

Передача информации по сетям электропитания с помощью ИС компании Semtech

Константин ВЕРХУЛЕВСКИЙ
info@icquest.ru

Номенклатура изделий, выпускаемых Semtech Corporation, включает множество ИС физического уровня, позволяющих организовать передачу информации как по проводам, так и по радиоканалу (оптические приемопередатчики, драйверы линий, радиотрансиверы и т. д.). Поглощение в начале 2015 года компании EnVerg, лидера в разработке модемов PLC (Power Line Communications), позволило расширить линейку коммуникационной продукции Semtech за счет устройств, обеспечивающих обмен данными по типовым линиям электропередачи. В рамках данной статьи остановимся на принципах функционирования и построения сетей на базе однокристалльных PLC-микросхем компании Semtech, рассмотрим особенности отдельных представителей нового семейства и приведем примеры практической реализации устройств на их основе.

Введение

Передача информации и организация питания по одним и тем же проводам достаточно эффективно используется в различных применениях. К примеру, можно вспомнить стандартные телефонные линии или Ethernet-сети, выполняющие подключение удаленных узлов с помощью технологии PoE (Power over Ethernet), при которой питание осуществляется по отдельным жилам кабеля связи. Однако у большей части таких решений есть очевидный недостаток: все они в общем случае требуют проведения монтажных работ, затраты на которые нередко составляют большую часть стоимости наладки сети. Более того, есть ряд ситуаций, при которых прокладка новых кабелей крайне нежелательна или даже невозможна — примером таких ситуаций являются недавно законченный ремонт, после которого неожиданно выясняется, что необходимо прокладывать дополнительные провода для компьютерных сетей, либо арендуемый офис с непредусмотренным каналом выхода в Интернет. В этих случаях почти всегда можно ограничиться существующей инфраструктурой, а именно воспользоваться имеющейся практически в каждом помещении электропроводкой для организации сравнительно быстрого и надежного канала связи, разветвленного по всему зданию.

Телекоммуникационная технология PLC, базирующаяся на применении силовых электросетей для информационного обмена

путем наложения полезного сигнала поверх стандартного переменного тока частотой 50 или 60 Гц, отличается простотой реализации и оперативностью монтажа устройств на ее основе. Первые системы передачи данных по электрическим сетям появились еще в 1930-х годах, в основном они использовались для сигнализации в энергосистемах и на железных дорогах, характеризуются очень низкой пропускной способностью [1]. В конце 1990-х годов ряд компаний осуществил первые крупные проекты в этой области, однако в процессе эксплуатации были выявлены серьезные проблемы, основной из которых была слабая помехозащищенность. Работа энергосберегающих ламп, импульсных блоков питания, зарядных устройств, тиристорных диммеров и бытовых электроприборов, а также электродвигателей и сварочного оборудования, особенно включенных в непосредственной близости от PLC-модема, вызывала в не защищенных от высокочастотных излучений проводах импульсные помехи, которые приводили к резкому снижению достоверности передачи данных. Также на стабильность и скорость прохождения сигнала негативное влияние оказывала неоднородность линий связи, в частности, качество и изношенность электрических сетей, наличие стыков из материалов с разной электропроводностью (например, меди и алюминия), наличие скруток и т. д. В результате общее снижение номинальной скорости передачи данных составляло от 5 до 50%. Кроме того, в помещениях,

где работали PLC-устройства, в некоторых случаях наблюдалось нарушение радиоприема на расстоянии порядка 3–5 м от модема, особенно на средних и коротких волнах. Это происходило из-за того, что провода электросети начинали действовать как антенны радиоретрансляторов, излучая, по сути, весь трафик в эфир.

Технология передачи данных по электросетям получила должное коммерческое применение только в начале текущего столетия, а ее внедрение и широкое распространение обусловлено появлением соответствующей элементной базы, в том числе высокопроизводительных микроконтроллеров и быстрых DSP-процессоров (цифровых сигнальных процессоров), позволяющих реализовать сложные методы модуляции сигнала и современные алгоритмы шифрования данных. Это обеспечило не только высокий уровень достоверности при передаче информации, но и ее защиту от несанкционированного доступа. Также важное значение имело решение проблемы стандартизации различных аспектов технологии. В настоящее время основными организациями и сообществами, регламентирующими требования к PLC-устройствам, являются IEEE, ETSI, CENELEC, OPERA, UPA и HomePlug Powerline Alliance. Последняя из них является международным альянсом, объединяющим около 80 известных на рынке телекоммуникаций компаний, среди которых Siemens, Motorola, Samsung и Philips. Деятельность альянса, организованного в 2000 году, направлена на проведение

научных исследований и практических испытаний совместимости устройств различных изготовителей, использующих данную технологию, а также на поддержку и продвижение единого стандарта под названием HomePlug.

Все существующие PLC-системы принято разделять на широкополосные (BPL — Broadband over Power Lines) и узкополосные (NPL — Narrowband over Power Lines). Спектр решаемых с их помощью задач очень широк, а выбор необходимого метода основан на характеристиках и объеме передаваемой информации. Широкополосные устройства (со скоростью от 1 до 200 Мбит/с) ориентированы на системы доступа к Интернету, на создание домашних компьютерных сетей, а также на приложения, требующие высокоскоростного обмена данными: потоковое видео, системы видеоконференцсвязи, цифровой телефонии и т. д. Наибольший интерес для разработчиков аппаратуры представляют узкополосные PLC-модемы в связи с их относительной дешевизной и улучшенными характеристиками, позволяющими работать не только в обычных сетях, но и в сетях с повышенным уровнем помех. Микросхемы и модули для узкополосных модемов (с пропускной способностью канала от 0,1 до 100 кбит/с) широко применяются в составе различных изделий бытового и промышленного назначения, при создании распределенных систем автоматизированного контроля и управления в цехах и системах жизнеобеспечения зданий (лифтах, устройствах кондиционирования и вентиляции), средствах учета потребления электроэнергии, воды, газа, тепла, приборах охранной и пожарной сигнализации.

Особенности технологии PLC

Основой PLC-технологии является использование частотного разделения сигнала, при котором высокоскоростной поток данных разбивается на несколько относительно низкоскоростных, каждый из них передается на отдельной поднесущей частоте с последующим их объединением в результирующий сигнал (рис. 1).

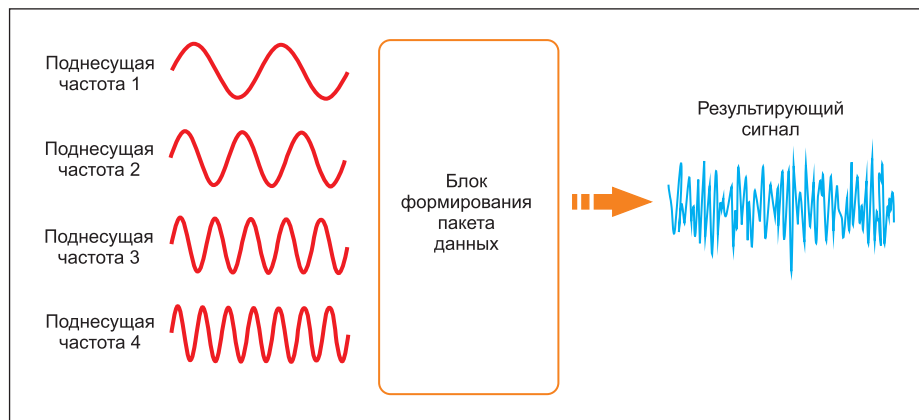


Рис. 1. Частотное разделение исходного сигнала

При использовании обычной модуляции с частотным разделением (FDM — Frequency Division Multiplexing) доступный спектр расходуется неэффективно. Связано это с наличием защитных интервалов между отдельными поднесущими, необходимых для предотвращения взаимного влияния сигналов (рис. 2а). Поэтому в PLC-устройствах применяется ортогональное частотно-разделенное мультиплексирование (OFDM — Orthogonal Frequency Division Multiplexing), при котором центры поднесущих частот размещаются так, чтобы пик каждого последующего сигнала совпадал с нулевым значением предыдущего. Как видно на рис. 2б, доступная полоса частот в этом случае расходуется более рационально.

Перед объединением в один сигнал все поднесущие частоты подвергаются фазовой модуляции — каждая своей последовательностью бит. После этого они проходят через блок формирования, где собираются в единый информационный пакет, называемый еще OFDM-символом. На рис. 3 приведен пример относительной квадратурной фазовой манипуляции (DQPSK — Differential Quadrature Phase Shift Keying) для каждой из четырех поднесущих частот в диапазоне 4,5–5,1 МГц. Реально в технологии PLC передача ведется с использованием 1536 поднесущих частот с выбором 84 наилучших на диапазоне от 2 до 32 МГц в зависимо-

сти от текущего состояния линии и наличия помех. Данный способ придает PLC-технологии гибкость при использовании в различных условиях. Например, как уже было сказано, работающее PLC-устройство способно глушить радиоприем на определенных частотах — эта проблема хорошо известна радиолобителям. Еще одним примером является случай, когда некое приложение уже использует часть диапазона. Технически устранение нежелательного взаимного влияния реализуется применением настроек, так называемых Signal Mode и Power Mask, на устройствах, в которых предусмотрена соответствующая возможность. Signal Mode — программный метод определения рабочего диапазона частот, а Power Mask — программный метод ограничения спектра используемых частот. За счет этого PLC-устройства могут спокойно сосуществовать в одной физической среде и не зашумлять диапазоны частот, предназначенные для радиосвязи.

При передаче сигналов по бытовой электросети могут возникать значительные затухания передаваемого сигнала на определенных частотах, что способно привести к потере и искажению данных. Для решения вопроса адаптации к физической среде передачи предусмотрен способ динамического включения и выключения передачи сигнала, позволяющий выполнить обнаружение

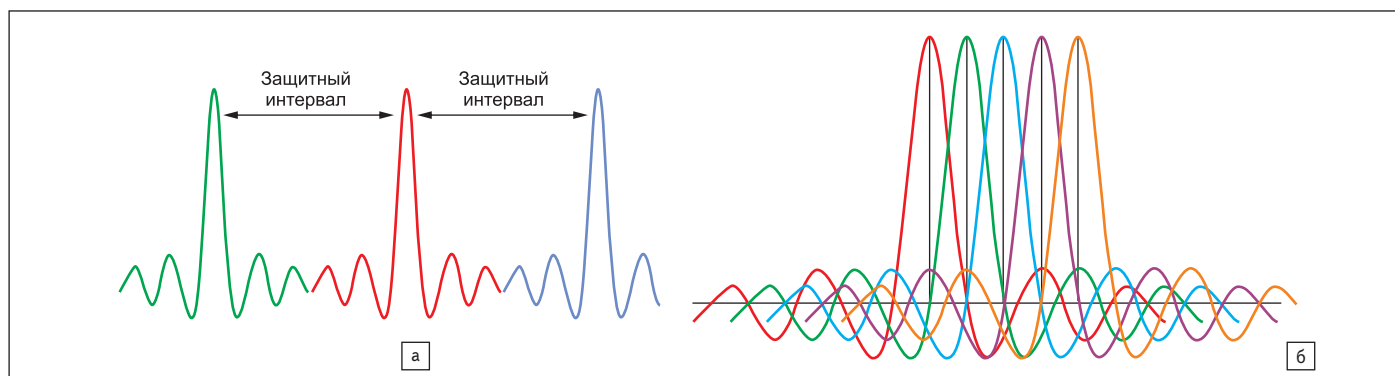


Рис. 2. Спектр сигналов с методами модуляции: а) FDM; б) OFDM

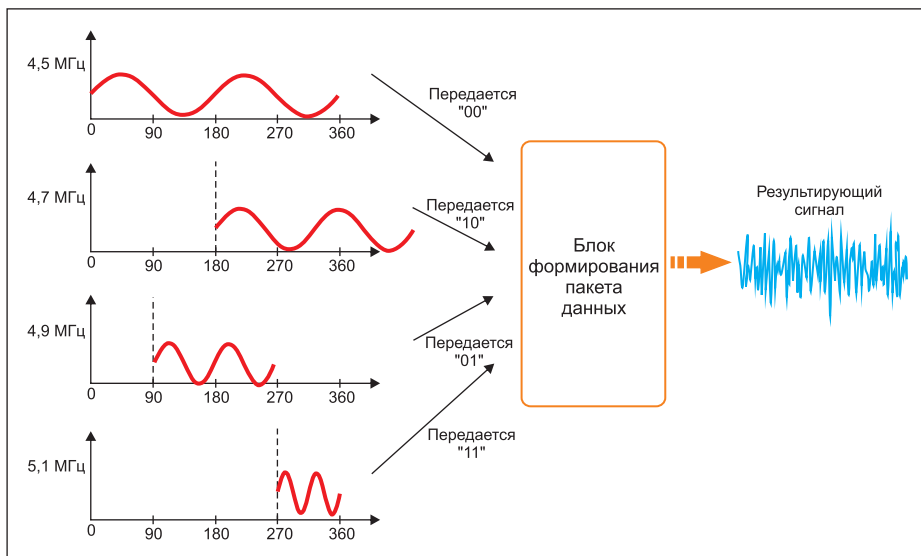


Рис. 3. DQPSK-модуляция информационного сигнала

и устранение ошибок и конфликтов. Суть данного метода заключается в постоянном мониторинге канала передачи с целью выявления участка спектра с превышением определенного порогового значения затухания. В случае обнаружения данного факта использование проблемного диапазона на время прекращается до восстановления приемлемого значения затухания, а данные передаются на других частотах (рис. 4).

Другой существенной сложностью при передаче данных по бытовой электросети, теперь уже для самих устройств PLC, являются импульсные помехи, источниками которых могут быть различные зарядные устройства, галогенные лампы, включение или выключение различных электроприборов (рис. 5). Сложность ситуации заключается в том, что, используя вышеописанный метод, PLC-модем не успевает адаптироваться к быстроменяющимся условиям, ведь их длительность может не превышать одной микросекунды, в результате часть битов может быть утеряна.

Для решения этой проблемы используется двухступенчатое (каскадное) помехоустойчивое кодирование битовых потоков перед тем, как они будут промодулированы и по-

ступят в канал передачи данных. Его суть состоит в добавлении в исходный информационный поток по определенным алгоритмам избыточных («защитных») битов, которые используются декодером на приемной стороне для обнаружения и исправления ошибок. Каскадирование блочного кода Рида — Соломона и простого сверточного кода, декодируемого по алгоритму Витерби, позволяет исправлять не только одиночные ошибки, но и пакеты ошибок, что значительно увеличивает целостность передаваемых данных. Кроме того, помехоустойчивое кодирование увеличивает безопасность передаваемой информации с точки зрения защиты от несанкционированного доступа.

Так как в качестве среды передачи данных выбрана разветвленная сеть бытового электропитания, то в один момент времени передачу могут начать сразу несколько подключенных устройств. В такой ситуации для разрешения конфликтов столкновения трафика применяется регулирующий механизм — протокол доступа к среде CSMA/CA. Разрешение коллизий происходит на основе того или иного приоритета, задаваемого в специальных полях приоритизации пакетов данных.

ИС Semtech для реализации PLC-технологии

PLC-продукция компании Semtech предназначена для эксплуатации в типовых линиях электроснабжения с низким или средним рабочим напряжением [2]. Любой модем, действующий с аналоговой физической линией, должен иметь функциональные узлы, необходимые для обработки аналоговых данных, преобразования их в цифровую форму и, конечно, для обработки цифровых данных. На стороне передачи модем должен производить кодирование цифровых данных в соответствии с заданным алгоритмом, преобразовывать их в аналоговые и посылать в линию.

Все эти действия выполняют микросхемы серии EV8xxx. Узкополосные микросхемы, представляющие собой «системы на кристалле», отличаются высокой степенью интеграции и содержат все необходимые структурные блоки для реализации физического, MAC и других уровней протокола (6LoWPAN и IEC). Поддерживают несколько типов модуляции, на практике наиболее часто применяется OFDM для организации устойчивого и помехозащищенного канала связи. Однокристальные ИС, прошедшие тестирование функциональной совместимости в HomePlug Alliance Netricity, отличаются универсальностью применения, на их основе проектируются как оконечные узлы, так и координаторы сети. Спецификация Netricity разработана для сетевых коммуникаций по линиям электросети большой дальности и предназначена для внедомовой инфраструктуры, интеллектуальных сетей распределения электроэнергии и управления производственными процессами. Технология может быть использована как в плотных городских, так и в сельских электросетях с применением частот ниже 500 кГц. Она также включает уровень доступа на основе IEEE 802.15.4 (MAC), являющийся ключевым для разработки гибридных проводных/беспроводных сетей. Основные технические характеристики PLC-микросхем компании Semtech представлены в таблице 1.

ИС серии EV8xxx обладают программируемыми диапазонами частот от 10 до 490 кГц, покрывая CENELEC A (10–95 кГц), CENELEC B (95–120 кГц), CENELEC C (120–140 кГц),

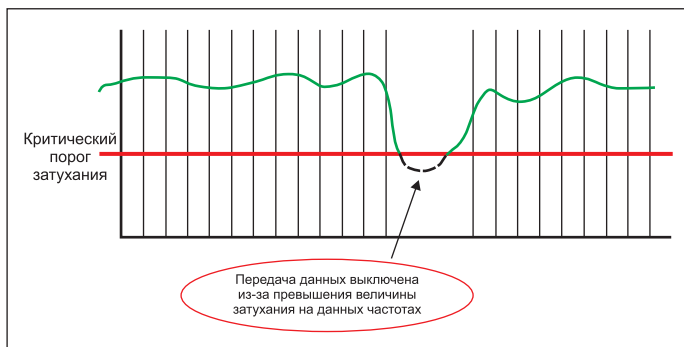


Рис. 4. Адаптивная передача данных

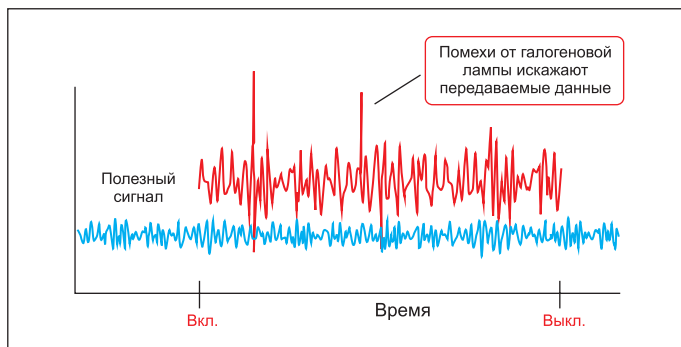


Рис. 5. Воздействие импульсных помех на передачу данных

FCC (10–490 кГц) и ARIB (10–490 кГц) полосы без изменений в конструкции устройства [3, 4]. Путем удаленной загрузки соответствующего встроенного программного обеспечения по линии электросети они могут быть настроены для работы в режимах ITU-T G.9903 (G3-PLC), ITU G.9902, ITU-T G.9904 (PRIME), IEEE P1901.2 и IEC-61334 (S-FSK). Кроме того, они поддерживают фирменный высокопроизводительный режим 4GPLC. Конструктивно микросхемы семейства изготавливаются в низкопрофильных корпусах для поверхностного монтажа, предназначенных для эксплуатации в диапазоне рабочих температур $-40...+85$ °C [5, 6]. Упрощенная структура с изображением основных функциональных узлов приведена на рис. 6, здесь можно выделить следующие блоки:

- Блок AFE (Analog Front-End) представляет собой набор аналоговых компонентов, обеспечивающих изоляцию при помощи трансформатора с разделительным конденсатором, фильтрацию и усиление входного сигнала, а также формирование заданных уровней выходного передаваемого сигнала путем использования драйвера линии на ОУ.
- PHY — это блок, предназначенный для сопряжения цифровой части микросхемы с аналоговой линией.
- 32-битный RISC-микроконтроллер обеспечивает внутреннюю реализацию MAC-уровня, производит обработку данных, формирование пакета, кодирование данных по симметричному алгоритму блочного шифрования AES и т. д., а также решает прикладные задачи.
- Периферийные блоки, сопрягающие встроенный микропроцессор с внешними микросхемами — память EEPROM, АЦП с высоким разрешением и хост-контроллером. Для связи применяется аппаратная реализация широко распространенных интерфейсов SPI, I²C и UART.

Таблица 1. Основные характеристики микросхем серии EV8xxx

Наименование	Интерфейсы связи	Рабочие частоты	Размер встроенной флэш-памяти, Мбайт	Диапазон рабочих температур, °C	Тип корпуса	Примечание
EV8000	SPI, I ² C и UART	CENELEC A, B, C, FCC, ARIB	2	-40...+85	100LQFP	Универсальная
EV8010		CENELEC A, B, C, FCC, ARIB	2		64LQFP или 56QFN	Для стандарта ITU
EV8020		CENELEC A	2		64LQFP или 56QFN	Для стандарта ITU
EV8080		CENELEC A, B, C, FCC, ARIB	1		100LQFP	С контроллером LCD-дисплея
EV8100		CENELEC A, B, C, FCC, ARIB	2		144LQFP	С контроллером LCD-дисплея

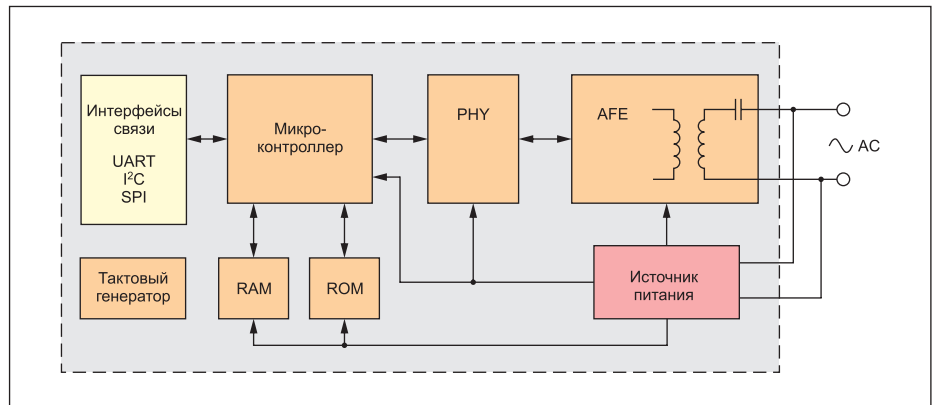


Рис. 6. Упрощенная блок-схема ИС семейства EV8xxx

- Интегрированная оперативная и флэш-память. Размер встроенной памяти программ варьируется в пределах от 1 до 2 Мбайт, оперативной — от 256 кбайт у EV8100 до 384 кбайт у остальных, по запросу к производителю возможны иные варианты.
- Блок управления тактированием.
- Подсистема питания, обеспечивающая все необходимые для отдельных узлов напряжения. Как правило, применяется источник, работающий от той же сети переменного тока, что и используется для передачи данных. Отдельно следует отметить ИС EV8100, которая, помимо типовых узлов, содержит встро-

енный контроллер 6x33 сегментного LCD-дисплея и драйвер сенсорной клавиатуры.

Области применения ИС семейства EV8xxx

PLC-микросхемы компании Semtech ориентированы прежде всего на использование в системах автоматизации, дистанционного управления и контроля удаленными объектами, наиболее популярные сферы их применения:

- Сети автоматизации зданий (AMI).
- Системы управления посадочными огнями в аэропортах.
- Устройства «Интернета вещей».
- Домашние локальные сети.
- Интеллектуальное оборудование («умные вещи»), в том числе бытовая электроника.
- Системы контроля и управления на солнечных электростанциях.
- Сети уличного освещения.
- Оборудование связи с подстанциями.
- Системы управления транспортными потоками.

Среди всего вышперечисленного основное направление — это сети AMI (инфраструктура интеллектуального учета), объединяющие «умные счетчики», концентраторы данных, средства управления энергопотреблением, дисплеи и другие компоненты систем автоматизации зданий (рис. 7).

Связь по силовым линиям является основным элементом автоматизированных систем контроля и учета энергоносителей, применяемых коммунальными службами. Основные преимущества этой технологии: возможность автоматически получать информацию

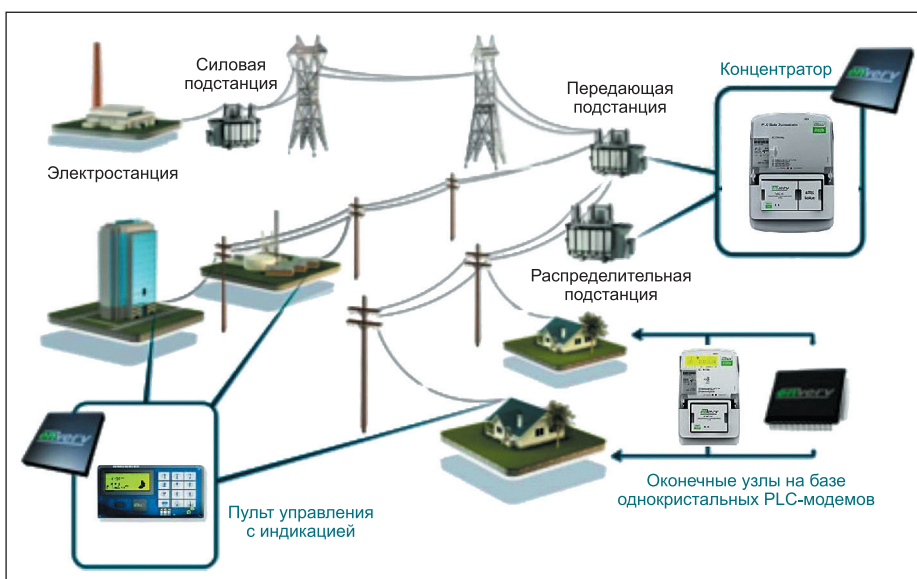


Рис. 7. Пример реализации AMI-сети на основе готовых решений компании Semtech

Таблица 2. Готовые решения Semtech для AMI-сетей

Компонент AMI-сети	Краткое описание
	PLC-концентратор данных
	Дальность действия: более 1 км
	Соответствие стандартам G3-PLC/PRIME
	Встроенный модем EDGE/GPRS
	PLC-измеритель (счетчик) данных
	Соответствие стандартам G3-PLC/PRIME
	Поддержка протокола DLMS/COSEM
	Доступен в форм-факторах ANSI и IEC
	Ретранслятор данных
	Соответствие стандартам G3-PLC/PRIME
	Для увеличения зоны покрытия сети
	Минимальные габариты
	Пульт управления и индикации (для пользователя)
	Соответствие стандартам G3-PLC/PRIME
	Однокристальное решение со встроенным хост-контроллером
	LCD-дисплей
	Модуль сбора данных (плата расширения)
	Соответствие стандартам G3-PLC/PRIME
	Множество цифровых и аналоговых входов/выходов
	Компактный дизайн

от жилых и промышленных помещений, расположенных в удаленных районах с низкой плотностью населения и низким качеством инфраструктуры, большой срок службы, возможность наращивания и низкие затраты. Принцип работы системы довольно прост. Электричество от электростанции передается по высоковольтному кабелю к подстанции. Здесь происходит понижение напряжения и распределение на большое количество низковольтных трансформаторных подстанций, понижающих напряжение до бытового. Обычно к одному трансформатору подсоединено от 500 до 1000 конечных потребителей. Таким образом, можно предложить следующий вариант построения PLC-систем для данных целей: концентратор, действующий как центральный узел, базируется на низковольтных подстанциях и регулярно (например, раз в час) собирает результаты измерений со счетчиков (это мо-

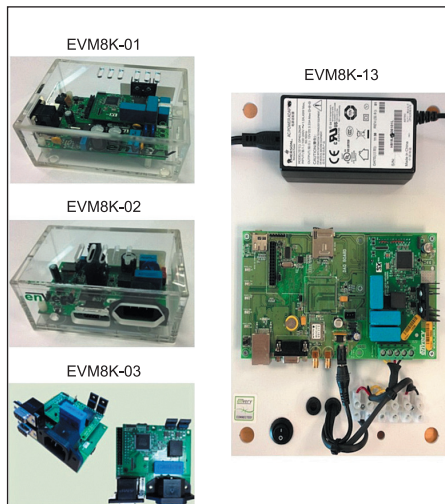


Рис. 8. Внешний вид отладочных PLC-комплектов

гут быть счетчики не только электроэнергии, но и воды, тепла, газа). Далее информация пересылается на сервер для последующей обработки, например по каналу GSM [7]. Такой тип систем не ограничен только получением информации со счетчиков и может выполнять другие функции.

Для практической реализации данной системы компания Semtech предлагает стартовый набор разработчика, включающий как готовые решения на основе микросхем EV8000, EV8100 и EV8200 для максимальной быстрой организации передачи данных по PLC-сети, так и отладочные средства для оценки возможностей системы (табл. 2).

Последние представляют собой модули для конечных узлов (счетчиков) и концентраторов, в комплект поставки которых входит все необходимое, включая рекомендации по применению, а также ПО для настройки параметров отдельных узлов и мониторинга качества связи в проектируемой сети. Прилагаемый графический интерфейс пользователя позволяет запрограммировать диапазон рабочих частот, тип модуляции, скорость передачи, уровень выходной мощности и т. д., а также наглядно отследить коэффициенты ошибок PER и BER в пакетах принимаемых данных.

Отладочные комплекты EVM8K-01, EVM8K-02 и EVM8K-03 могут выступать в качестве как удаленных измерительных узлов, так и концентраторов, обеспечивающих сбор данных. Модули предназначены для эксплуатации в одно- и трехфазных сетях, запитываются от встроенного источника переменного тока с напряжением 80–280 В (EVM8K-01 и EVM8K-02) либо от постоянного со стандартным напряжением 12 В (EVM8K-01 и EVM8K-03). Связь с хост-контроллером осуществляется посредством интерфейсов RS-232 или USB. Комплект EVM8K-13 представляет собой концентратор сети, объединяющий на одной плате PLC-модем на базе ИС EV8000 с 32-битным RISC-микроконтроллером, необходимым для выполнения пользовательского приложения. Комплект способен обслуживать до 500 конечных узлов (до 2000 опционально), из особенностей можно отметить наличие «на борту» 3G/EDGE/GPRS-модема, GPS-модуля и 8-Гбит SD-карты. Помимо беспроводной передачи данных на сервер, можно также воспользоваться интерфейсами RS-232, USB или Ethernet. Внешний вид отладочных комплектов показан на рис. 8.

Заключение

Широкое распространение низковольтных электрических сетей 0,22–0,38 кВ и отсутствие необходимости проведения затратных монтажных работ для прокладки кабелей стимулируют повышенный интерес к электрическим сетям как к среде передачи данных. Текущее развитие PLC-технологии во многом связано с появлением общепринятых регламентирующих стандартов и совершенствованием соответствующей элементной базы. PLC-модемы компании Semtech, отличающиеся высокой степенью интеграции, обеспечивают получение устойчивого и помехозащищенного канала связи при его достаточно высокой пропускной способности. ■

Литература

- Охрименко В. PLC-технологии // Электронные компоненты. 2009. № 10.
- Официальный сайт компании Semtech. www.semtech.com
- Product brochure. EV8000: Single-chip multimode PLC modem. www.enverv.com/pdf/EnVerv_EV8000_Brochure.pdf
- Product brochure. EV8010: Single-chip standards-based PLC modem. www.enverv.com/pdf/EnVerv_EV8010_Brochure.pdf
- Product brochure. EV8020: Single-chip standards-based PLC modem. www.enverv.com/pdf/EnVerv_EV8020_Brochure.pdf
- Product brochure. EV8100: Split-meter display SoC with integrated PLC. www.enverv.com/pdf/EnVerv_EV8100_Brochure.pdf
- Product brief. Power line communication products. www.semtech.com/images/datasheet/EnvervEcoSystem_pb.pdf