

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

## МОДУЛИ СВЯЗИ PLC И ZigBee

**М.Павлюк** pavlyuk.m@milandr.ru,  
**А.Назаров** nazarov.a@milandr.ru,  
**Ю.Сахно** nordfrost55@gmail.com

Автоматизация учета электроэнергии на всех этапах – от производства до потребления – неременное условие эффективного функционирования современных энергосистем. Автоматизированная система коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) обеспечивает не только точный учет и оперативный контроль потребляемой и передаваемой электроэнергии, но и 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 об энергетических потоках в электросетях – это способ снижения издержек и затрат на энергоресурсы, оптимизации потерь благодаря повышению точности данных при одновременном сокращении времени на их получение и обработку.

**О**сновные функции энергосистемы заключаются в доставке электроэнергии от поставщика потребителю и в передаче информации о пользовании энергоресурсами в центр обработки данных. Преимущества современной энергосистемы в том, что поставщику предоставляется возможность мониторинга в реальном времени полной информации об электроэнергии – произведенной, переданной и потребленной. Наличие такого инструмента позволяет получать актуальную информацию о текущем состоянии энергосистемы и благодаря оперативному контролю обеспечивать ее надежность.

Информационный обмен данными необходим для автоматизации процессов сбора и обработки показаний приборов. В условиях массового

применения счетчиков учета потребленной электроэнергии, получивших распространение в последнее время, оперативный анализ поступающих данных об энергопотреблении без использования автоматизированных систем представляет собой достаточно сложную задачу. Ее решение дает возможность потребителю получать подробную информацию об используемой электроэнергии и оптимизировать расход энергоресурсов, снижая тем самым общую нагрузку на энергосистему. Таким образом, обеспечение информационных потоков от конечных устройств учета электроэнергии – одна из основных задач на пути повышения энергоэффективности как генерирующими компаниями, так и потребителями.

При создании приборов учета энергоресурсов на основе российской электронной компонентной

базы компания "ПКК Миландр" особое внимание уделила возможности их использования в автоматизированных системах коммерческого учета электроэнергии. В частности, на этапе разработки конструкции счетчика был применен метод модульной компоновки. Суть метода состоит в том, что базовым элементом приборов учета энергоресурсов (счетчиков) является плата, на которой предусмотрен разъем, позволяющий подключать различные интерфейсные модули. Таким образом, возможность оснащения счетчиков модулями связи разных типов, доступных для конкретной модификации выпускаемых приборов учета, обеспечивает гибкость информационных каналов АСКУЭ. Компания "ПКК Миландр" предлагает следующие модули связи: RS-485, PLC, ZigBee, CAN, GSM.

Интерфейсы RS-485 и CAN зарекомендовали себя как надежные способы обмена данными в различных системах удаленного контроля и управления. Однако для построения сетей на основе этих интерфейсов необходимо прокладывать дополнительные линии связи, поскольку средой передачи данных в данном случае является витая пара. Использование GSM-канала для информационного обмена не требует прокладки коммуникаций, но услуги операторов сотовой связи составляют дополнительную статью расходов по оплате трафика. В результате развертывание АСКУЭ на базе каналов обмена данными RS-485, CAN или GSM потребует дополнительных финансово-временных затрат, что по мере расширения парка приборов учета электроэнергии может поставить под сомнение экономическую целесообразность данного мероприятия.

Организация обмена данными посредством PLC и ZigBee при построении сетей АСКУЭ выгодно отличается от описанных выше способов тем, что не требуется дополнительных затрат как на прокладку линий связи, так и на содержание сети. Остановимся подробнее на каждом из вариантов.

## МОДУЛЬ СВЯЗИ PLC

### Требования стандартов

Линии электропередачи – естественная среда передачи данных в системах учета потребленной электроэнергии. Общее название технологий, реализующих такой способ коммуникации между устройствами, – **PLC (Power Line Communication)**. Различают узкополосную и широкополосную передачу данных посредством технологии PLC. Узкополосная PLC-технология, обеспечивающая скорость обмена на уровне сотен килобит в секунду, используется для передачи данных между устройствами.

Широкополосная PLC-технология, предназначенная для организации офисных, промышленных или внутридомовых сетей, подходит как для обмена данными, так и для передачи мультимедийного контента на скорости от десятков до сотен мегабит в секунду. Одно из преимуществ PLC-технологии в том, что при развертывании сети не требуется прокладывать дополнительные коммуникации: провода электросети служат одновременно физической средой передачи информационного сигнала. Но это же накладывает определенные ограничения на выбор частотного диапазона и уровень передаваемого PLC-устройствами сигнала – должны обеспечиваться требования электромагнитной совместимости с другими устройствами, подключенными к электросети.

Так, в Европе действует CENELEC – стандарт передачи данных по электросетям, в США – FCC, а в Японии – ARIB. В России уровни сигналов, полосы частот и нормы электромагнитных помех при передаче данных по электрическим сетям регламентируются ГОСТ Р 51317.3.8-99. Согласно стандарту CENELEC под узкополосную PLC-технология выделен диапазон частот от 3 до 148,5 кГц. Причем внутри этого диапазона частоты от 3 до 95 кГц (диапазон CENELEC A) зарезервированы для использования только поставщиками электроэнергии. В соответствии с FCC для PLC-технологии выделяется диапазон частот от 10 до 490 кГц. В России, согласно требованиям ГОСТ Р 51317.3.8-99, передача данных по электрическим сетям в диапазоне частот от 3 до 95 кГц может осуществляться только энергоснабжающими организациями, а диапазон от 95 до 500 кГц предназначен для использования потребителями электроэнергии.

### Выбор типа модуляции

При передаче данных по PLC-технологии, как и любой другой технологии связи, передаваемые данные предварительно модулируются. В приемнике осуществляется демодуляция сигнала. Устройства, обеспечивающие передачу данных по электрическим сетям посредством PLC-технологии, называют PLC-модемами. Основными типами модуляции, которые применяются в PLC-модемах, являются частотная манипуляция (FSK – Frequency Shift Keying), частотная манипуляция с разнесенными частотами (S-FSK – Spread Frequency Shift Keying), различные виды фазовой манипуляции – двоичная (BPSK – Binary Phase Shift Keying), квадратурная (QPSK – Quadrature Phase Shift Keying), восьмеричная (8-PSK – 8 Phase Shift Keying) и ортогональное мультиплексирование с частотным

разделением каналов (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

При организации канала связи с использованием PLC-технологии необходимо учитывать, что электросети представляют собой наихудший вариант среды передачи сигналов с многочисленными источниками помех от подключенных к электросети устройств потребителей. К этому можно добавить и неэкранированные провода большой длины, и низкое качество электрической разводки, зачастую на основе алюминиевого провода, в котором затухание сигнала происходит быстрее из-за более высокого электрического сопротивления по сравнению с медным. В результате от выбора типа модуляции нередко зависят показатели скорости и надежности связи по электрическим сетям.

Следует заметить, что высокие скорости передачи данных и хорошая помехозащищенность влекут за собой увеличение сложности аппаратно-программной части PLC-модема, так как нужны дополнительные вычислительные ресурсы для выполнения необходимых алгоритмов и соблюдения повышенных требований к блоку питания устройства. Поэтому выбор PLC-модема – это компромисс между характеристиками канала связи и ценой конечного оборудования. Если с этих позиций оценивать применяемые в узкополосной PLC-технологии основные типы модуляций сигнала, то к преимуществам FSK, S-FSK и BPSK относятся легкость реализации и приемлемый уровень помехоустойчивости при нестабильности канала связи, а к недостаткам – невысокая скорость передачи данных. Более сложные в реализации модуляции QPSK и 8-PSK, но использование последней обеспечивает более высокий уровень помехоустойчивости и в три раза большую, по сравнению с вариантом FSK, скорость передачи.

Однако использование для передачи сигнала всего одной частоты при модуляции BPSK или двух – при FSK, S-FSK неэффективно с точки зрения диапазона частот, выделенного для PLC-технологии. Другой, еще более серьезный, недостаток в том, что при совпадении частоты помех с частотой передачи приемник не в состоянии корректно демодулировать сигнал, т.е. обмен данными невозможен. Подобных недостатков лишена модуляция с ортогональным мультиплексированием с частотным разделением каналов (OFDM).

Алгоритм OFDM строится по принципу разделения диапазона частот, отведенного для обмена данными, на несколько участков с определенной шириной, каждый из них используется для независимой передачи данных. При передаче входной

поток данных разделяется пропорционально количеству независимых каналов, причем скорость передачи в каждом канале ниже скорости входного потока. При приеме данные в каждом канале демодулируются, и исходный информационный поток восстанавливается. Причем в каждом элементарном канале частотного диапазона можно использовать модуляции типа BPSK, QPSK, 8-PSK и их разновидности. Таким образом, по мере изменения вида модуляций в каждом элементарном канале передатчик адаптируется к параметрам среды передачи сигнала, т.е. скорость передачи данных при наличии помех уменьшается либо увеличивается – при их отсутствии или снижении уровня. Кроме того, существует возможность отключения передачи данных в некоторых каналах при наличии в соответствующих частотных диапазонах, например, импульсных помех. Это особенно актуально, так как на практике нельзя исключить того, что в утренние часы помехи сосредоточены в полосе частот 40...60 кГц, а в вечерние – в полосе 80...90 кГц. Таким образом, алгоритм OFDM предусматривает возможность адаптации к параметрам среды передачи сигнала, что обеспечивает его высокую помехоустойчивость и надежность. В дополнение к этому значительно выше скорость передачи по сравнению с методами FSK, S-FSK и рассмотренными видами PSK. Однако выбор модуляции OFDM для организации каналов связи должен быть оправдан, так как относительно других видов модуляции, используемых в узкополосной PLC-технологии, системы на основе модуляции OFDM – самые сложные, а у PLC-оборудования – высокая стоимость.

### Стеки протоколов

В ходе развития автоматизированных систем учета и распределения электроэнергии, а также систем автоматизированного управления технологическими процессами, в которых успешно применяются каналы обмена данными с использованием PLC-технологии, возникла проблема несовместимости PLC-оборудования. Вследствие этого масштабируемость существующих систем была ограниченной, интеграция в них нового оборудования – сложной, а порой и невозможной. В таких условиях создание в энергосистемах глобальной сети и организация информационных потоков от конечных устройств учета электроэнергии к поставщику энергоресурсов представляет собой практически неразрешимую задачу. Преодолеть возникшие трудности оказалось возможным с помощью стандартов, регламентирующих использование

технологий передачи данных по электрическим сетям. На сегодняшний день существует несколько подобных стандартов. Большой вклад в развитие и стандартизацию PLC-технологий вносят электротехнические и электронные компании, образующие различные альянсы. Из наиболее известных объединений, ориентированных на разработку стандартов для автоматизированных систем контроля и управления энергоресурсами, – Open Meter, PRIME, ECHONET и G3-PLC.

В альянс Open Meter (Open Public Extended Network Metering) входят европейские компании – поставщики энергоресурсов и производители приборов учета электроэнергии, электронных компонентов – ELSTER, ENEL, EDF, ENDESA и STMicroelectronics. Спецификация Open Meter поддерживает серию действующих PLC-стандартов, в частности, IEC 61334 – стандарт применения модуляции S-FSK, IEC 62056 – версию спецификации универсального протокола обмена данными со счетчиками DLMS/COSEM, EN 13757 – протокол передачи данных от устройств учета различных ресурсов, таких как газ, тепло, электроэнергия.

В составе альянса PRIME (PowerLine Intelligent Metering Evolution) компании Atmel, STM, Siemens, GE, Texas Instruments, NXP, Renesas и др. Главное направление деятельности альянса – разработка стандартов и спецификаций для узкополосных систем PLC с пропускной способностью до 128 Кбит/с в диапазоне CENELEC A. В настоящее время спецификации PRIME регламентируют порядок использования модуляции типа OFDM с количеством элементарных каналов, равным 96, и возможной модуляцией поднесущих в каждом элементарном канале по алгоритму DBPSK, DQPSK или D8PSK. Тип модуляции поднесущих выбирается в соответствии с соотношением сигнал/помеха в канале связи. Кроме того, для повышения помехоустойчивости дополнительно может включаться прямое корректирующее кодирование (Forward Error Correction – FEC) передаваемых данных на базе сверточных кодов.

Цель объединения ECHONET, созданного на базе ведущих японских электронных компаний Hitachi, Panasonic, Sharp, Mitsubishi, Toshiba, NEC и др., – развитие технологий домашних сетей, предназначенных для удаленного управления бытовыми приборами, системами безопасности и т.п.

Спецификация G3-PLC, продвигаемая европейской компанией ERDF, так же как PRIME, регламентирует использование в узкополосных системах PLC-связи модуляции OFDM, обмен данными производится в диапазоне CENELEC A. Основное

отличие от стандарта PRIME – более сложный механизм кодирования с добавлением к существующему сверточному кодированию кода Рида-Соломона (Reed-Solomon – RS). Кроме того, для обеспечения более высокой помехоустойчивости скорость передачи в стандарте G3-PLC имеет меньшее значение по сравнению со стандартом PRIME.

**Выбор стека протоколов или реализация своего протокола.** Разработка PLC-модема, как и любого другого электронного устройства, – итерационный процесс, на каждом шаге (этапе) которого проверяется соответствие выбранного технического решения требованиям, предъявляемым к конечному устройству. Обнаруженное на одном из этапов несоответствие требованиям может привести к необходимости возвращения стадии разработки на один, а то и несколько шагов назад.

### Алгоритм разработки PLC-модема

**Первый шаг.** Определяется стандарт, который будет поддерживаться устройством. Так как в PLC-технологии достаточно много стандартов, необходимо проанализировать преимущества и недостатки тех из них, которые позволяют решить поставленную задачу, и выбрать наиболее подходящие.

**Второй шаг.** Учитывается соответствие характеристик физического уровня выбранных стандартов требованиям национальных и/или международных документов, регламентирующих передачу данных по электрическим сетям. На этом этапе может быть отсеяна часть выбранных стандартов.

**Третий шаг.** Выбираются электронные компоненты, поддерживающие необходимую технологию PLC-связи.

**Четвертый шаг.** Оценивается возможность реализации модуля PLC-модема на основе каждого из выбранных электронных компонентов. Учитываются стоимость комплектации и возможность размещения устройства в корпусе заданных габаритов, требования к параметрам напряжения и тока, необходимым для функционирования устройства (особенно в случае встраиваемого устройства, которое является частью модульной системы и не имеет блока питания). Решается вопрос, требуется ли внешний контроллер для управления устройством или оно может работать самостоятельно. Перечень многих других параметров, может меняться в зависимости от исходных требований к модулю PLC-модема. Если все компоненты удовлетворяют установленным требованиям, можно приступить к созданию схемы проектируемого устройства. В противном случае необходимо

изменить требования к функциональности конечного устройства либо к его конструкции и вернуться к первому шагу.

При разработке модуля PLC-модема компания "ПКК Миландр" последовательно прошла все указанные этапы. После анализа стандартов узкополосной PLC-технологии за основу была взята спецификация PRIME, выбор которой для автоматизированных систем сбора данных с конечных узлов учета потребляемых энергоресурсов подразумевает хороший запас пропускной способности с учетом перспективного развития системы. Основные преимущества применения технологии PRIME в PLC-модеме – высокая скорость передачи данных, хорошая помехоустойчивость, автоматическое конфигурирование сети и параметры физического уровня, удовлетворяющие требованиям ГОСТ Р 51317.3.8.

Комплексные решения, поддерживающие технологию PRIME, предлагают такие производители электронных компонентов, как Atmel, Texas Instruments, STMicroelectronics и др. Однако большинство возможных вариантов пришлось исключить из-за наличия двух существенных ограничений. Во-первых, максимально допустимых габаритов, связанных с тем, что модуль PLC-модема предназначен для встраивания в счетчик электрической энергии. В результате этого ограничения не удалось разместить (с соблюдением технологии монтажа) на сравнительно небольшой площади печатной платы модуля однокристалльные компоненты (системы на кристалле) в корпусе, насчитывающем более 100 выводов, и компоненты с аналоговыми и цифровыми модулями, изготовленными в виде отдельных корпусов.

Второе ограничение – потребляемая по цепям питания мощность – обусловлено тем, что модуль PLC-модема оказывает дополнительную нагрузку на блок питания счетчика электрической энергии, в который он установлен. В итоге увеличивается суммарная потребляемая прибором учета мощность, максимально допустимое значение которой регламентируется ГОСТ Р 31819.21-2012 "Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока". Таким образом была исключена еще часть компонентов, и выбор сделан в пользу системы на кристалле ST7590 от STMicroelectronics.

### О чем умолчала документация

Микросхема ST7590 отличается от подобных разработок других производителей, поддерживающих протокол PRIME, небольшим размером корпуса QFN-48 и широким диапазоном напряжений питания передатчика. Однако техническое

описание системы на кристалле ST7590, поставляемой в корпусе QFN-48, умалчивает об одном факте. Выяснилось это уже на стадии отладки изготовленного эскизного образца модуля PLC-модема. Дело в том, что при отправке команд конфигурирования через последовательный интерфейс микросхема ST7590 сообщает об ошибочном формате данных либо не отвечает. Убедившись, что ситуация повторяется для всех команд, приведенных в разделе Serial Communication Profile спецификации PRIME, направили обращение в службу поддержки производителя микросхемы.

В результате общения с представителями компании STMicroelectronics в России удалось выяснить, что, несмотря на поддержку спецификации PRIME, микросхема ST7590 имеет нестандартный протокол обмена данными по последовательному интерфейсу, а содержание этого протокола не подлежит разглашению. Специалисты STMicroelectronics назвали причину: микросхема ST7590 в корпусе QFN-48 предназначена для использования только совместно с одним из микроконтроллеров серии STM32, для применения которых предоставляется специальная библиотека. Учитывая, что в разрабатываемом модуле PLC-модема планировалось использовать микроконтроллер производства компании "ПКК Миландр", а также принимая во внимание время, затраченное на разработку, было решено отказаться от применения систем, использующих стандартизированный протокол обмена данными и разработать собственный протокол.

### Выбор микросхемы

В общем виде модуль PLC-модема с поддержкой собственного протокола состоит из устройства, реализующего функциональность протокола, управляющего приемопередатчиком, и самого приемопередатчика, обеспечивающего доступ к среде передачи данных. В качестве управляющего устройства модуля PLC-модема был выбран микроконтроллер I986VE21 производства компании "ПКК Миландр". Микроконтроллер оснащен современным энергоэффективным ядром Cortex-M0, а наличие достаточно большого объема RAM и flash-памяти, разнообразной периферии позволяет реализовать функционал PLC-модема.

Функция доступа к среде передачи данных делегирована микросхеме узкополосного приемопередатчика ST7580 от STMicroelectronics. Выбор объясняется тем, что из продукции других производителей приемопередатчиков PLC, таких как NXP, Texas Instruments, микросхема ST7580 выделяется благодаря поддержке нескольких типов модуляций

(FSK, BPSK, QPSK, 8-PSK), возможности включения дополнительного сверточного кодирования данных для повышения помехоустойчивости канала связи и наличие двухканального режима работы.

Аналоговый и цифровой функционал приемопередатчика реализован на одном кристалле. С точки зрения конструкции заслуживает внимания небольшой корпус типа VFQFPN-48. При отсутствии сильных помех в электрической сети скорость передачи данных может достигать 28 кбит/с во всем рабочем диапазоне частот.

После выбора элементной базы, составления топологии печатной платы и изготовления эскизных образцов PLC-модема основная задача – разработка встраиваемого программного обеспечения для микроконтроллера. На этом этапе необходимо определить способы адресации устройств в сети, алгоритмы передачи данных между устройствами, механизмы ретрансляции данных к устройствам, находящимся вне зоны видимости передающего устройства, способы построения маршрута данных как на пути от источника к адресату, так и в обратном направлении. Поскольку нельзя исключить одновременную передачу данных в сеть несколькими устройствами (например, при ретрансляции), необходимо позаботиться о механизмах предотвращения подобных конфликтов, чтобы не допустить потери данных. Все рассмотренные способы оптимизации передачи данных, а также некоторые возможности приемопередатчика были реализованы в разработанном протоколе обмена данными по PLC.

Стоит подчеркнуть, что протокол разрабатывался для PLC-модемов, встраиваемых в счетчики электрической энергии. Основное назначение PLC-модема в этом случае – обеспечение функции удаленного считывания показаний. Системы верхнего уровня (например, АСКУЭ) осуществляют удаленный доступ к счетчикам также с помощью PLC-модема. Встраиваемое программное обеспечение подобных PLC-модемов отличается от программного обеспечения модемов, устанавливаемых непосредственно в счетчики электрической энергии. Основное отличие заключается в том, что встроенные модемы лишь передают счетчику принятое по PLC сообщение-запрос, а затем также по PLC отправляют сообщение-ответ. При этом параметры сигнала передаваемого сообщения-ответа (тип модуляции, частота несущей, коэффициент усиления передатчика) идентичны соответствующим параметрам сигнала принятого ранее сообщения-запроса. В то же время PLC-модем, работающий в режиме шлюза для доступа систем верхнего уровня к сети приборов учета, обладает

функционалом для отслеживания качества канала связи и при необходимости может перенастраивать параметры передатчика PLC для обеспечения надежного обмена данными.

### Возможности протокола обмена

Приведем список основных свойств и возможностей реализованного протокола обмена данными по электрическим сетям:

- Адресация устройств в PLC-сети – 32-разрядная, производится по серийному номеру счетчика, в который установлен модем. Серийный номер автоматически считывается модемом при включении счетчика.
- PLC-шлюз – модем, работающий в режиме шлюза для систем верхнего уровня. При обмене данными с удаленным устройством PLC-шлюз осуществляет мониторинг качества канала связи и при необходимости может изменять тип модуляции передаваемого сигнала, включать дополнительное кодирование данных для повышения помехоустойчивости, передавать сигнал с привязкой к частоте питающей сети, выбирать частоту несущей из двух фиксированных значений для подавления узкополосных помех в электрической сети.
- При отправке сообщения-запроса от системы верхнего уровня PLC-шлюз добавляет к передаваемым данным сервисную информацию с параметрами настройки собственного передатчика (тип модуляции, частота несущей, коэффициент усиления в канале передатчика, привязка к частоте сети при передаче сигнала). Эти параметры необходимы для настройки передатчика опрашиваемого устройства при отправке его PLC-модемом сообщения-ответа.
- Перед отправкой данных в PLC любой модем сначала определяет отсутствие сигнала в среде передачи данных путем прослушивания канала связи. Если сигналы от других устройств отсутствуют в течение интервала тишины, начинается передача данных. При обнаружении в процессе передачи данных попыток доступа к каналу связи другими устройствами текущие данные считаются непереданными, и через псевдослучайный промежуток времени предпринимается попытка их повторной передачи.
- При каждой организации PLC-шлюзом канала обмена данными с удаленным устройством формируется таблица маршрута данных. Если при отправке PLC-шлюзом сообщения-запроса таблица маршрута данных не заполнена, то в сервисных данных отправляемого сообщения

устанавливается признак широковещательного группового сообщения. Это сообщение-запрос ретранслируется всеми устройствами в сети, и в каждом устройстве запоминается путь, по которому сообщение дошло до данного устройства. При получении адресатом ретранслированных сообщений такого типа сообщение-ответ будет направлено обратно в адрес PLC-шлюза по одному из кратчайших маршрутов. При получении сообщения-ответа PLC-шлюз заполняет таблицу маршрута, и следующее сообщение-запрос к тому же адресату будет проходить по маршруту предыдущего сообщения-ответа только в обратном направлении. При этом нет необходимости ретранслировать сообщение всеми устройствами, а значит, разгружается канал связи и уменьшается время отклика.

### Преимущества и недостатки решения

Приведенный вариант протокола обмена по энергетическим сетям использует в той или иной степени методы множественного случайного доступа устройств к единой общей среде передачи данных. Подобные алгоритмы применяются в большинстве современных технологий передачи данных, например, в Ethernet, Wi-Fi, ZigBee. Одно из преимуществ реализованного решения – соответствие полученной системы протоколу обмена данными между счетчиком и верхним уровнем, так как этот протокол используется всеми приборами учета электрической энергии производства компании "ПКК Миландр". Кроме того, активно задействуются все возможности приемопередатчика – большой выбор типов модуляции сигнала, кодирование данных, возможность переключения несущей на резервную частоту при наличии помех на основной частоте. Не менее важна адресация устройств по серийному номеру, что гарантирует невозможность наличия в сети двух устройств с одинаковым адресом. К тому же такой тип адресации может оказаться удобным при развертывании АСКУЭ.

Производство компанией "ПКК Миландр" как счетчиков электрической энергии, так и встраиваемых в них PLC-модемов позволило предусмотреть в функционале этих устройств возможность обновления встроенного программного обеспечения. В результате обновление прошивки модуля PLC-модема не потребует нарушения пломб установленного счетчика. Это может оказаться полезным при модернизации встроенного программного обеспечения модема исходя из требований заказчика.

Недостатком реализованного решения считается сравнительно низкая скорость обмена данными

в сравнении с технологиями, использующими модуляцию OFDM. Но с учетом функциональности модуля PLC-модема пропускной способности канала данных более чем достаточно для применения в автоматизированных системах сбора показаний с приборов учета.

### МОДУЛЬ СВЯЗИ ZIGBEE Требования стандартов

От модуля связи, использующего проводную PLC-технология передачи данных, перейдем к рассмотрению другого варианта модуля на базе беспроводной технологии ZigBee.

Спецификация ZigBee разработана одноименным альянсом, состоящим из более ста компаний, среди которых – производители систем автоматизации, вентиляции и кондиционирования. Основные области применения ZigBee – передача информации от движущихся механизмов (например, роботов), систем управления в промышленности, сбор показаний с интеллектуальных датчиков и разнообразных приборов учета, системы охраны, т.е. обеспечение связи между устройствами в автоматизированных системах. Наиболее известными примерами таких систем являются "Умный дом" и "Интеллектуальное здание". Для сетей ZigBee характерны достаточно скромные показатели скорости передачи и расстояния между узлами, при этом оборудование может длительно работать от автономных источников питания. Кроме того, технология ZigBee позволяет создавать самоорганизующиеся и самовосстанавливающиеся сети. Устойчивость сети объясняется возможностью ретрансляции передаваемых данных через множество узлов в сети. В случае выхода из строя или выключения одного из узлов сеть автоматически находит новый маршрут передачи данных. При включении питания устройства сеть снова включает его в свой состав. Благодаря этому сеть просто развертывается и легко масштабируется путем простого присоединения дополнительных устройств.

Устройства ZigBee используют преимущественно частотный диапазон 2,4 ГГц, так как в этом случае достигается максимальная скорость передачи и высокая помехоустойчивость. Стандартом предусматривается также использование частот 868 МГц и 915 МГц. Диапазон 868 МГц применяется в Европе, а 915 МГц – в США. Диапазон 2,4 ГГц разделен на 16 каналов, по 5 МГц каждый. При обмене данными выбирается канал с минимальным уровнем помех. Скорость передачи данных вместе со служебной информацией, необходимой для работы

протокола, составляет 250 кбит/с. При этом средняя пропускная способность, приходящаяся на полезные данные, зависит от загруженности сети и количества ретрансляций, и находится в диапазоне от 5 до 40 кбит/с. Максимальное расстояние между узлами, при котором возможен обмен данными, зависит как от мощности передатчика, так и от условий распространения радиоволн в зоне узла. Наиболее широкое распространение получили передатчики мощностью 1 мВт, обеспечивающие связь на расстоянии до 10 м в помещении и до 100 м – на открытом воздухе.

Спецификацией ZigBee предусмотрено три типа устройств: координатор, маршрутизатор и конечное устройство. Координатор выполняет функции инициализации и управления узлами сети, обработки и хранения информации о настройках каждого узла, задает номер частотного канала, по которому следует передавать данные. Координатор в процессе работы может служить источником, приемником и ретранслятором сообщений. Маршрутизатор, отвечает за выбор пути доставки сообщения, передаваемого от одного узла к другому, в процессе работы также может быть источником, приемником и ретранслятором сообщений. Конечное устройство не участвует в управлении сетью, ретрансляции сообщений, это лишь источник и приемник сообщений.

### Выбор между ZigBee и радиомодемом

При разработке компанией "ПКК Миландр" беспроводного модуля связи для встраивания в счетчики электрической энергии изначально планировалось использовать радиомодем. Аргументы в пользу такого решения – небольшие габариты устройства, низкая потребляемая мощность и невысокая цена. Но радиомодем подходит для обмена данными между двумя устройствами в режиме точка-точка. Передача данных в сети, состоящей из трех и более подобных устройств, неизбежно вызовет проблему, связанную с одновременным доступом к общей среде передачи данных – радиоэфир. Ее решением, как и в рассмотренном случае разработки модуля PLC-модема, может стать применение собственного протокола обмена данными по радиоканалу. Однако для выполнения функций управления беспроводной сетью необходимо логическое устройство, например микроконтроллер, что потребует разработки встраиваемого программного обеспечения, т.е. дополнительных временных затрат. Однако поскольку технологии использования радиоканала для связи получили более широкое распространение, чем технологии передачи данных

по энергетическим сетям, на рынке достаточно большой выбор встраиваемых модулей беспроводной связи различных производителей. Но оптимальным вариантом организации сетей обмена данными в АСКУЭ являются возможности, предоставляемые на основе стандарта ZigBee.

По этой причине в состав модулей связи производства компании "ПКК Миландр" входят модули, поддерживающие стандарт ZigBee. Их основа – система на кристалле, включающая в себя как радиочастотную часть стандарта 2,4 ГГц, так и 32-разрядный ARM-процессор с ядром Cortex-M3 и встроенным программным обеспечением, поддерживающим стек протоколов ZigBee.

Благодаря использованию модулей связи стандарта ZigBee в счетчиках электроэнергии производства компании "ПКК Миландр" легко настраивать сети для автоматизированного сбора показаний приборов учета. В регистровой модели счетчиков есть объект, хранящий данные о так называемом ключе сети – 128-разрядном пароле, который позволяет подключаться к сети ZigBee только устройствам с одинаковым значением пароля. В момент подачи питания микроконтроллер счетчика отправляет по последовательному интерфейсу ZigBee модулю команду подключения к сети с определенным значением ключа сети, который предварительно настраивается и сохраняется в энергонезависимой памяти прибора учета. Таким образом, обмен данными в сети производится только между доверенными устройствами. Настраивая разные значения ключа сети для различных групп счетчиков можно распределять большое количество приборов учета по зонам. В этом случае для считывания показаний каждой группы приборов учета необходимо подключаться к сети, используя соответствующее значение ключа.

\* \* \*

В заключение остается отметить, что применение беспроводных модулей связи в приборах учета энергоресурсов позволяет быстро развертывать и настраивать сети для организации систем автоматизированного сбора показаний. Однако качество связи по радиоканалу сильно зависит от многих факторов окружающей среды, оказывающих влияние на распространение радиоволн. А при использовании подобных технологий внутри зданий связь между некоторыми узлами сети ZigBee может оказаться невозможной. Для получения надежных каналов обмена данными рекомендуется использовать комбинацию проводных и беспроводных технологий. ●





