

Беспроводная система точного времени с первичным датчиком от GPS

Часть 1

Павел Редькин (г. Ульяновск)

В статье описана система точного времени, получающая значение точного времени по GPS и синхронизирующая пользовательские часы по радиоканалу ZigBee.

В крупных учреждениях, организациях и офисах часто используются централизованные системы точного времени, состоящие из первичного датчика времени (мастер-часов, первичных часов), который выдаёт сигналы точного времени на несколько устройств (вторичных часов, часовых табло), находящихся в различных помещениях. В большинстве таких систем сигналы времени от первичных часов передаются на вторичные по проводным каналам, проложенным внутри здания.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ

Описанная в настоящей статье система точного времени построена по традиционной централизованной архитектуре, однако имеет следующие особенности:

- в заданном по умолчанию режиме работы системы первичные часы получают значение точного времени от встроенного модуля глобального спутникового позиционирования (GPS), который, в свою очередь, получает точное время через спутник от высокоточных атомных часов, отсчитывающих общемировое время;
- передача сигналов времени от первичных часов на вторичные осуществляется по радиоканалу в режи-

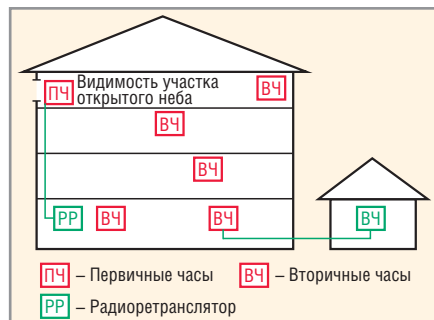


Рис. 1. Структурная схема беспроводной системы точного времени

ме широкоэвещательного доступа с помощью встроенных во все часы радиочастотных модулей, поддерживающих распространённый стандарт беспроводной передачи данных ZigBee. Поэтому для функционирования системы не требуется прокладка проводных линий, а максимальное количество подключённых к системе вторичных часов не ограничено. Система также обеспечивает возможность подключения к первичным и любым вторичным часам по проводному каналу (интерфейс RS-232);

- для всех вторичных часов возможно задание нескольких режимов приёма и отображения принятых значений или же автономного отсчёта времени и даты с периодической синхронизацией от первичных часов или вообще без таковой.

Структурная схема беспроводной системы точного времени приведена на рисунке 1. Красным цветом на схеме обозначены обязательные компоненты системы и связи между ними, зелёным – необязательные.

Согласно общим принципам функционирования системы GPS, определение пространственных координат объекта (местоположения GPS-приёмника) возможно при наличии одновременного уверенного приёма сигналов не менее чем от четырёх спутников. При этом вычисление координат производится встроенными средствами самого GPS-приёмника путём математической обработки данных, содержащихся в принятых сигналах. Получение GPS-приёмником информации о точном времени и дате обеспечивается при наличии уверенного приёма сигнала хотя бы от одного спутника, поскольку значения времени и даты содержатся в самом сигнале.

Таким образом, использование модуля GPS-приёмника в качестве первичного датчика времени при разработке систем точного времени представляется весьма привлекательным, что наводит на мысль об оснащении GPS-приёмниками всех вторичных часов. В этом случае отпадает надобность в построении какой-либо централизованной системы, учитывая, что стоимость GPS-приёмника сопоставима со стоимостью радиочастотного модуля. Однако приём сигналов GPS от спутников возможен не в любой точке, а только в пределах прямой видимости на спутник. Требуемые места установки вторичных часов внутри здания не всегда будут отвечать этому условию. Сигналы же выбранных радиочастотных модулей свободно распространяются вне прямой видимости, в частности, внутри зданий, сквозь стены и межэтажные перекрытия. Таким образом, надёжное функционирование системы достигается размещением антенны GPS-модуля первичных часов в месте, где гарантированно принимается сигнал хотя бы от одного спутника, а всех вторичных часов – в требуемых местах здания, но в пределах зоны уверенного приёма радиосигналов от первичных часов. Последнее условие на практике выполнить легче, чем обеспечить спутниковый приём.

При выборе радиочастотных модулей для предлагаемой системы ставилась задача достижения максимально возможной дальности уверенной связи вне прямой видимости (в пределах здания). Ввиду весьма малого объёма циркулирующих в системе данных, к максимальной скорости передачи данных по радиоканалу особых требований не предъявлялось. Из доступных на российском рынке радиочастотных модулей указанному требованию удовлетворяют радиочастотные модули типа XBP08 семейства XBee-PRO 868 производства корпорации Digi International [1].

В макете системы использовались модули XBP08-DPWIT-024 с интегрированной проводной антенной. По-

строенные на базе указанных модулей беспроводные устройства работают в диапазоне 868 МГц в дуплексном режиме на одном частотном канале. При этом мощность передатчика радиочастотного модуля может быть программно выбрана пользователем в диапазоне от 1 до 315 мВт. В условиях городской застройки вне прямой видимости заявленная производителем дальность установления связи составляет 550 м [2]. Работа указанных радиомодулей при передаче данных в пределах одного здания была проверена при максимальной мощности передатчиков. При этом устойчивая связь наблюдалась между радиочастотными модулями, разделёнными тремя бетонными межэтажными перекрытиями и крышей этого здания.

Скорость передачи данных по радиоканалу составляет 24 Кбит/с, однако большая часть (до 90%) этой полосы занята под служебные сигналы. Радиомодули обеспечивают двухсторонний обмен данными в нескольких режимах адресации по интерфейсу UART, который работает в диапазоне стандартных скоростей 1200...230 400 бит/с.

ПЕРВИЧНЫЕ ЧАСЫ

Формирование передаваемых по сети сигналов точного времени в первичных часах осуществляется следующим образом. После включения питания всего устройства модуль GPS-приёмника начинает поиск сигналов от спутников. В зависимости от конкретных условий приёма в точке нахождения GPS-модуля, процесс поиска может занимать от нескольких десятков секунд до нескольких минут. С момента включения питания GPS-модуль начинает передавать в микроконтроллер (МК) пакеты данных через последовательный интерфейс UART в соответствии с протоколом NMEA0183 [3]. В этом протоколе данные представлены ASCII-символами. По умолчанию периодичность передачи пакетов составляет 1 с, а точный состав данных в пакете зависит от конкретной модели GPS-модуля и его текущих настроек. В общем случае каждый пакет состоит из нескольких т.н. предложений (sentence), каждое из которых содержит определённый набор параметров: географические координаты GPS-приёмника, его высоту над уровнем моря, число доступных спутников в данной точке, текущие дату и время, курс, скорость GPS-приёмника и т.д.

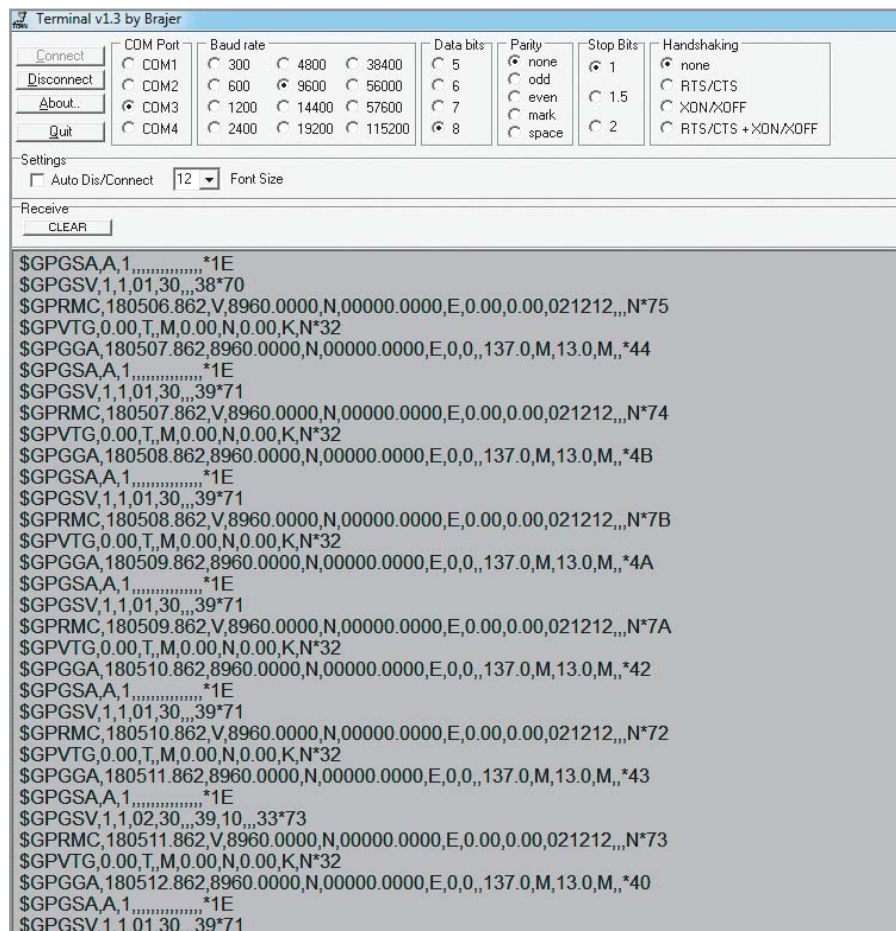


Рис. 2. Данные, поступающие по умолчанию из модуля GPS-приёмника

На рисунке 2 показаны данные, поступающие по умолчанию из GPS-модуля, использованного в предлагаемой системе. Каждое сообщение имеет следующий обобщённый формат:

```
$<talker ID><sentence ID>,[par1],[par2],...[*checksum]<CR><LF>
```

где: \$ – признак начала сообщения; talker ID – идентификатор источника сообщения (в нашем случае это GP, что соответствует источнику – спутнику системы GPS); sentence ID – идентификатор предложения; par*i* – значение параметра *i* в данном сообщении; checksum – контрольная XOR-сумма всех символов в строке между «\$» и «*»; CR, LF – символы возврата каретки (0x0D) и перевода строки (0x0A), обозначающие конец сообщения.

В нашем случае встроенная в МК программа первичных часов использует данные, содержащиеся в предложении с идентификатором (sentence ID). RMC – рекомендуемый минимум навигационных данных. По умолчанию это предложение входит в состав пакетов данных большинства моделей GPS-модулей различных производителей.

Типичный пример предложения RMC:

```
$GPRMC,123419.22,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394, ,W*6A
```

где: 123419.22 – время фиксации местоположения GPS-приёмника по всемирному координированному времени UTC. Имеет формат hhmmss.ss, где hh – часы, mm – минуты, ss.ss – секунды с сотыми долями. В данном случае 12 ч 34 мин 19,22 с; A – признак достоверности данных (A – достоверные, V – недостоверные); 230394 – дата фиксации местоположения GPS-приёмника по всемирному координированному времени UTC. Имеет формат ddmmyy, где dd – день месяца, mm – месяц, yy – последние две цифры года. В данном случае 23 марта 1994 г. Остальные параметры, содержащиеся в предложении RMC, в данном приложении не используются.

Число десятичных разрядов, выделяемых в предложении под значение каждого параметра, в общем случае может изменяться. Неизменным остаётся только количество «мест» под параметры, которые отделяются друг от друга запятыми. Если значение како-

го-то параметра не определено GPS-модулем, то оно не отображается, однако соответствующая запятая в сообщении всё равно присутствует. На этом и основан алгоритм выделения требуемых данных из пакета.

Управляющая программа МК первичных часов анализирует поступающий от GPS-модуля поток байтов и, найдя в нём символ \$, отмечает для себя начало очередного предложения. Затем программа анализирует содержимое полей предложения talker ID и sentence ID до нахождения сочетания GPRMC, после чего обнуляет свой программный счётчик запятых. Найденные путём подсчёта запятых значения времени, признака достоверности данных и даты, преобразуются программой и в виде короткой строки данных передаются из МК в радиомодуль через соответствующий порт UART.

Преобразование значения времени заключается в его переводе из формата всемирного координированного времени UTC в формат московского времени MSK (UTC отстаёт от MSK на 4 ч). Кроме того, программа отбрасывает дробную часть числа секунд. Преобразование значения даты заключается в следующем. С 0 до 4 ч каждых суток по московскому времени (соответствует интервалу с 20 до 24 ч по UTC) значение принимаемой со спутника даты для MSK является некорректным (отстаёт от корректной московской даты на 1 сутки), поэтому программа на этот период времени МК заменяет прочерками значение даты, передаваемое в радиомодуль. Остальную часть каждых суток значение даты, поступающее из GPS-модуля, транслируется в радиомодуль без изменений, как и значение признака достоверности данных.

Необходимо отметить, что в общем случае это значение указывает на достоверность только навигационных данных, вычисляемых самим GPS-модулем (например, координат) из всей совокупности принимаемых сигналов от спутников, но не относится к достоверности принимаемого сигнала от каждого отдельного спутника. Таким образом, принятые GPS-модулем значения времени и даты могут быть фактически достоверными даже при недостоверном значении «признака достоверности», поскольку, как уже говорилось, они содержатся в самом сигнале спутника. Это было учтено автором при разработке возможных режимов вторичных часов.

Помимо данных, извлечённых из информации GPS-модуля, первичные часы в составе информационной строки излучают в эфир свой собственный параметр – признак наличия/отсутствия звукового сигнала. Этот сигнал по умолчанию находится в пассивном уровне, а в активный переходит путём нажатия и удержания одной из кнопок управления устройством. На приёмной стороне (во всех вторичных часах) его можно использовать для генерации сигналов широковещательного оповещения, например, о начале/конце рабочего или учебного времени, перерыва на обед и т.п.

Таким образом, строка (пакет) излучаемых в эфир данных во внутреннем формате системы имеет следующий вид:

```
$[hhmmss] , [A] , [s] , [ddmmyy] ,  
<CR><LF>
```

где: \$ – признак начала сообщения; hhmmss – время в формате MSK, hh – часы, mm – минуты, ss – секунды; A – признак достоверности данных; ddmmyy – дата: dd – день месяца, mm – месяц, yy – последние две цифры года. В период с 0 до 4 ч по MSK это поле имеет вид: «-----»; s – признак наличия (1) или отсутствия (2) звукового сигнала; CR, LF – символы, обозначающие конец сообщения.

Периодичность передачи указанной строки из МК в радиочастотный модуль задана в программе равной периоду поступления пакета данных из GPS-модуля (по умолчанию 1 с).

Структурная схема первичных часов приведена на рисунке 3а. Основой устройства является МК, управляющая программа которого обеспечивает обработку сигналов от модуля GPS-приёмника, передачу обработанных сигналов в радиочастотный модуль, а также функции управления и индикации. МК, цепи управления и индикации, а также преобразователь уровней интерфейсов UART – RS-232 – в совокупности образуют узел, обозначенный на рисунке как контроллер.

Модуль GPS-приёмника и радиомодуль подключены к МК через аппаратные интерфейсы UART. Ещё один аппаратный порт UART микроконтроллера, снабжённый внешним преобразователем уровней интерфейсов UART – RS-232, используется в качестве консольного порта для тестирования, контроля и управления, а также для подключения

дополнительных устройств. Все порты UART установлены в режим асинхронного обмена данными с одинаковыми параметрами.

Заметим, что, с точки зрения минимизации аппаратных затрат, весьма привлекательным представляется вариант построения системы, при котором в составе первичных часов контроллер вообще отсутствует, а данные передаются из GPS-модуля непосредственно в радиомодуль без какой-либо обработки. Выделение из принятых со спутника данных значений времени и даты и преобразование формата времени в этом случае целиком возлагаются на вторичные часы. Однако от указанного варианта при проектировании системы решено было отказаться ввиду того, что в эфир передавалось бы много лишних данных.

Первичные часы могут функционировать в трёх различных режимах. После включения питания по умолчанию устройство переходит в рабочий режим (режим 0), в котором данные, поступающие из модуля GPS-приёмника, подвергаются программному преобразованию в описанный выше формат и с периодичностью 1 раз в секунду выдаются в порт подключения радиомодуля, а также в консольный порт.

Первый сервисный режим (режим 1) предназначен для проверки функционирования GPS-приёмника при его юстировке. В этом режиме данные, поступающие из GPS-модуля, без каких-либо преобразований и задержек передаются контроллером в консольный порт. Наблюдая эти данные в приёмном окне терминальной программы ПК, подключенного к консольному порту (см. рис. 2), можно судить о наличии и количестве доступных спутников в месте расположения GPS-модуля. Для указанной цели можно использовать NMEA-сообщение с идентификатором GSA – «факторы точности и активные спутники» или с идентификатором GSV – «видимые спутники». Прохождение информации в обратном направлении (из консольного порта в GPS-приёмник) в режиме 1 устройством не поддерживается.

Второй сервисный режим (режим 2) предназначен для проверки функционирования и пользовательской настройки радиочастотного модуля. В этом режиме контроллер обеспечивает двухсторонний обмен данными между консольным портом и портом

подключения радиомодуля без каких-либо задержек и программной обработки этих данных. По сути дела в этом режиме устройство является преобразователем уровней интерфейсов UART – RS-232 для радиочастотного модуля. Подробнее о тестировании и настройке радиомодуля будет сказано ниже.

Аппаратная платформа для реализации первичных часов была выбрана с учётом наличия в МК не менее трёх аппаратных интерфейсов UART. При этом приложение не предъявляет особых требований к производительности процессорного ядра МК. Указанным условиям удовлетворяет 32-разрядный МК LPC1768 производства фирмы NXP. В макете устройства LPC1768 использовался в составе отладочной (демонстрационной) платы MCB1760 производства Keil Software. На этой плате, помимо МК, имеется вся минимально необходимая аппаратная «обвязка»: стабилизаторы напряжений +3,3 В для питания цифровой и аналоговой частей МК, кварцевый резонатор, цветной графический ЖКИ, линейка светодиодов с драйверами, кнопка, пятипозиционный кнопочный манипулятор «джойстик», УМЗЧ с миниатюрной динамической головкой, разъём для программирования и отладки встроенных программ МК (ARM Standard JTAG Connector), разъёмы для подключения к четырём имеющимся в составе периферии МК интерфейсам UART, а также преобразователи уровней интерфейсов UART – RS-232 и стандартные 9-контактные гнезда D-Sub для двух из них. Типовой ток потребления платы от источника +5 В составляет 65 мА, максимальный – 120 мА.

Принципиальная схема первичных часов показана на рисунке 4, а общий вид макета устройства – на рисунке 5. Как можно видеть из рисунка, радиочастотный модуль ZigBee DA3 с элементами питания и «обвязки» (стабилизатор напряжения +3,3 В DA2, элементы R1, R2, R4 – R7, C1, C4, C5, C7, VD2) размещены на отдельной монтажной плате. Стабилизатор DA2 установлен на теплоотводе площадью 5...6 см² в виде лужёного участка фольги на монтажной плате. Номинальный ток потребления радиомодуля XBP08-DP от источника +3,3 В в режиме передачи (при максимальной мощности передатчика 315 мВт) составляет 500 мА, максимальный – до 800 мА; в режиме приёма – не более 65 мА. Модуль GPS-

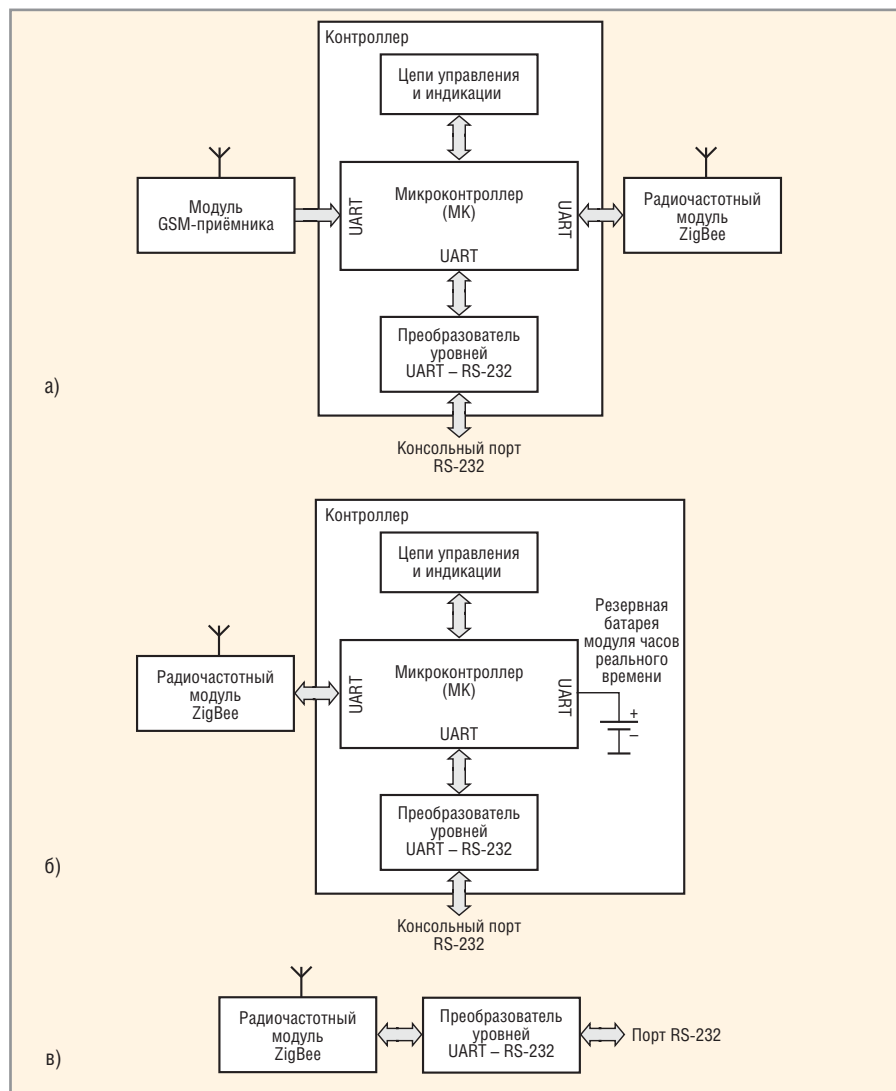


Рис. 3. Структурные схемы

а – первичных часов, б – вторичных часов, в – радиоретранслятора

приёмника DA1 также питается от стабилизатора DA2; максимальный ток потребления не превышает 50 мА. Таким образом, совокупный максимальный ток потребления всего устройства (при использовании платы MCB1760) по напряжению +3,3 В не превышает 970 мА. Питание всех стабилизаторов +3,3 В осуществляется от источника +5 В, который должен обеспечивать указанный ток нагрузки.

Схема остальной части первичных часов (контроллера), показанная на рисунке 4, представляет собой упрощённый вариант принципиальной схемы платы MCB1760, содержащий все необходимые для функционирования устройства элементы, цепи и соединения. Полная принципиальная схема платы в виде pdf-файла доступна в [4]. Разъём X4 JTAG, предназначенный для загрузки и отладки управляющей программы МК, – стандартный 20-контактный [6]. Каждый из конденсаторов C13 – C16, C17 – C22 должен

располагаться в непосредственной близости от соответствующего ему вывода питания МК DD1. Светодиоды HL1 – HL4 – любые малогабаритные для поверхностного монтажа, рассчитанные на рабочий ток 5...10 мА.

Переключение режимов осуществляется в устройстве по кольцу с помощью «штатного» манипулятора «джойстик» отладочной платы, в котором используется только одна позиция – «нажатие вниз». На схеме рис. 4 эта позиция показана в виде простой кнопки (SB1 «Режим»). Перевод в активный уровень признака наличия/отсутствия звукового сигнала производится нажатием на кнопку SB2 «Звук» (на оригинальной схеме платы эта кнопка обозначена INT0). Сигнал остаётся в активном уровне, пока эта кнопка удерживается нажатой. При этом устройство вырабатывает на выводе б DD1 контрольный звуковой сигнал – меандр с частотой 500 Гц, который может быть подан на вход «штат-

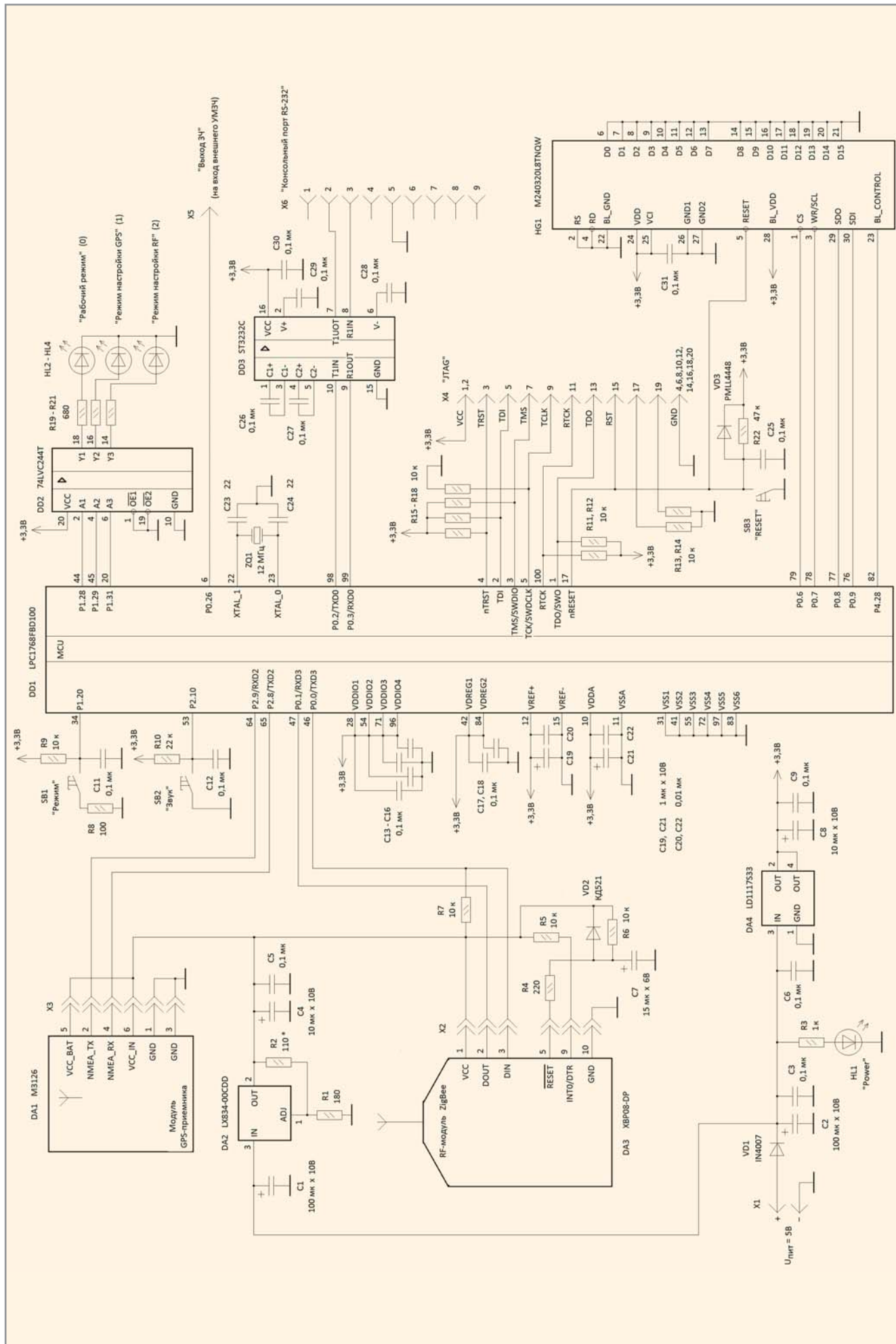


Рис. 4. Принципиальная схема первичных часов

ного» УМЗЧ платы или внешнего УМЗЧ (на схеме рис. 4 не показаны).

Индикация текущего режима осуществляется свечением соответствующего светодиода HL2 – HL4 в светодиодной линейке платы. Помимо этого, для отображения информации в устройстве используется «штатный» цветной графический ЖКИ HG1 разрешением 240×320 пикселей. Во всех режимах на этот индикатор выводится номер текущего режима устройства (Mode), а также признака наличия/отсутствия звукового сигнала (Alarm). В рабочем режиме на индикаторе также отображаются значения поступающих от GPS-приёмника времени и даты в форматах UTC и MSK и значение признака достоверности данных, как показано на рисунке 5. Заметим, что в конечном устройстве этот ЖКИ можно не устанавливать. Индикация режимов в этом случае будет производиться только светодиодами, а контроль функционирования можно осуществлять с помощью ПК, подключенного к консольному порту. В указанном случае не требуется вносить какие-либо изменения в управляющую программу МК.

В качестве GPS-приёмника в устройстве используется GPS-модуль DA1 M3126 [5]. Его применение обусловлено наличием интегрированной керамической антенны. Автор также проверял работу устройства с GPS-модулями Trimble 67650-10 и QUECTEL10 S2-W0156-L0006, совместно с которыми использовались внешние пассивные антенны, выполненные в виде простого куска одножильного провода длиной 9,5 см (1/2 длины волны частоты приёма GPS-модуля 1575,42 МГц). Во всех случаях в светлое время суток устойчиво принимались сигналы от одного или нескольких спутников.

Программирование и отладка встроенной программы МК производились с помощью JTAG-адаптера – программатора ULINK-ME, подключаемого к разъёму JTAG Connector МК отладочной платы и к ПК хоста через порт USB. Исходный текст управляющей программы и файл «прошивки» флэш-памяти МК, реализующей функции первичных часов, содержатся в каталоге проекта Tmmdat, архив которого доступен для загрузки с интернет-страницы журнала (www.soel.ru). Проект был подготовлен и отлажен в интегрированной среде разработки IDE

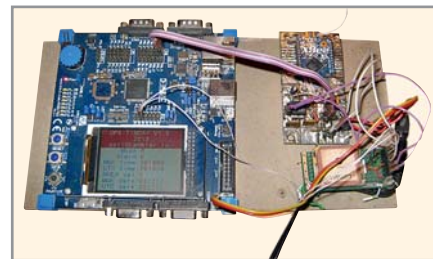


Рис. 5. Общий вид макета первичных часов

µVision4 V4.23, входящей в бесплатную версию программного пакета MDK-ARM

ЛИТЕРАТУРА

1. XBee-PRO 868. Long-range RF connectivity for European applications. <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/point-multi-point-rfmodules/xbee-pro-868.jsp#overview>.
2. XBee-PRO 868. Long-Range Embedded RF Modules for OEMs. www.digi.com/pdf/ds_xbee-pro868.pdf.
3. NMEA Makes Connections. <http://www.nmea.org/>.
4. <http://www.keil.com/mcb1700/mcb1700-schematics.pdf>.
5. <http://www.compel.ru/infosheet/WPT/M3126/>.
6. CoreSight Debug and Trace Connectors for ARM Cortex-M devices. <http://www.keil.com/coresight/connectors.asp>.

