Первая система (см. таблицу) реализована на базе модулей XBee [2], работающих в диапазоне 2400 МГц.

Передатчик системы (рис. 5) осуществляет прием NMEA-сообщений, выделяет значение времени из \$GPRMC и передает его через ZigBee-сеть в виде широкоэмиттерного сообщения, которое будет приниматься всеми узлами сети. Передатчик не содержит никаких органов управления, кроме кнопки включения питания. Встроенный ZigBee-модуль работает в режиме с управлением по AT-командам (прозрачный режим) с настройками «по умолчанию» (PAN ID = 234). На задней стороне корпуса расположены два SMA-разъема для подключения внешних антенн (GPS и 2400 МГц).

GPS-антенну необходимо расположить таким образом, чтобы обеспечить максимальный обзор открытого неба. Светодиод показывает активность встроенного микроконтроллера и текущее состояние ZigBee-модуля (подключен к выводу 15 «Associate»).

Приемник получает широкоэмиттерные пакеты ZigBee-сети, выделяет значение времени и отображает его на ЖК-дисплее (рис. 6). Встроенный XBee-модуль работает в режиме API и для нормальной работы должен входить в ту же сеть, что и приемник (единый идентификатор сети). После приема каждого пакета встроенный микроконтроллер запрашивает параметр мощности сигнала и отображает это значение в виде графической шкалы и в цифровом виде (в дБм). Приемник имеет внутренние часы, которые могут синхронизироваться по значению времени, поступающему от передатчика. В правом верхнем углу отображается время собственных часов (московское летнее). Принимаемое время от GPS-приемника отображается в правом нижнем углу ЖК-дисплея (UTC-время). На лицевой панели корпуса расположена зеленая кнопка ручной синхронизации внутренних часов и светодиод индикации состояния ZigBee-модуля.



Рис. 5. Передатчик системы



Рис. 6. Приемник на основе XBee-модуля

Система показала полную работоспособность проверяемой идеи. Благодаря использованию готовых к применению модулей XBee такую систему легко реализовать. На создание прототипа ушло не более 2 недель. Для увеличения радиуса действия между приемником и передатчиком можно размещать дополнительные ZigBee-роутеры, которые будут ретранслировать сообщения. Однако следует учитывать, что при

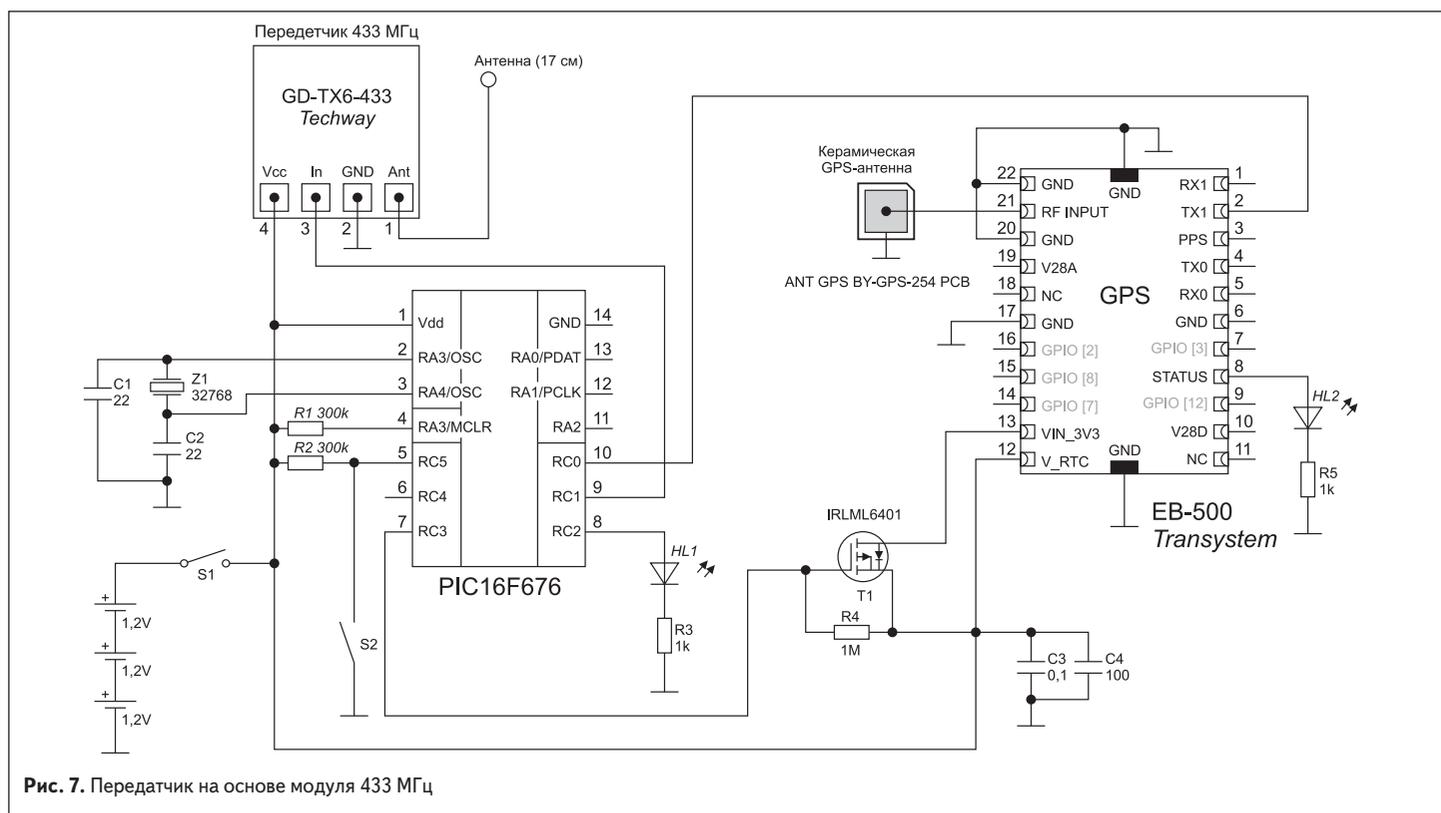


Рис. 7. Передатчик на основе модуля 433 МГц

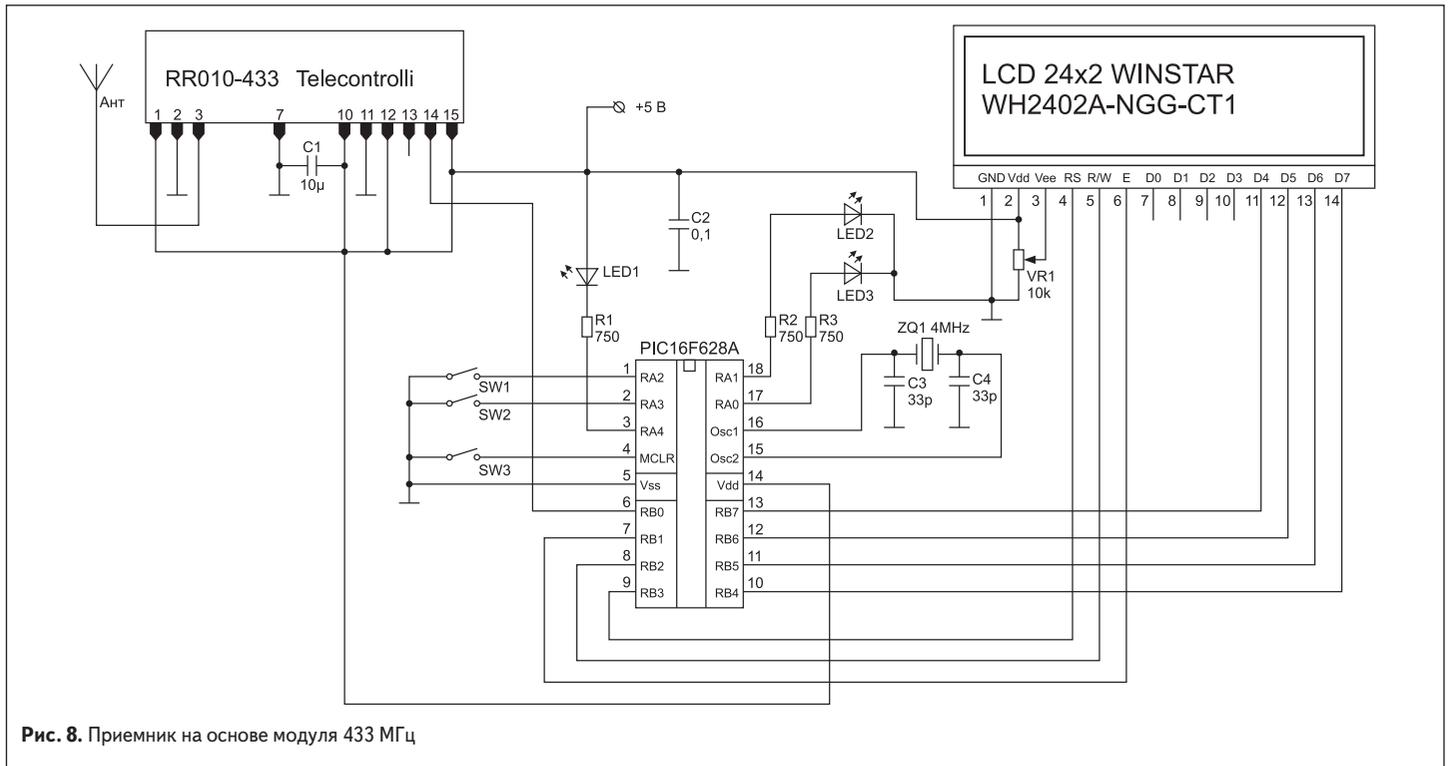


Рис. 8. Приемник на основе модуля 433 МГц

ретрансляции увеличивается время задержки и, что самое неприятное, его невозможно учесть. Поэтому для повышения точности и других технических и экономических параметров системы был разработан еще один прототип.

Система синхронизации времени с радиоканалом 433 МГц

Для снижения себестоимости и реализации работы системы в спящем режиме был разработан прототип, где в качестве радиоканала использовались дешевые модули Telecontrolli на 433 МГц. В созданном прототипе передатчик (рис. 7) постоянно находится в режиме сна, включая GPS-модуль один раз в сутки для синхронизации своих внутренних часов. Продолжительность работы GPS-модуля ограничена 90 с. За это время в 95% случаев удается принять сигнал спутника даже при 50%-ной видимости неба. Передача времени по радиоканалу осуществляется также один раз в сутки в заранее определенное время. Передатчик отправляет 5 радиопакетов, содержа-

щих текущее время с точностью до секунды. Пакеты передаются в начале каждой секунды на 5-секундном интервале времени. Если приемник (рис. 8) работает от сетевого источника питания, то его можно держать в активном состоянии постоянно. При батарейном питании приемник должен находиться в состоянии сна с идущими внутренними часами. Включение происходит только на время сеанса связи — один раз в сутки, для чего требуется синхронизация передающего и приемного узла. Однако это не вызывает никаких трудностей, т. к. оба элемента периодически получают информацию о точном времени. Для компенсации расхождения часов в течение суток приемник переходит в активный режим за 5 с до начала сеанса связи и находится в этом режиме в течение 15 с. Для удешевления передатчика используется пассивная керамическая антенна, радиопrotocol реализован программно в управляющем микроконтроллере. Если приемник по каким-то причинам вышел из режима синхронизации, то во время

ожидаемого сеанса связи он не будет получать значение времени. Если ожидаемых пакетов нет в течение 5 включений подряд, то приемник должен выполнить цикл синхронизации, для чего его нужно перевести в режим непрерывного приема на срок не менее суток. В течение цикла синхронизации схема потребляет значительный ток (~9 мА), заметно снижая ресурс батареи. Для ручной синхронизации приемника достаточно выключить его и включить вновь за 5 с до сеанса связи. На встроенный ЖКИ-дисплей выводится местное время (рассчитанное на основе полученного UTC-времени) и дополнительная служебная информация (рис. 9).

Заключение

Использование сигналов спутниковых группировок ГЛОНАСС и GPS для получения точного времени технически несложно и экономически целесообразно для многих применений — от уличных часов до систем АСКУЭ. Технические ограничения, связанные с приемом спутникового сигнала, можно обойти при использовании беспроводной технологии передачи данных в безлицензионных диапазонах. Использование радиоканала позволяет также организовать одновременную синхронизацию времени для множества устройств в сети. Современная малопотребляющая элементная база дает возможность реализовать автономную беспроводную систему синхронизации времени с продолжительностью работы до 5–10 лет. ■

Литература

1. Никитин А. Современные микросхемы часов реального времени с малым потреблением энергии. <http://www.compeljournal.ru/enews/2009/16/4>
2. Пушкарев О. ZigBee-модули XBee: вопросы практического применения. http://www.wireless-e.ru/articles/Components/2009_3_18.php



Рис. 9. Отображение принятой информации