

Д. т. н. А. И. СЕМЕНКО, А. П. ЮРЧУК

Украина, г. Киев, Гос. университет информационно-коммуникационных технологий
E-mail: setel@nbi.com.ua

Дата поступления в редакцию
19.12.2005 г.

Оппонент О. П. БАСЮК
(ОАО "Нептун", г. Одесса)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Приведен обзор состояния и перспектив создания информационных систем на основе сети электропитания. Показана возможность достижения скорости передачи данных до 45 Мбит/с.

Решение стратегической задачи построения информационного общества связано с созданием мультисервисных сетей, способных предоставлять пользователю любые информационные услуги в любом месте и в любое время. Вместе с тем если в городах идет интенсивное развитие телекоммуникационных сетей на основе волоконно-оптических линий связи с внедрением цифровых технологий, а также сетей мобильной связи, то в ряде сельских населенных пунктов отсутствует даже телефонная связь. Основной причиной такого состояния является сложность финансирования проектов сельской телекоммуникации, в том числе из-за их низкой рентабельности вследствие слабого экономического развития сельских регионов.

Известно, что основные затраты при построении телекоммуникационных систем связаны с созданием кабельной сети. В то же время в любом населенном пункте существует сеть электропитания, которую можно использовать для создания сельских телекоммуникационных сетей.

В настоящее время телефонные линии, послужившие основной информационной средой для сети Internet, уже исчерпывают свои возможности для дальнейшего развития Глобальной сети. Остро встал вопрос об использовании новой информационной среды для передачи информации. Возникшая ситуация заставила специалистов обратить внимание на готовые каналы, которые приходят в каждый дом, — линии электропитания, имеющие практически полностью неиспользованные информационные ресурсы.

Первые исследования и разработки в части использования проводов электропитания для информационных целей привели к внедрению низкоскоростных информационных систем управления и контроля в высоковольтных линиях электропередачи (ЛЭП) [1, 2]. Дальнейшие исследования в поисках новой информационной среды привели к попытке использования сетей электропитания 110/220 В, 50 Гц для создания локальных информационных систем в пределах зоны обслуживания трансформаторной подстанции [3—11].

Трудности решения данной задачи связаны со следующими особенностями сети электропитания.

1. Сеть представляет собой сложную древовидную структуру с нестационарной нагрузкой вследствие случайных подключений электроприборов. По этой причине нагрузочная характеристика сети является случайной величиной, что требует особого подхода при согласовании подключаемых к сети устройств.

2. Подключения и отключения электроприборов создают в сети интенсивные помехи широкого спектра. Кроме того, электропроводка является эффективной антенной для приема внешних электромагнитных излучений. Эти причины вызывают необходимость принятия специальных мер для обеспечения помехоустойчивости создаваемых информационных систем.

3. Сеть электропитания выполнена в основном алюминиевым проводом (только в домах новой постройки используется медный провод), что предопределяет частотные искажения передаваемого сигнала. По этой причине электросеть имеет низкую пропускную способность и требует особого подхода для реализации максимально возможной скорости передачи информации на максимальное расстояние при многоканальном доступе к сети.

4. Электропитание потребителей осуществляется от 3-фазной сети с равномерным распределением нагрузки на каждую из двух фаз. По этой причине необходимо решать задачу межфазной передачи информации с минимальными потерями и искажениями.

Создание систем передачи данных по сетям электропитания PLC (Power Line Communication) получило развитие в известных электронных и компьютерных фирмах. Международная ассоциация International Powerline Forum рассматривает в качестве наиболее перспективных областей применения систем PLC следующие:

- системы дистанционного управления, контроля, учета, сигнализация;
- домашняя автоматика;
- локальные компьютерные сети для малых офисов и домашних офисов SOHO (Small Office/ Home/ Office);
- телефония;
- доступ к Internet.

К настоящему времени принят ряд государственных и международных стандартов, определяющих

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Нормативные документы, определяющие условия использования сети электропитания для построения информационных систем

Нормативные документы	Содержание
МЭК 61.000-3-8 Международный стандарт	Распространяется на оборудование, предназначенное для передачи сигналов по низковольтным электросетям в полосе частот от 3 до 525 кГц. Устанавливает допустимые полосы частот, уровни сигналов и помех для регионов 1, 2, 3 (классификация UTU). В Европе (регион 1) радиовещание ведется на частотах от 148,5 кГц и выше, в то время как в регионах 2 и 3 — на частотах выше 525 кГц
МЭК 51.343-3-1 Международный стандарт	Распространяется на оборудование распределенных систем автоматики на базе линий электропитания. В том, что касается региона 1, ссылается на стандарт CENELEC EN 50065
Стандарт CENELEC EN 50065-1.1991	Распространяется на оборудование, предназначенное для передачи сигналов по низковольтным распределительным электросетям (220 В, 50 Гц), включая внешние кабели и внутреннюю электропроводку зданий. Разрешает использование полосы частот от 3 до 148,5 кГц для передачи данных по линиям электропитания. На более высоких частотах в Европе работают длинноволновые радиостанции. Частоты от 3 до 95 кГц используют только энергетические службы, от 95 до 148,5 кГц — потребители электроэнергии
Стандарт FCC 15.107 США, Канада	Распространяется на оборудование, предназначенное для передачи сигналов по низковольтным распределительным электросетям (120 В, 60 Гц). Устанавливает допустимые полосы частот, уровни сигнала, наводимого в сети. Разрешает передавать сигналы по линиям электропитания в полосе частот свыше 450 кГц и допустимом уровне вводимых сигналов — 250 мкВ
ГОСТ Р51317.3.8-99 (МЭК 61.000-3-8-97)	Содержит аутентичный текст стандарта МЭК 61.000-3-8-97. Определяет три полосы частот, разрешенных к использованию: от 3—9 кГц — для энергосберегающих компаний; от 9—95 кГц — для энергоснабжающих организаций и органов энергоснабжения; от 95—148,5 кГц — для потребителей электроэнергии

частотный диапазон и уровень сигналов для информационных систем на основе сети электропитания (см. таблицу) [5]. По скорости передачи (C) системы разделяют на низкоскоростные — до 10 Кбит/с, работающие в полосе частот $\Delta f=3—525$ кГц, и высокоскоростные — свыше 1 Мбит/с, работающие в полосе частот $\Delta f=3—32$ МГц (см. рисунок).

Основные усилия исследователей и разработчиков были направлены на создание с использованием электропроводки локальных компьютерных сетей с подключением к Internet. При этом разрабатывались как технологии построения сетей, так и специальные модемы для подключения к сети электропитания.

Главным препятствием в достижении практических результатов являлись помехи в электросети от включения и выключения электроприборов. Приемлемого решения этой проблемы удалось достичь путем применения специальных методов модуляции и кодирования сигнала, в частности, применения метода частотного уплотнения с ортогональными несущими OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) и дифференциальной квадратурной фазовой манипуляции со сдвигом DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), а также путем использования сложного широкополосного сигнала с кодовым разделением каналов типа стандарта мобильной связи CDMA (Code

Division Multiple Access) и линейного частотно-модулированного сигнала.

В основу архитектуры построения информационных систем с использованием электросетей была положена семиуровневая модель взаимодействия OSI (Open System Interconnection).

К настоящему времени уже разработаны и используются технологии передачи данных по сети электропитания со скоростями передач до 1 Мбит/с: X-10, CEBus, Lon Works, Adaptive Networks, DPL 1000.

Технология X-10 — одна из первых, в которой была применена амплитудно-частотная модуляция для передачи управляющей информации по сети электропитания. Технология нашла применение для управления бытовыми приборами.



Виды систем передачи информации через электросеть

Передача данных производится в моменты, когда значение напряжения равно нулю, т. е. минимально влияние различных устройств, подключенных к электросети, а также минимально значение шумов. Двоичному нулю соответствует отсутствие импульса, а двоичной единице — радиопульс на частоте 120 кГц в течение 1 мс. Скорость передачи информации по сети с напряжением 220 В и частотой 60 Гц составляет 60 бит/с [4, 12, 13].

Технология Lon Works была разработана корпорацией Echelon. Свое применение технология успешно нашла в системах жизнеобеспечения зданий, промышленной и домашней автоматике. Lon Works построена на открытом семиуровневом протоколе Lon Talk. В зависимости от используемого напряжения (24, 120, 220, 380, 480 В) с частотой переменного тока 50, 60, 400 Гц или постоянного тока используют несколько видов адаптеров, которые изготовлены в виде микросхем или микросборок. К разработкам в данном направлении активно подключились компании Microsoft, Cisco, Motorola, Toshiba [4, 12].

Компанией Adaptive Networks разработана микросхема, которая позволяет передавать данные по электропроводке со скоростью 19,2—100 Кбит/с. Разработки компании направлены не только на построение домашних сетей, но и на создание систем промышленного контроля и управления. При передаче данных была применена широкополосная модуляция с расширением спектра. Искажения сигнала, вызванные частотно-зависимым затуханием, удалось компенсировать при помощи схемы адаптивной компенсации. Компания выпускает три комплекта аппаратуры в различных вариантах исполнения: AN48 — 4,8 Кбит/с, AN19 — 19,2 Кбит/с, AN100 — 100 Кбит/с. AN48 использует полосу частот от 9 до 95 кГц, AN100 — соответственно до 450 кГц. Полная физическая скорость системы составляет 268 Кбит/с, а эффективная — 115 Кбит/с. Архитектура сети позволяет поддерживать адресацию до 65534 устройств [4, 12, 14].

Английская компания Nor. Web разработала технологию DPL-1000, которая позволяет передавать по сетям электропитания не только пакеты данных, но и голос. Она построена на запатентованных средствах защиты данных от наводок. В настоящее время на основе технологии DPL-1000 в Германии пользователи получили доступ к всемирной сети Internet со скоростью 1 Мбит/с в обоих направлениях, а в Великобритании к сети Internet подключена общеобразовательная школа [4, 13].

Разработанная компанией Intelogis технология Plug-In реализована в серии продуктов Passport. Для передачи данных применяется частотная модуляция. Частоты, которые используются для передачи логических нулей и единиц, находятся чуть выше обычного шума. Технология применяется в сетях напряжением 110 В. Скорость передачи данных на расстоянии 400 метров составляет 350 Кбит/с, в перспективе — 1 Мбит/с [4, 15, 16].

Международный альянс Home Plug Alliance, созданный по инициативе компаний Enkia и Intellon, в 2001 г. утвердил первую спецификацию стандарта Home Plug 1.0 технологии передачи цифровых дан-

ных по сети электропитания со скоростью передачи информации до 14 Мбит/с. [8]. Это событие стало результатом более чем 500 объектовых испытаний разработанных технических решений и устройств в реальных зданиях, при которых была достигнута скорость передачи информации через сеть электропитания в пределах здания 14 Мбит/с. Зарегистрирован также фирменный знак альянса "Home Plug Certified". В состав альянса входит около сотни крупных фирм всего мира, в том числе Intel, Hewlett-Packard, Motorola, Philips, Samsung, Sony, Panasonic, Sanyo, Sharp, Matsushita, France Telecom.

Следует отметить достигнутые к настоящему времени практически важные результаты исследований и разработок по созданию информационных систем на основе сети электропитания с более высокой скоростью передачи информации — до 45 Мбит/с.

Компанией Intellon (США) разработана технология Power Packade™, которая решает проблемы адаптации системы к изменениям характеристик канала, защиты информации, устранения интерференции, достижения высокой скорости передачи информации и др. Технология послужила основой для стандарта Home Plug 1.0.

На международной выставке "ВКСС 2002" была продемонстрирована возможность построения компьютерных сетей с использованием электропроводки на основе технологии Home Plug 1.0. При демонстрации расстояние между устройствами составляло 5 метров. Скорость обмена информацией составила до 10 Мбит/с. Устройства были подключены к компьютеру через USB-порты.

Компания Intellon предлагает полный спектр продукции для передачи информации по сетям электропитания начиная от системного решения и средств проектирования сети до набора микросхем [17].

В настоящее время альянс Home Plug Alliance ведет работы по созданию следующей версии технологии Home Plug 2.0 — Home Plug AV, позволяющей значительно повысить скорость передачи информации и обеспечить передачу мультимедийной информации, в том числе и для передачи как стандартного телевизионного сигнала, так и телевизионного сигнала высокой четкости.

В США и Канаде альянсом Home Plug Alliance ведутся интенсивные работы по созданию локальных домашних сетей, обеспечивающих соединение компьютера с другими передающими и принимающими устройствами в помещениях со скоростью до 14 Мбит/с с выходом в сеть Internet. Рыночный потенциал для нового промышленного стандарта в Северной Америке оценивается в 12 млн. семей.

Фирмой ITRAN Communications (Израиль) разработана и запатентована технология дифференциальной кодовой манипуляции (DCSK) с использованием SS-модуляции в полосе частот 4—20 МГц с турбокомпенсацией и сжатием кода [4, 18].

В Европе значительных результатов в использовании электросети для информационных целей добился ведущий поставщик электроэнергии Германии AG RWE GmbH, который на основе технологии Powelein

обеспечивает подключение пользователей к Internet через собственные электросети со скоростью 2 Мбит/с, т. е. большей, чем достигается в телефонной сети. При этом использовались модемы швейцарской фирмы ASCOM. В экспериментальных исследованиях достигнута скорость передачи в электросети 45 Мбит/с. Рынок потребителей данного вида услуг в Германии оценивается более чем в 100 тыс. абонентов. Фирма осуществляет внедрение достигнутых результатов также в Бразилии.

Следует подчеркнуть особое внимание к развитию этого направления во Франции. Специальной государственной программой предусматривается обеспечение в течение 5 лет высокоскоростного подключения любого жителя страны к Internet через электросеть, для чего выделяется около 1,3 млрд. \$ кредитных средств.

Работы по обеспечению высокоскоростного доступа к Internet проводятся также и в других европейских странах — Дании, Австрии, Испании.

В последние годы интенсивное развитие направления осуществляется в Японии компанией Kansai Electric Power, чей стандарт обеспечивает передачу данных через электросеть со скоростью 24 Мбит/с в полосе частот 4—20 МГц. Другая фирма — Sofbank уже достигла скорости передачи данных в электросети 40 Мбит/с в полосе частот 8—32 МГц.

Мировыми фирмами производятся и реализуются на рынке модемы для использования в сети электропитания для передачи информации — например, трансивер SSC P485 фирмы Intellon (скорость передачи информации 10 Кбит/с, протокол CEBus), модем PassPort фирмы Intelogis (скорость 350 Кбит/с, протокол Plug-In), трансивер ITM1 фирмы ITRAN (скорость 1500 Кбит/с, протокол Ethernet) [4].

На территории СНГ работы в данном направлении ведутся в России, Украине, Молдове, Беларуси, Казахстане.

ОАО «Ангстрем» (г. Зеленоград, Россия) производит ИС приемопередатчика по сети переменного тока КР 1446ХК1, которая позволяет получить скорость передачи информации по электрическим сетям до 992 бит/с [19].

Информационно-аналитическим центром научных исследований «Континиум» (г. Москва, Россия) разработан комплект аппаратуры для построения системы учета электроэнергии на основе электросети [20]. С использованием аппаратуры введен в эксплуатацию ряд систем учета электроэнергии многоквартирных жилых домов. Аналогичный комплект аппаратуры производит и внедряет на объектах ООО «TeleTec» (г. Одесса, Украина) [21].

В г. Зеленограде (Россия) осуществлен доступ ко всемирной сети Internet по сети электропитания со скоростью доступа 2—12 Мбит/с на расстоянии до 350 метров [5, 22].

Достигнутые результаты исследований и разработок показывают актуальность и перспективность использования сети электропитания для построения информационных систем.

Выводы

1. Сеть электропитания представляет собой готовую кабельную сеть с большим частотным ресурсом, пригодную для построения информационных систем.

2. Основными трудностями при создании практических информационных систем на основе сети электропитания являются высокий уровень помех, нестационарность нагрузочных характеристик, значительные частотные затухания, необходимость межфазного перехода.

3. Мировыми фирмами получены конкретные результаты исследований, производятся и реализуются на рынке модемы для передачи данных в сети электропитания со скоростью до 1,5 Мбит/с.

4. Перспективу развития направления составляет создание на основе сети электропитания локальных компьютерных систем с выходом в Internet, информационных систем контроля и управления, локальных систем телефонной связи.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Передача информации в энергосистемах / Под. ред. В. Х. Ишкина. — М.: Энерго-издат, 1988.
2. Колесниченко Д. По высоковольтным линиям электропередачи // Сети и телекоммуникации. — 2002. — № 7. — С. 37.
3. Калужный В. Ф. Пути интенсификации использования проводных сетей и создания «проводного эфира» // Труды международной академии связи. — 2000. — № 2. — С. 17—20.
4. Лагутенко И. О. Современные модемы. — М.: Эко-Трендз, 2002.
5. Подгурский Ю. Электропитание с информационной правой // Сети и телекоммуникации. — 2002. — № 7. — С. 32—37.
6. Макаров В. А., Савин А. Ф. Интернет из электрической розетки // Вестник связи. — 2002. — № 11. — С. 86—87.
7. Непокучинский И. Трансивер для передачи данных по электросети // Сети и телекоммуникации. — 2002. — № 7. — С. 33.
8. Кондратенко П. Связь по электропроводке // Компьютеры и средства связи. — 2003. — № 1. — С. 24—37.
9. Кучеренко Ю. Домашние сети на электропроводах — время пришло? // Компьютерное обозрение. — 2003. — № 18—19. — С. 24—37.
10. Лозовой И. А. Сельские системы передачи в век Интернета // Вестник связи. — 2003. — № 1. — С. 68—73.
11. Семенко А. И., Юрчук А. П. Построение информационных систем с использованием сети электропитания // Труды 5-й Междунар. науч.-практич. конф. «Современные информационные и электронные технологии». — Одесса. — 2005. — С. 21.
12. <http://www.osp.ru/nets/1999/10/05.htm>.
13. http://ccc.ru/magazine/depot/02_06/0101.htm.
14. http://www.telecomforum.ru/vesti/1999/03/05_02.htm.
15. <http://www.intelogis.com>.
16. <http://www.3dnews.ru/reviews/communication/homenet>.
17. <http://www.compulenta.ru/2001/6/26/14840>.
18. <http://www.itrancomm.com>.
19. Приемопередатчик по сети переменного тока КР 1446ХК1 // Радиоаматор. — 2002. — № 11. — С. 56—57.
20. Система автоматизированного контроля и учета энергоресурсов «Континиум». Технические условия. ТУ 4205-004-17915838-00. — М.: 2000.
21. Комплекс средств для построения автоматизированной системы сбора и учета электроэнергии. — Одесса: ООО «Tele Tec», 2005. — www.teletec.com.ua.
22. <http://www.andstrem.ru/pdf/kr1446xkl.pdf>.