

## Гетерогенная система связи для интерфейсов M2M в АСКУЭ

Использование автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) позволяет автоматизировать и упростить процесс сбора данных о потреблении энергоресурсов. Применение таких систем на современных объектах ЖКХ решает задачу получения и анализа большого количества цифровых данных. Канал, используемый для сбора данных, должен удовлетворять требованиям надежности, безопасности и масштабируемости. В течение последних лет в мире все большее распространение получают системы межмашинного взаимодействия (M2M), позволяющие устройствам самостоятельно обмениваться информацией между собой. В контексте АСКУЭ под M2M следует понимать автоматическую передачу не только информации о потреблении энергоресурсов, но и сервисной информации, обеспечивающей настройку и поддержание работы сети передачи данных без участия человека.

Алексей ГУСАРОВ  
gusarov.a@milandr.ru

Система АСКУЭ АО «ПКК Миландр» содержит устройство сбора и передачи данных (УСПД) [1], счетчики электроэнергии [2] и квартирные радиомодули (счетчики импульсов) [3], используемые совместно с приборами учета воды, газа и тепла с импульсными выходами.

Для работы в сети АСКУЭ счетчики электроэнергии и УСПД оборудованы гетерогенными модемами (рис. 1), обеспечивающими работу по нескольким сетевым интерфейсам. Под гетерогенностью понимается возможность работы с несколькими видами каналов связи. Гетерогенный модем имеет два вида физических интерфейсов: PLC и RF. PLC (Power Line Communication) — стандарт передачи данных по линиям электропередач (0,4 кВ), действующий в диапазонах CENELEC A (35–95 кГц) и CENELEC BCD

(95–148 кГц), первый из которых согласно ГОСТ Р 51317.3.8-99 выделен для поставщиков электроэнергии, а второй для потребителей. RF — это радиоканал, работающий в диапазоне 868 МГц в соответствии с разрешенным частотным диапазоном для свободного использования радиопередающих устройств на основании решений Государственной комиссии по радиочастотам.

Квартирные радиомодули являются автономными устройствами, устанавливаемыми в местах, где затруднен доступ к источникам электроэнергии (подвалы, стояки, санузлы и т. д.), и работающими от стандартных батарей форм-фактора AA. [3]

Обмен данными квартирного радиомодуля с УСПД происходит через ближайший к нему модем с интерфейсом RF (рис. 2). Основным каналом передачи данных между

модемами счетчиков электроэнергии является PLC, но из-за особенностей АЧХ линий электропередач на различных объектах, а также различной шумовой обстановки в них (рис. 3) в некоторых случаях может быть предпочтителен канал RF.

Система АСКУЭ поддерживает конфигурацию маршрутов, но ручное изменение дерева маршрутизации требует дополнительных трудозатрат со стороны оператора системы и может оказаться малопродуктивным в условиях динамически изменяющихся характеристик сети, таких как отключение приборов учета или изменение характера помех или поглощения в каналах.

Стандарт G.9903 (G3PLC) предлагает использовать адаптационный уровень для динамической маршрутизации, организации ячеистой (mesh) сети и IP-адресации версии 6. [5]

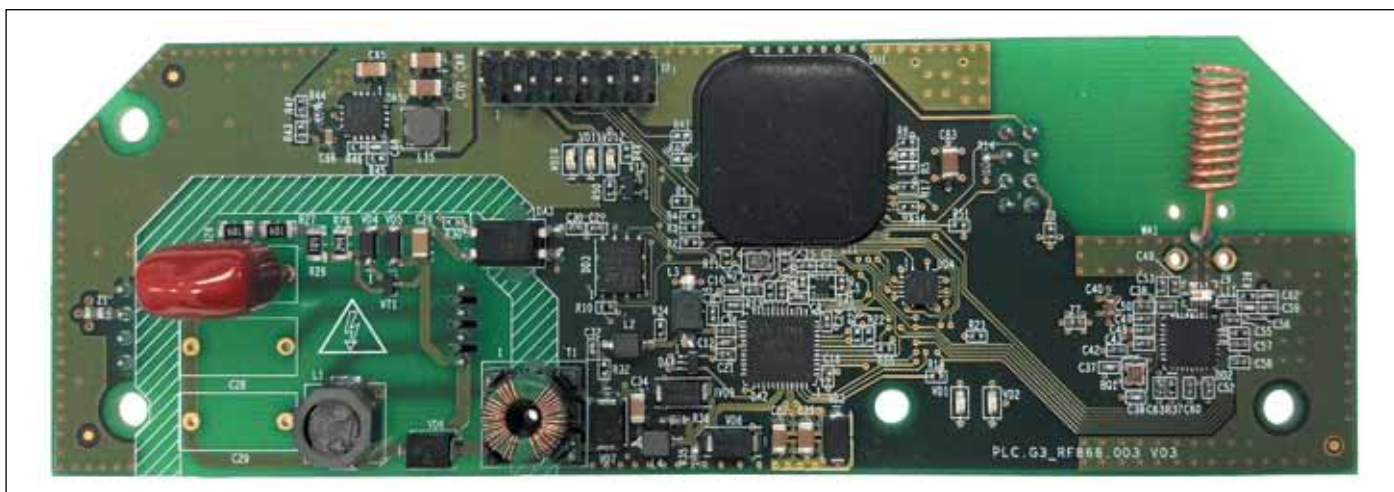


Рис. 1. Модем трехфазного счетчика электроэнергии

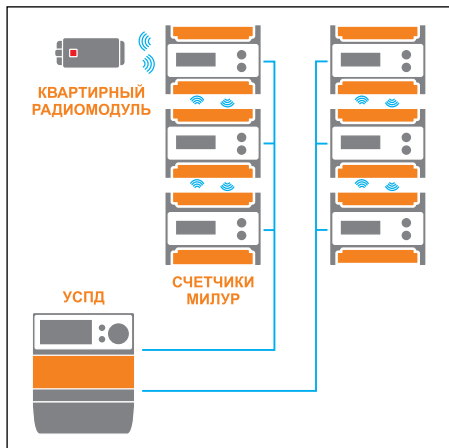


Рис. 2. Связь элементов системы АСКУЭ

Таблица. Сетевой стек, используемый в АСКУЭ

Уровень модели OSI	Стандарты	Протоколы
Прикладной	–	MODBUS PDU
Представления	–	–
Сеансовый	–	–
Транспортный	RFC793; RFC768	TCP/UDP
Сетевой	RFC2460; RFC4919; RFC4944	IPv6
Адаптационный	G.9903; RFC3748; RFC4764	LOADng; LBP; EAP
Канальный	G.9903	CSMA/CA; ARQ
Физический	G.9903   IEEE 802.15.4	

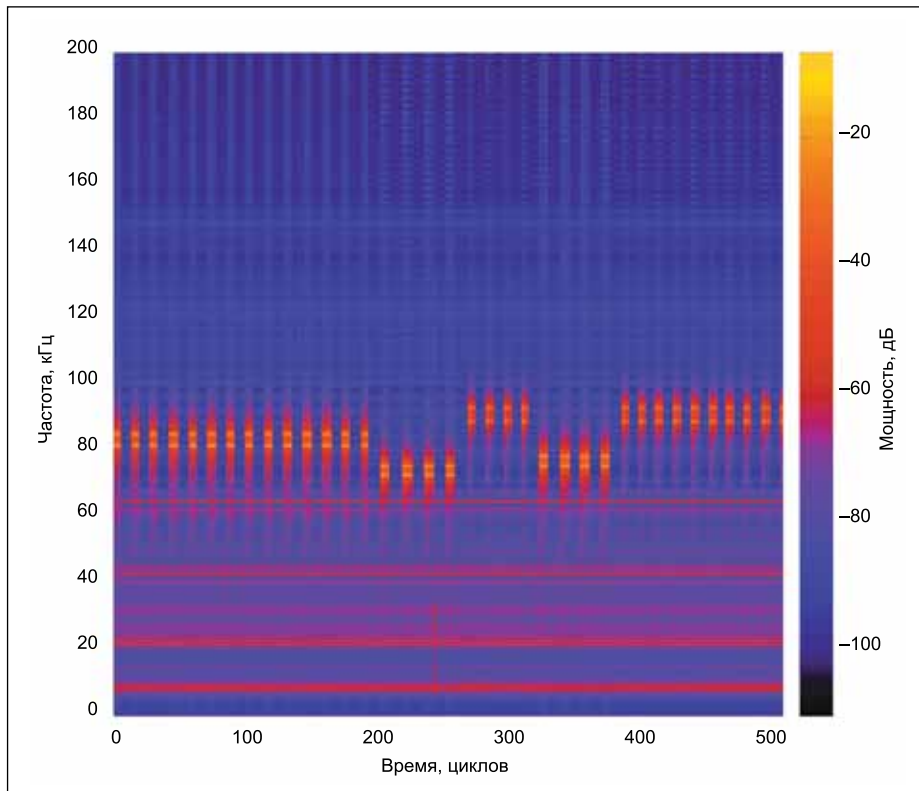


Рис. 3. Постоянные и периодические шумы в канале PLC в диапазоне CENELEC A

АО «ПКК Миландр» совместно с ООО «Астрософт» создана аппаратно-программная платформа для реализации самоподдерживающейся ячеистой сети в системе АСКУЭ.

Основным элементом модема служит сигнальный процессор 1967ВН044 производства АО «ПКК Миландр». Программное обеспечение модема построено на основе отечественной ОСРВ МАКС, разработанной ООО «Астрософт», действующей в режиме кооперативной многозадачности [6].

Механизмы, реализующие функционал уровней сетевого стека модели OSI (таблица), представлены в виде отдельных задач (потоков), использующих механизмы синхро-

низации и сообщения для обмена данными. Связь между уровнями осуществляется через рекомендуемые OSI стандартизованные SAP (Service Access Point): PD, PLME, MSDU, MLME, ADPD, ADPM и т. д.

Гетерогенные модемы поддерживают оба вида физических интерфейсов: PLC и RF. На данный момент производится три вида модемов (рис. 4, 5), отличающихся фактором и набором интерфейсов: модули для однофазных счетчиков электроэнергии (1 фаза PLC+RF), трехфазных счетчиков электроэнергии (1 фаза PLC+RF) и УСПД (6 фаз PLC+RF). Специальный тип модема для УСПД позволяет использовать одно-

УСПД для сбора данных с двух трехфазных вводов электроэнергии, что снижает общую стоимость системы.

Интерфейс PLC реализован программно с помощью вычислительных возможностей сигнального процессора. Физический уровень PLC выполнен в соответствии со стандартом G.9903, что позволяет устанавливать модемы АО «ПКК Миландр» совместно с модемами других производителей (при идентичности остальных уровней сетевого стека). Передача данных осуществляется при помощи OFDM-символов с использованием до 36 поднесущих в диапазоне CENELEC A и 16 поднесущих в диапазоне



Рис. 4. Модем УСПД





Рис. 5. Модем однофазного счетчика электроэнергии

CENELEC B. Выбор диапазона определяется принадлежностью и местом установки счетчика. Надежность канала обеспечивается одновременным применением кода Рида — Соломона и сверточного кодирования. Поддерживаются следующие виды модуляции: BPSK, QPSK, 8PSK и ROBUST (BPSK с четырехкратным повторением каждого бита). Используемая модуляция выбирается в зависимости от качества канала.

Для реализации RF-интерфейса применяется трансивер CC1200 производства Texas Instruments. Используется модуляция 2GFSK для уменьшения ширины выходного спектра. Текущая реализация частично совместима со стандартом IEEE 802.15.4, за исключением двух отличий: предусмотрена фиксированная частота трансивера вместо механизма канальных страниц и фиксированная длина пакета — 127 байт.

Объединение интерфейсов производится на канальном уровне. Канальный уровень соответствует стандарту G.9903 с собственным расширением, обеспечивающим поддержку нескольких сетевых интерфейсов. Формат MAC-кадров соответствует стандарту G.9903. Физическая адресация модемов (MAC адрес или Extended Address) выполняется на основе серийных номеров устройств, в которые они установлены. Для обеспечения работы устройств в общем канале используется алгоритм одновременного доступа к среде с предотвращением коллизий CSMA/CA (рис. 6).

Применение фрагментации на канальном уровне позволяет увеличить общую скорость передачи данных при доставке пакетов большой длины. Сборка полного пакета из фрагментов происходит на каждом устройстве,

участвующем в маршрутизации пакета, что позволяет уменьшить накладные задержки при ухудшении канала связи. Для предотвращения повреждения пакетов при потере отдельных кадров предусмотрен алгоритм ARQ (Automatic Repeat Request) с единичной длиной окна.

Между канальным и сетевым уровнями модели OSI добавлен адапционный, определяемый стандартом G.9903. Данный уровень позволяет верхним слоям сетевого стека работать с сетью по протоколу IPv6, реализуя абстракцию от внутренних подробностей выполнения сетевых и канальных алгоритмов.

Для маршрутизации предназначен протокол LOADng. Ввиду непостоянности характеристик интерфейсов и возможности динамического добавления и отключения устройств время жизни маршрутов (TTL) выбрано небольшим, что позволяет автоматически перестраивать маршруты при перерыве в обмене данными между устройствами. Используемый для маршрутизации интерфейс выбирается автоматически на основании данных о скорости канала (зависит от выбора диапазона PLC, поднесущих и модуляции или настроек RF-трансивера) и качестве доставки предыдущих пакетов (параметры LQI и RSSI приемника).

Для уменьшения накладных расходов внутри ячеистой сети используются пакеты формата LoWPAN с механизмом сжатия заголовков вместо классических IPv6-пакетов. Адапционный уровень так же, как и канальный, имеет механизм фрагментации (но уже без контроля доставки), что разрешает суммарно достигнуть 1280 байт полезной нагрузки (MTU), что необходимо для TCP/UDP-протоколов.

Для присоединения к сети и авторизации предлагается связка протоколов LBP/EAP (LoWPAN Bootstrapping Protocol/Extensible Authentication Protocol). В процессе присоединения к сети между УСПД и присоединяющимся узлом формируется защищенный канал связи и происходит обмен ключами, производные которых затем применяются на канальном уровне для шифрования трафика. Возможна периодическая смена используемых ключей шифрования.

Сетевой уровень может как присутствовать на модеме в случае работы модемов со счетчиками электроэнергии, так и отсутствовать в случае модема УСПД. Сетевой уровень в УСПД реализован в ОС GNU/Linux, модем является частным случаем обычного сетево-

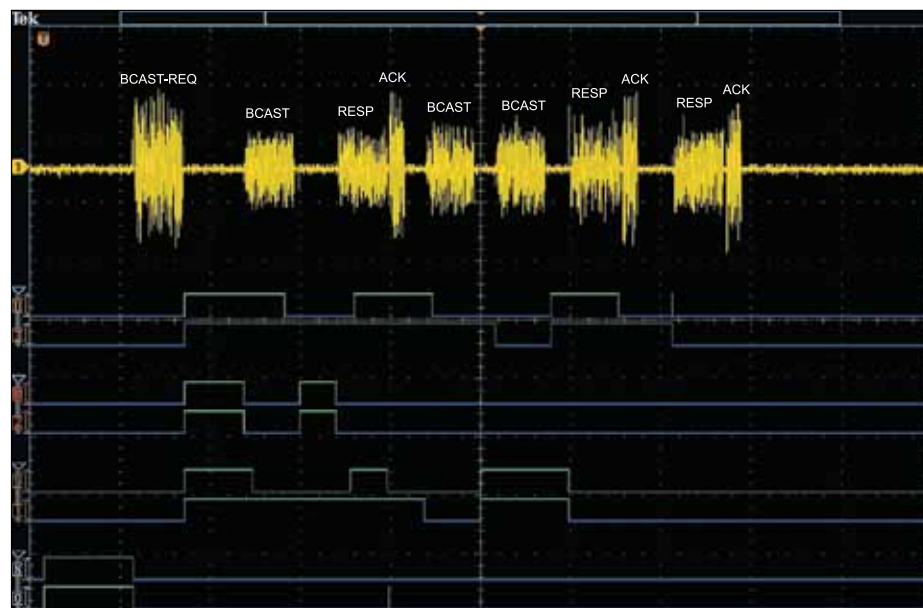


Рис. 6. Работа алгоритма CSMA/CA на широковещательном запросе для трех модемов

го адаптера с поддержкой IPv6. При работе со счетчиками электроэнергии IPv6-пакеты разворачиваются модемом до протокола прикладного уровня (MODBUS PDU для счетчиков производства АО «ПКК Миландр»).

Все вышеописанное верно и для квартирного радиомодуля, за некоторыми исключениями. Ввиду отсутствия доступа к линиям электропередач в местах установки квартирных радиомодулей, поддерживается только RF-интерфейс с соответствующими изменениями на канальном и адаптационном уровнях. Из-за необходимости длительного времени работы от автономного источника питания устройство большую часть времени находится в режиме пониженного энергопотребления с отключением большинства периферии, в том числе и RF-трансивера. Поэтому устройство может участвовать в маршрутизации только в качестве конечного решения, не поддерживая ретрансляцию пакетов.

Для ОС УСПД гетерогенный модем является специальным сетевым адаптером, позволяющим использовать стандартные протоколы TCP/UDP для обмена данными

с приборами учета. Также абстракция хранения и выдачи собранных данных, предусмотренная в УСПД, позволяет вышестоящим элементам системы (центральному или облачному серверу) получать информацию одинаковым образом, вне зависимости от того, какая версия сетевых устройств (с поддержкой ячеистой сети или статической маршрутизацией) имеется на конкретном объекте АСКУЭ.

Переход на новую версию сетевого стека позволяет автоматизировать процессы регистрации устройств и перестроения маршрутов. В результате сокращается время начальной настройки системы и упрощается поддержка ее работоспособности. Применение механизмов регистрации в сети и обмена ключами увеличивает общую защищенность системы сбора данных. Стандартные IPv6-адреса и протоколы TCP/UDP позволяют использовать ячеистую сеть АСКУЭ каждого объекта как часть «Интернета вещей», предусматривая масштабирование данного решения от уровня отдельного дома до района и даже целого города. ■

## Литература

1. Мякочин Ю., Шедяков Д., Кареев К. УСПД на базе Cortex-A9. Вклад в построение надежных систем для ЖКХ // Электроника: НТБ. 2016. № 8.
2. Алексеев А. Применение современных приборов учета электроэнергии для решения бизнес-задач // Энергетика (Алма-Ата). 2017. № 1 (60).
3. Мякочин Ю., Бирюков М., Гусаров А., Карпов И. Квартирный радиомодуль для системы АСКУЭ // Электроника: НТБ. 2017. № 2.
4. Cavdar I. H., Karadeniz E. Measurements of Impedance and Attenuation at CENELEC Bands for Power Line Communications Systems // Sensors (Basel). 2008. Dec. 8.
5. International Telecommunication Union G.9903 (Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks). 2006.
6. Форум IT-решений Global CIO. Проект года «Перевод всех типов процессоров АО «ПКК Миландр» на единую ОС — операционную систему реального времени МАКС». [www.globalcio.ru/projectoftheyear/2017/projects/#best\\_decision/51/project/920](http://www.globalcio.ru/projectoftheyear/2017/projects/#best_decision/51/project/920)