

КВАРТИРНЫЙ РАДИОМОДУЛЬ ДЛЯ СИСТЕМЫ АСКУЭ

Ю. Мякочин¹, М. Бирюков², А. Гусаров³, И. Карпов⁴

УДК 621.317.78
БАК 05.11.00

Автоматизация учета энергоресурсов на всех этапах – от производства до потребления – непереносимое условие эффективного функционирования современных энергосистем [1]. Автоматизированная система коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) обеспечивает поступление точной информации о потребляемых и передаваемых энергоресурсах и оперативный доступ к полученным данным для выполнения расчетов, анализа и выработки оптимальной политики в области энергосбережения. Внедрение АСКУЭ – комплекса аппаратных и программных средств для дистанционного сбора, хранения и обработки информации – это способ снижения издержек и затрат на энергоресурсы, оптимизации потерь благодаря повышению точности данных при одновременном сокращении времени на их получение и обработку. Новый прибор группы компаний "Миландр" – квартирный радиомодуль – предназначен для автономного и автоматизированного сбора данных от устройств учета энергоресурсов и датчиков обнаружения аварийных ситуаций, имеющих импульсный выход.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА

Основные элементы АСКУЭ АО "ПКК Миландр": микропроцессорные счетчики электрической энергии, коммуникационные хабы, устройства сбора и передачи данных (УСПД), центральный сервер системы [2]. **Микропроцессорные счетчики** электрической энергии отвечают за измерение электрической энергии, передачу данных измерений на УСПД, прием и выполнение команд от УСПД. **Коммуникационные хабы** служат для сбора и передачи на УСПД данных измерений со счетчиков воды, газа, тепла и датчиков аварийной ситуации, приема и выполнения команд от УСПД.

Основные функции УСПД: организация сети передачи данных, сбор данных измерений с приборов учета энергоресурсов, прием и передача сервисных команд устройствам от центрального сервера, диагностика состояния сети, регистрация сообщений об ошибках, контроль текущего состояния устройств, подключенных к системе АСКУЭ [3].

Центральный сервер системы отвечает за сбор и обработку информации для формирования счетов, осуществляет биллинг, удаленное управление счетчиками и хабами, мониторинг технического состояния, а также удаленное конфигурирование и обновление программного обеспечения элементов системы.

Квартирный радиомодуль (рис.1) (далее – радиомодуль) в терминологии системы АСКУЭ – это коммуникационный хаб, предназначенный для эксплуатации в местах, где затруднен доступ к приборам учета воды,

¹ АО "ПКК Миландр", директор ЦП РЭА, myakochin.yuri@ic-design.ru.

² АО "ПКК Миландр", ведущий инженер, biryukov.m@milandr.ru.

³ АО "ПКК Миландр", инженер, gusarov.a@milandr.ru.

⁴ АО "ПКК Миландр", инженер, karпов.i@milandr.ru.



Рис.1. Внешний вид квартирного радиомодуля

газа, тепла или необходимо обеспечить автономный сбор и передачу данных измерений на УСПД.

Радиомодуль имеет четыре входа данных: два счетных и столько же аварийных. Счетные входы предназначены для подключения приборов учета энергоре-

сурсов (воды, газа и т.д.), аварийные – для подключения внешних аварийных датчиков (протечки воды, внешнего магнитного воздействия и т.д.). Радиомодуль позволяет подключать устройства, имеющие импульсный выход: герконовый, логический (потенциальный) или транзисторный. Радиомодуль обеспечивает хранение полученных от приборов учета данных в энергонезависимой памяти – результаты измерений не пропадут даже при потере напряжения питания.

В качестве источника питания используются две батареи типа "АА" (пальчиковые), радиомодуль контролирует напряжение на батареях и сигнализирует УСПД в случае необходимости их замены. Средний срок службы батарей до замены составляет шесть лет. Интерфейсом связи между радиомодулем и другими устройствами АСКУЭ служит радиоканал (работает на частоте 868 МГц в соответствии с разрешенным частотным диапазоном для свободного использования радиопередающих устройств на основании решений Государственной комиссии по радиочастотам). Ряд проведенных исследований, включающих математическое моделирование антенной части радиомодуля, позволили добиться чувствительности радиочасти на уровне минус 100 дБм.

Радиомодуль имеет класс защиты корпуса от проникновения внешних твердых предметов, пыли и воды – IP68, и рассчитан на работу при температуре окружающей среды от –10 до 50°C. Для оптимального автономного функционирования устройства используются специализированная элементная база и программный алгоритм, что позволяет удерживать ток потребления, не превышающий 7 мА в основном режиме работы радиомодуля.

При каждом сеансе связи с УСПД радиомодуль обеспечивает:

- внешнее программирование расписания сеансов обмена данными;
- внешнее программирование интервала ведения журнала событий;
- передачу измеренных данных и данных из журнала событий;
- синхронизацию даты и времени.

Журнал событий в каждой своей записи содержит следующую информацию:

- дату и время события;
- число импульсов, поступивших на каждый счетный вход изделия;
- значение напряжения электропитания;
- значение измеренной температуры внутри корпуса изделия;
- данные о возникающих аварийных событиях.

Точность ведения даты и времени при отсутствии внешней синхронизации от УСПД обеспечивается встроенными в радиомодуль часами реального времени (точность ± 2 с/сутки).

МИКРОСХЕМЫ РАДИОМОДУЛЯ

Радиомодуль построен на базе 16-разрядного микроконтроллера MSP430FR5867 фирмы Texas Instruments. Контроллер создан на основе ядра MSP430 и содержит 1 Кбайт энергозависимой оперативной памяти, а также 32 Кбайт энергонезависимой сегнетоэлектрической оперативной памяти (FRAM). Последняя выгодно отличается от других типов энергонезависимой памяти уровнем энергопотребления и возможностью хранения значительного объема записей журнала. Тактируется контроллер от внутреннего генератора тактовой частоты, настроенного на частоту импульсов 1 МГц. Для снижения потребления энергии (при необходимости) можно выключить ядро контроллера, оставив периферию в рабочем состоянии. Из периферии разработчику доступно несколько аппаратных таймеров (возможен захват фронта сигнала, поступающего с порта ввода-вывода без задействования процессорного ядра), часы реального времени, а также 12-разрядный АЦП, позволяющий получать данные с внутреннего температурного датчика.

Для внештатных ситуаций предусмотрен сторожевой таймер.

За радиообмен по интерфейсу RF-868 отвечает микросхема CC1200 фирмы Texas Instruments, связанная с микроконтроллером по интерфейсу SPI. Микросхема обеспечивает отправку и прием пакетов, первичную проверку корректности посылки. Отправленные и принятые пакеты, а также управляющие команды передаются по интерфейсу SPI, в то время как о завершении отправки или о получении сообщается сигналом. Одна из ключевых особенностей микросхемы – режим Sniff-mode, позволяющий не держать микросхему постоянно в состоянии приема посылки (RX-mode), а включать его на время. Такой режим снижает энергопотребление микросхемы в процессе приема в 47 раз (0,5 мА против 23,5 мА).

СТРУКТУРА ПО

При создании программного обеспечения, помимо реализации основного функционала, преследовалась цель обеспечить как можно более низкое энергопотребление модуля. Описанные выше особенности контроллера позволяют в полной мере реализовать эту задачу.

Прошивку условно можно разделить на три модуля определенного назначения.

Первый – модуль инициализации. Запускается сразу при подаче питания на контроллер. Предусматривает инициализацию портов ввода-вывода, настройку часов реального времени, АЦП, таймеров для счета импульсов, а также инициализацию и проверку работы RF-трансивера. Его рабочий режим сопровождается кратковременной световой индикацией. По окончании работы управление передается следующему модулю.

Второй программный модуль запускается сразу после окончания работы первого. В круг его задач входят управление состояниями радиомодуля, ведение журнала событий, контроль напряжения питания и температуры внутри модуля, а также включение/выключение RF-трансивера. Включается RF-трансивер только во время сеанса связи по протоколу, речь о котором пойдет ниже. Системы, регистрирующие счетные импульсы со счетчиков, работают параллельно с остальными системами и не зависят от активности ядра микроконтроллера. Ядро большую часть времени выключено, включается только по сигналу от часов реального времени, сигналу тревоги от счетчиков или сигналу от RF-трансивера.

Внешние события обрабатываются в модуле внутри "вечного" цикла, после каждой итерации которого микроконтроллер переключается в режим понижен-

Таблица. Соответствие стека протоколов радиомодуля модели OSI

Модель OSI		
уровень	используемый протокол	функции
Прикладной	MODBUS PDU (с модификациями)	Доступ к сетевым службам
Представления		Представление данных
Сеансовый		Управление сеансом связи
Транспортный	G3PLC-Adaptation (в будущем 6LOWPAN)	Связь между конечными пунктами
Сетевой	G3PLC-Adaptation	Маршрутизация и логическая адресация, шифрование, ячеистая топология сети
Канальный	G3PLC-МАС	Физическая адресация и сегментация
Физический	RF 868 МГц 2-GFSK	Работа со средой передачи и сигналами

ного энергопотребления. Установленный внутри этого цикла строгий приоритет разных запросов исключает возможность возникновения нештатных ситуаций, связанных с наступлением нескольких событий одновременно. Кроме того, использование такой архитектуры значительно упрощает структуру программы. Запросы могут устанавливаться как при наступлении внешних событий (сигнал с RF, аварийный сигнал со счетчика), так и во время обработки пакета со стороны RF-868.



Рис.2. Внешний вид квартирного радиомодуля со снятой крышкой

Третий программный модуль, обрабатывающий принятые пакеты, не оказывает непосредственного влияния на состояние микросхемы. Однако во время его работы данные передаются по интерфейсу RF-868. После обработки пакета программа снова переходит ко второму программному модулю.

СЕТЕВОЙ СТЕК

Для встраивания радиомодуля в систему АСКУЭ используется стек протоколов, аналогичный реализованному в счетчиках электрической энергии (см. таблицу).

Верхние уровни (прикладной, представительский, сеансовый) построены на основе протокола MODBUS [4]. Отличие от оригинального протокола заключается в применении собственных кодов функций, произвольном размере регистров и расширенной четырехбайтовой адресации. Взаимодействие с радиомодулем начинается с открытия сеанса связи и завершается его закрытием, после чего устройство переходит в режим пониженного энергопотребления. Протокол предполагает наличие одного главного устройства (в системе АСКУЭ им является УСПД [3]) и ряда подчиненных. Взаимодействие устройств предусматривает обмен парами пакетов по типу запрос-ответ, инициатором обмена может быть только главное устройство. Список команд, поддерживаемых устройством, включает в себя управление сеансом связи, чтение и запись внутренних объектов устройства (таких как поля регистров, данных и т. д.), установку часов реального времени и работу с внутренним журналом.

Для обеспечения безопасности предусматривается механизм разграничения доступа к объектам устройства. Сеанс связи может быть открыт с одним из трех уровней прав доступа: **пользовательским**, позволяющим только чтение некоторых внутренних объектов, **уровнем администратора** – управление такими параметрами устройства, как часы реального времени, время выхода на связь, интервал снятия информации, и **уровнем разработчика** – используется для первичной конфигурации радиомодуля.

Для реализации физического уровня в АСКУЭ используются два канала связи: основной Power Line Communications (PLC) и резервный (радиоканал), режим работы с двумя каналами называется гетерогенным [2, 5]. Так как радиомодуль работает от автономного источника питания и не связан с проводами электросети, в качестве физического уровня применяется только радиоканал на частоте 868 МГц.

Другие уровни сетевой модели соответствуют аналогичным уровням в гетерогенных модемах, которые используются в остальных устройствах системы АСКУЭ: счетчиках электроэнергии и УСПД.

Особенностью радиомодуля является отсутствие в нем отдельного модуля модема (рис.2). Данное решение обеспечило снижение энергопотребления и конечной стоимости устройства. Облегченная версия сетевого стека реализована на основном микроконтроллере радиомодуля. Поскольку радиомодуль выходит на связь только на небольшой промежуток времени в течение суток, он не может служить ретранслятором и является конечным устройством (PAN device) [6].

Для снижения количества обменов пакетами (наибольшим энергопотреблением модуль обладает, находясь в режиме радиопередачи) выгрузка журнала событий производится в упакованном виде, и ответом на один запрос событий может быть массив записей журнала. Данный подход позволяет в пять раз сократить число радиопосылок в течение одного сеанса связи.

РАБОТА В СОСТАВЕ АСКУЭ

После первого включения радиомодуль автоматически переходит в режим ожидания сеанса связи. УСПД производит настройку радиомодуля: инициализацию списка событий, настройку часов реального времени и времени следующего опроса. По окончании сеанса связи радиомодуль переходит в режим пониженного энергопотребления и выходит из него (пробуждается) только для снятия регулярных показаний каналов счета. Опрос радиомодулей в системе АСКУЭ реализован при помощи системы слотов времени с интервалом 15 мин, в течение которых производится опрос только одного устройства. Радиоинтерфейс устройства включается только на период своего слота времени. По достижении времени выхода на связь модуль пробуждается и включает радиоинтерфейс в режим ожидания сеанса связи. В течение следующего слота времени УСПД отправляет всем устройствам широковещательный запрос (broadcast), содержащий текущее значение часов реального времени, и открывает сеанс связи с радиомодулем. Затем запрашивается состояние радиомодуля и содержимое его журнала событий. Последним действием УСПД выставляет радиомодулю время выхода на связь в соответствии с расписанием опросов устройств АСКУЭ (приблизительно через одни-двое суток) и закрывает сеанс связи.

* * *

Система АСКУЭ, оснащенная квартирными радиомодулями, которые обеспечивают сбор и передачу данных от счетчиков воды, была организована на территории АО "ПКК Миландр". В конце марта 2017 года планируется развернуть систему АСКУЭ в одном из жилых домов в Томске. На июнь 2017-го намечены работы по сертификации квартирного радиомодуля как средства измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Павлюк М., Назаров А., Сахно Ю.** Автоматизированный учет электроэнергии. Модули связи PLC и ZigBee // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. 2014. № 7. С. 38–46.
2. **Мякочина М.** Архитектура АСКУЭ на базе решений компании "Миландр" // Компоненты и технологии. 2015. № 5. С. 108–111.
3. **Мякочин Ю., Шедяков Д., Кареев К.** УСПД на базе CORTEX-A9 – вклад в построение надежных систем для ЖКХ // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. 2016. № 8. С. 130–133.
4. Modbus Application Protocol Specification // Modbus-IDA. 2012.
5. **Мякочин Ю.** Современные тенденции развития PLC-модемов // Электронные компоненты. 2015. № 7. С. 34–35.
6. Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks // International Telecommunication Union. 2006.