

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ PLC В ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ АСКУЭ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

К.В. Николенко, А.В. Юрченко

В данной статье рассматриваются перспективные направления развития передачи данных в АСКУЭ (АИИС КУЭ) применительно к подстанциям на солнечных батареях. В частности PLC (PowerLineCommunication) применительно к Российской системе распределенного электроснабжения. Рассматриваются плюсы и минусы данной технологии в сравнении с другими. В НИ ТПУ в 10-м корпусе была построена экспериментальная АСКУЭ. Проведены исследования использования PLC в алюминиевой и медной электропроводке.

**Ключевые слова:** АСКУЭ, АИИС КУЭ, генерирующая электрическая сеть, связь по силовой сети.

### **Введение**

О технологии PLC (PowerLineCommunication)[1] или «Связь по электросети» так или иначе слышали многие, однако о реальных возможностях технологии осведомлено лишь небольшое количество специалистов. Отчасти это связано с информационной политикой производителей и невнятным маркетингом, который не учитывал российские реалии, отчасти виноваты болезни роста, поскольку первая и вторая версия стандарта работали не так хорошо, как хотелось бы. В этом обзоре представлен свежий взгляд на возможности этой интересной технологии, которая базируется на стандарте, одобренном IEC в 2006 году. Этот стандарт обеспечивает физическую скорость передачи данных до 200 Мбит/сек в режиме полудуплекс, что соответствует максимальной скорости передачи реальных данных 80 мбит/сек в полнодуплексном режиме. Максимальная скорость ниже пропускной способности FastEthernet из-за издержек на служебный трафик и избыточность данных для протокола коррекции ошибок.

На отечественном рынке технология PLC известна прежде всего решениями типа «Домашняя сеть по электропроводке» которые представлены такими брендами как Zyxel, Dlink, Qlan. А также компанией «Инкотекс» представлены системы сбора передачи данных в рамках АСКУЭ.

### **Суть технологии.**

Основой технологии Powerline является использование частотного разделения сигнала, при котором высокоскоростной поток данных разбивается на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей частоте с последующим их объединением в один сигнал (рисунок 1).

те с последующим их объединением в один сигнал (рисунок 1).

В технологии Powerline используются 84 поднесущие частоты в диапазоне 4-21 МГц. Теоретическая скорость передачи данных при использовании параллельных потоков с одновременным фазовым модулированием сигналов составляет более 100 Мб/с. Адаптация к физической среде, устранение ошибок и разрешение конфликтов. При передаче сигналов по бытовой сети электропитания могут возникать большие затухания в передающей функции на определенных частотах, что приведет к потере данных [2].

### **Существующие решения на основе PLC**

«Меркурий-ЭНЕРГОУЧЁТ» - это современная АИИС ориентированная на применение в жилом и мелкомоторных секторах, коттеджных и дачных посёлках, а так же для учёта на вводах трансформаторных подстанций 6(10)/0,4 кВ. Отличительной особенностью нашей системы от множества других является то, что контроль за потреблением электроэнергии осуществляется по силовой распределительной сети 0,4 кВ. В отличие от АИИС КУЭ, построенных на базе счётчиков с традиционными проводными цифровыми интерфейсами RS-485 или подобными, отсутствие объединяющего интерфейсного кабеля значительно удешевляет стоимость монтажных работ и последующую эксплуатацию системы, при этом увеличивается надёжность функционирования и вандалоустойчивость. Совокупная стоимость системы практически определяется суммарной стоимостью электросчётчиков. Технические решения применённые при разработке коммуникационного оборудования являются уникальными среди

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ PLC В ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ АСКУЭ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

подобных устройств и защищены двумя патентами РФ.

Кроме того в Европе и Америке, а с недавнего времени и в России, широко приме-

няются малые сети на основе PLC технологий. Пример малой сети приведен на рисунке 1:

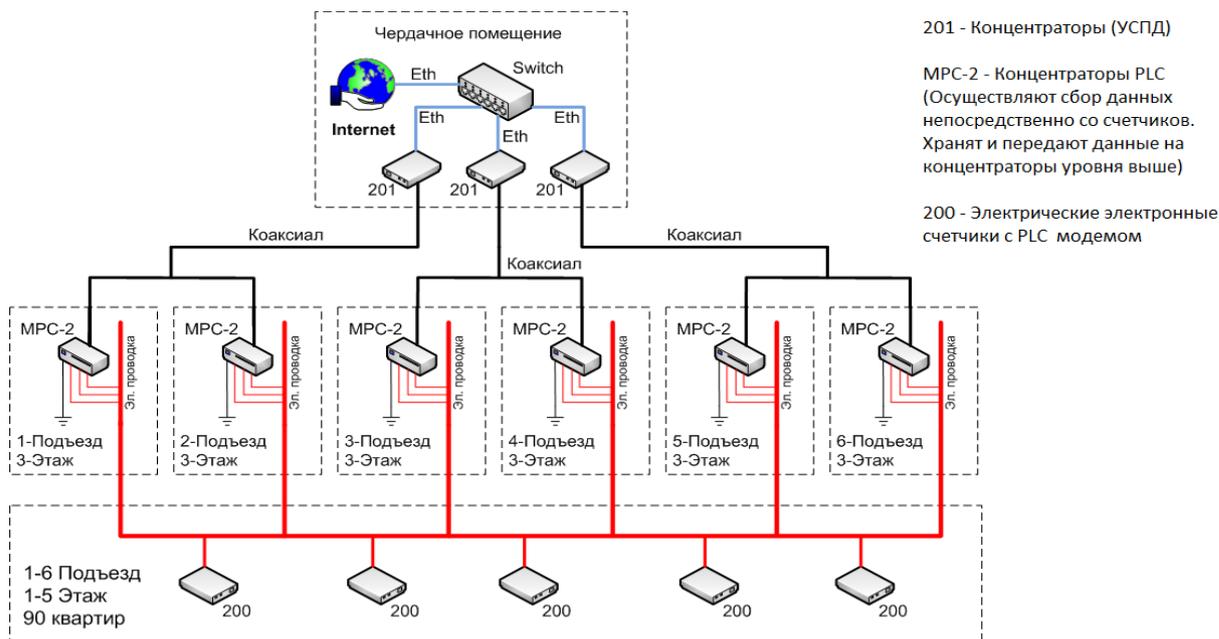


Рисунок 1 - Малая сеть многоквартирного дома.

Учитывая тенденции развития отраслей IT и электроэнергетики, взаимную интеграцию, можно предполагать, что следующим этапом развития АСКУЭ может стать комбинированная или гибридная сет передачи данных. Такая сеть способна не только собирать данные с точек учета, но и предоставлять доступ в информационное поле абонентам. В связи с этим развитие технологий широкополосного доступа посредством PLC является перспективным направлением.

На сегодняшний день отрасль активно развивается. И в феврале 2011 года был принят новый стандарт IEEE 1901. Международная некоммерческая техническая профессиональная ассоциация Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. (IEEE) предварительно утвердила стандарт 1901, который в перспективе позволит передавать данные по электросети на скорости до 500 Мбит/с.

Спецификации нового стандарта подразумевают скорость передачи данных на физическом уровне (в реальных условиях) до 500 Мбит/с. Предварительно финальные спецификации стандарта были утверждены уже в 11-го февраля 2011 г.

Начало развитию услуг доступа в Интернет было положено в 2004 г. В июле 2004 г. IEEE объявил о создании группы разработки нового стандарта, проект носил наименование IEEE P1675, Standard for Broadband over Power Line Hardware. Его разработка и ратификация были завершены в сентябре 2008 г.

Помимо IEEE P1675 существуют еще три проекта в этой же предметной области: IEEE P1775, инициированный 12 мая 2005 г. с целью регламентирования PLC-оборудования, требований по электромагнитной совместимости, методов тестирования и измерения; IEEE P1901, Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications, обеспечивающий описание физического уровня и уровня доступа к среде для всех классов BPL-устройств (ратифицирован в сентябре 2010 г.); IEEE BPL Study Group, Standardization of Broadband Over Power Line Technologies, обеспечивающий создание новых групп, связанных с BPL.

Кроме того в России уже прошли сертификацию и поступили в розничную продажу маршрутизаторы и преобразователи фирмы Zyxel. Но тут стоит отметить, что Powerline-оборудование Zyxel применяется не для подключения услуг Интернета, а для удобной разводки уже имеющегося интернет-подключения по квартире (в разные комнаты), без прокладки дополнительных коммуникаций (не нужно прокладывать Ethernet-кабель), используя имеющуюся в помещении электропроводку.

На данном этапе развития технология PLC может потеснить на рынке предоставления широкополосного доступа такие традиционные технологии как Ethernet и даже WiFi. В связи с принятием нового стандарта IEEE 1901 отрасль начинает следующий виток

### РАЗДЕЛ III. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

развития, а уже имеющиеся технологии могут позволить электро-компаниям совмещать предоставление услуг по энергообеспечению с предоставлением услуг в сфере коммуни-

каций. А это не только интернет, но и телефония, телевиденье (более того HDTV).[3]

Таблица 1. Сравнительный анализ технологий обмена информацией в АСКУЭ

Технология	Состав	Посредник	Возможность вмешательства	Достоинства	Недостатки
Ручной контроль	S	Человек	+	Нет	Большая вероятность ошибки, преднамеренного Внесения неверных показаний, Большой штат сотрудников
RS232/485	S-K-L-C	-	-	Простота реализации в небольших и не распределенных сетях	Наличие дополнительных линий связи
GSM	S-K-L-C	Сотовый оператор	-	Простота реализации для 1-ой точки контроля	Необходима организация счетчиков в малую сеть, установка УСПД и лишь затем передача данных
PLC	S-K-C	-	-	Использование готовых линий связи	Плохое качество линий (относится в меньшей степени к новостройкам)
Radio/ГТС	S-K-L-C	Сертификация частот/ Телефонная компания	-	Нет необходимости в линиях связи	Необходимо резервирование частот
LAN	S-K	Интернет провайдер	-	Минимальный набор оборудования (количественно сравним с PLC)	Необходимо наличие интернет провайдера, что увеличивает расходы

S– наличие в системе счетчика;

K- наличие в системе концентратора (УСПД);

L- наличие в системе дополнительных линий связи;

C- наличие в системе средства связи в диспетчерском пункте и/или ЦДП.

В НИ ТПУ в 10-м корпусе была построена экспериментальная АСКУЭ на этапе т.н. «последней мили» с применением оборудования компании «Инкотекс» (рис. 4). Согласно проведенным исследованиям затухание PLC гораздо меньше ожидаемого. Получение PLC пакетов в рамках одной ТП составило 100%. Т.о. технология PLC как нельзя лучше подходит для локальных сетей сбора-передачи данных. Основным питающим элементом сети являются солнечные батареи, установленные на крыше 10-го корпуса ТПУ. Как известно, солнечные батареи генерируют постоянный ток, а для питания большинства приборов необходим переменный ток. Поэтому ток поступающий от солнечных батарей преобразовывается в переменный при помощи инвертера AC-DC. Далее, с целью упрощения расчетов с электро-компанией, необходимо точно знать количество (кВт/ч) произведенной энергии, и количество потребленной от городской сети. Для этого в

системе присутствуют 2 счетчика, а именно «Меркурий 203 2Т» на входе после инвертера, и «Меркурий 201» на входе от городской сети 220В. Кроме того, в системе присутствует блок аккумуляторных батарей, которые заряжаются от солнечных в ясную погоду, и разряжаются, отдавая энергию в сеть, в сильно пасмурную погоду или ночью. Таким образом система учитывает не только мгновенно потребляемую энергию (как от сети, так и от PV элементов), но и энергию потребляемую после накопления. Генерирующая сеть питает оборудование в лаборатории. На данный момент это компьютеры и оргтехника.

Помимо этого в системе реализовано введение резерва. Автоматический ввод резерва (АВР) - способ обеспечения резервным электроснабжением нагрузок, подключенных к системе электроснабжения, имеющей не менее двух питающих вводов и направленный на повышение надежности системы

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ PLC В ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ АСКУЭ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

электрообеспечения. Заключается в автоматическом подключении к нагрузкам резервных источников питания в случае потери основного. Т.е. в нашем случае если аккумуляторная батарея разряжена и солнечная батарея не может снабжать необходимым количеством энергии систему, то сработает АВР (автомат введения резерва) и переключит систему на питание от городской сети. При построении АВР использовались стандартные электротехнические элементы, но пришлось использовать не стандартные электротехнические решения. АВР состоит из реле напряжения и контакторов. При падении напряжения после инвертера реле напряжения дает команду контакторам переключиться, и т.о. система питается от городской сети. Однако, находясь не под нагрузкой напряжение после инвертера вырастет. Что приведет к переключению системы назад и затем, т.к. мощности

блока аккумуляторов и солнечных батарей не достаточно для поддержания напряжения на должном уровне, снова на питание от городской сети. Этого необходимо избежать, но стандартных решений для введения АВР в генерирующую системы на данный момент нет, как нет и стандартного решения для данной проблемы. На данный момент переключения на питание от аккумуляторов и солнечных батарей происходит вручную. Поэтому перед нами встает задача по разработке микропроцессорного устройства не только учета и контроля электроэнергии (электронного счетчика), но и управления системы, т.е. комбинация счетчика и управляющего устройства. Такое микропроцессорное устройство объединит в себе все разрозненные, на данный момент, элементы системы: счетчики, реле напряжения, преобразователи сигналов, УСПД и т.д.

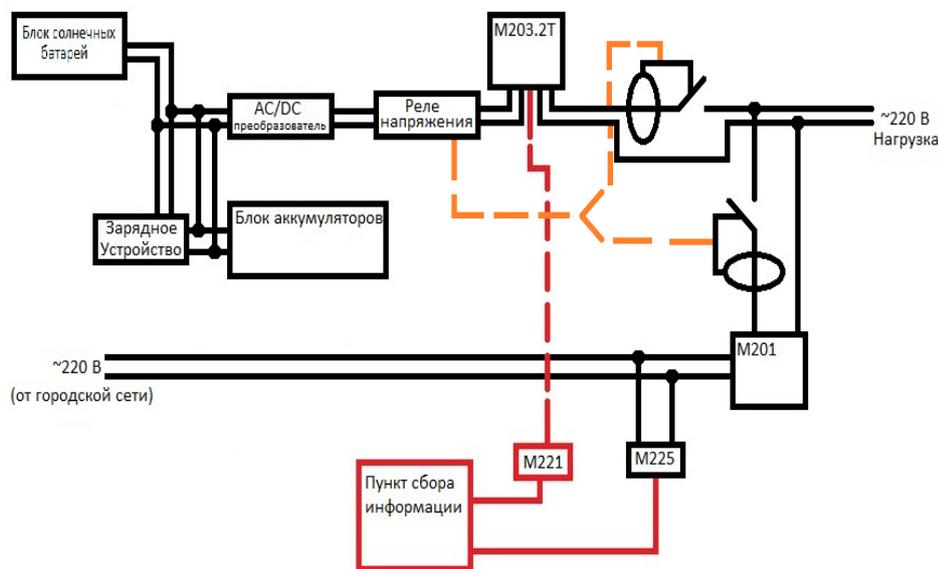


Рисунок 2 - Схема АСКУЭ генерирующей сети.

**Результаты экспериментов**

Проведены исследования влияния на сигнал PLC различных факторов. Как например медная или алюминиевая проводка используется в ТП. В 10-ом корпусе ТПУ присутствуют оба типа проводки. Согласно плана электропроводки здания, были выбраны участки электросети длиной 12 м для алюминия и меди, и 78 м для алюминия, 81 м для меди. Тестирование проводилось при помощи оборудования ООО «Инкотекс»: концентраторов Меркурий 225.11, Меркурий 225.12, счетчиков Меркурий 201, Меркурий 200, Меркурий 203 2Т. Ниже, на рисунке 5, приведены осциллограммы сигналов.

Более подробно рассмотрим падение амплитуд в точках 1-2 для медной проводки и 3-4 для алюминиевой.

В точке 1 (рисунок 4) амплитуда сигнала равна 176 мВ, уровень приема 100%.

В точке 2 (рисунок 5) мы же видим падение амплитуды до 27,1 мВ, хотя уровень приема сигнала по прежнему уверенны, и составляет 98%, благодаря принципам пакетной передачи данных.

В алюминиевой проводке уровень сигнала, при прочих равных условиях, слабее. Как видно в точке 3 (рисунок 6) (находящейся на таком же расстоянии от передатчика, что и точка 1) амплитуда сигнала меньше, чем в точке 1. Амплитуда сигнала – 131 мВ, уровень приема 100%.

Падение же уровня происходит по тому же закону, что и в медной проводке. И в точке 4 (рисунок 7) амплитуда сигнала – 25,6 мВ, уровень приема 98%.

Затухание высокочастотных сигналов алюминии выше, чем в меди, т.к. удельное сопротивление: Al - 0,028 Ом\*мм<sup>2</sup>/м, в то время как Cu - 0,0175 Ом\*мм<sup>2</sup>/м.

### РАЗДЕЛ III. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

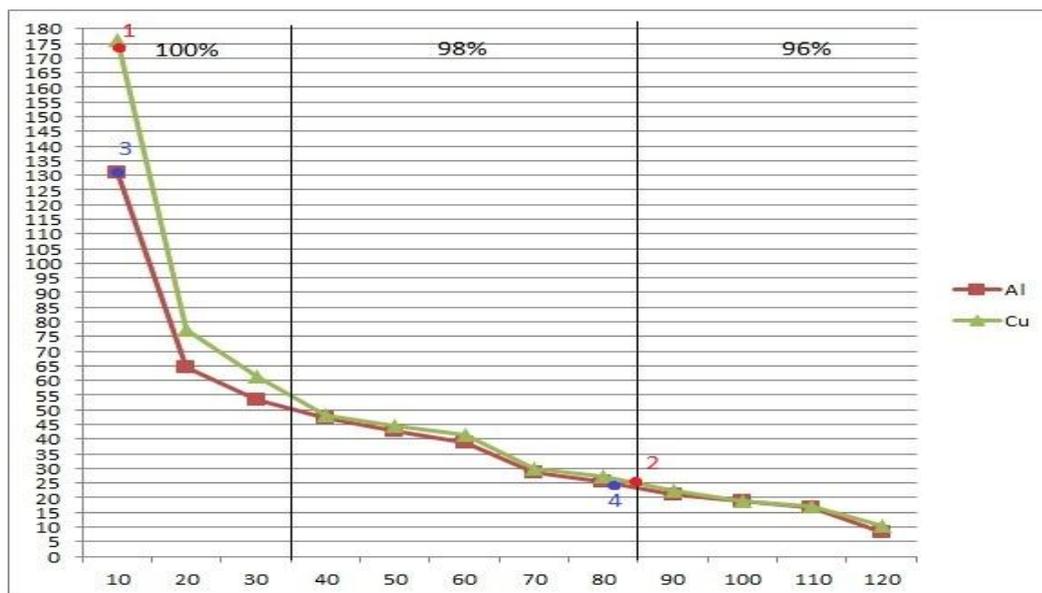


Рисунок 3 - Амплитуды PLC, уровень приема.

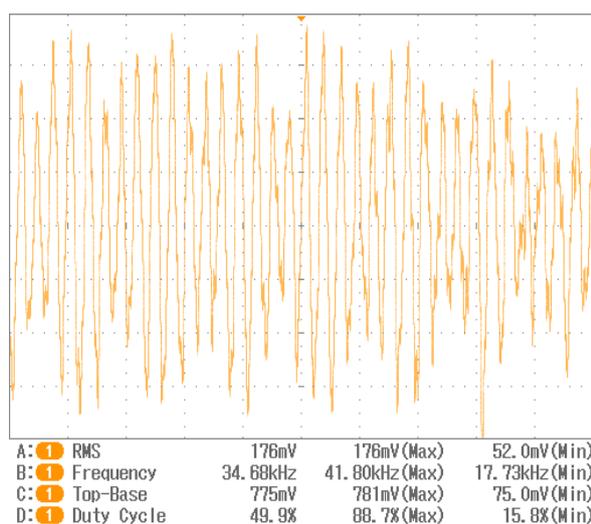


Рисунок 4 - Осциллограмма в точке 1

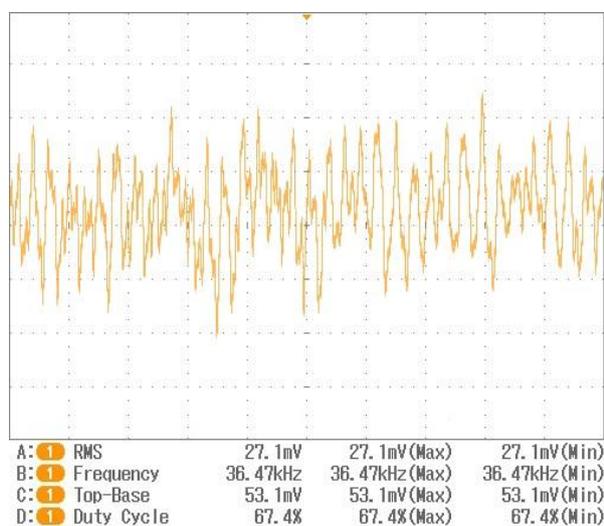


Рисунок 5 - Осциллограмма в точке 2

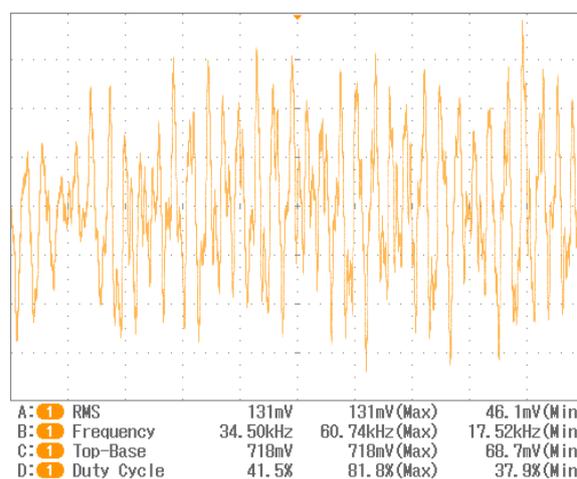


Рисунок 6 - Осциллограмма в точке 3.

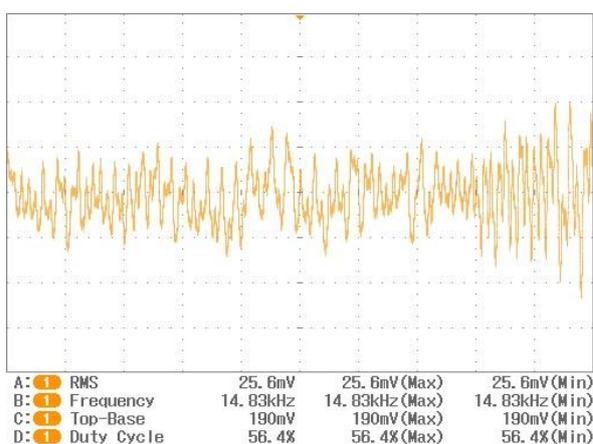


Рисунок 7 - Осциллограмма в точке 4.

#### Выводы

Согласно результатам полученных данных и проведенных тестов можно сделать вывод, что применять PLC для какой-либо связи (в рамках технологического процесса,

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ СИНТЕЗ ПЛЕНОЧНЫХ СОСТАВНЫХ И НАЛОЖЕННЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

АСКУЭ, широкополосного доступа в сеть интернет и/или предприятия) лучше при наличии медной проводки в здании. PLC является в достаточной мере помехозащищенным типом связи, в рамках исследований сбой были крайне редким явлением. PLC отлично подходит для связи в генерирующих сетях, т.к. в таких сетях, как правило, нет сдвига частоты переменного тока, что всегда присутствует в городских сетях, ввиду неравномерного вращения турбины. Сравнительный анализ позволяет с уверенностью утверждать, что PLC наименее затратная технология в обслуживании. Безусловно присутствуют изначальные затраты на развертывание, но за счет отсутствия как посредников, так и дополнительных линий связи, стоимость обслуживания ниже других технологий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEEE P1901 and the HomePlug Alliance // Электронный ресурс - [http://www.homeplug.org/tech/ieee\\_1901/\(20.03.2011\)](http://www.homeplug.org/tech/ieee_1901/(20.03.2011))
2. Вячеслав Уютов Предоставление доступа в Интернет на базе технологии PLC / "Техноло-

гии и средства связи". 2007. № 4 С. 38-41., 2007 (Журнал).

3. Николенко К. В., Передача данных по рс-сети. Возможности и перспективы / Николенко К. В., Юрченко А. В. // Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений. Сборник трудов II Международной научно-практической конференции молодых ученых. 23 - 25 ноября 2010 г. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. — с. 445-447
4. Николенко К. В. Технология PLC и ее перспективы на российском рынке широкополосного абонентского доступа / Николенко К. В., Юрченко А.В., Волгин А.В. // Информационно-измерительная техника и технологии: сборник материалов I Научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры «Информационно-измерительная техника» Национального исследовательского Томского политехнического университета / под ред. А.В. Юрченко; - Томск, НИ ТПУ, 25-26 февраля 2010. - Томск: Изд. ТПУ, 2010. - С. 74-75

Аспирант **Николенко К. В.** - [rubos\\_saboteur@mail.ru](mailto:rubos_saboteur@mail.ru); профессор **Юрченко А. В.** - [niipp@inbox.ru](mailto:niipp@inbox.ru); *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, кафедра информационно-измерительной техники, тел. (3822) 418911*

УДК 535.4

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ СИНТЕЗ ПЛЕНОЧНЫХ СОСТАВНЫХ И НАЛОЖЕННЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ю.Ц. Батомункуев, А.А. Дианова, Т.В. Маганаква, В.А. Райхерт, Н.А. Харитошин

В работе рассмотрено изготовление пленочных составных и наложенных дифракционных элементов с помощью стандартных компьютерных программ и высокоразрешающего принтера. Каждая составная (наложенная) часть дифракционного элемента выполняет заданное простое преобразование падающей на нее световой волны. В качестве примеров приведены составные и наложенные зонные пластины и составной дифракционный аксикон. Представлены формируемые ими дифракционные картины.

**Ключевые слова:** дифракционный оптический элемент, зонная пластина.

### Введение

В последние годы разрабатываются новые дифракционные оптические элементы, преобразующие заданным образом волновой фронт, амплитуду и фазу монохроматической световой волны. Так, в частности, предложены дифракционные элементы, фокусирующие световую волну в заданную область пространства с требуемым распределением интенсивности в ней (например, в кольцо); для исправления аберраций изображений, формируемых оптическими элементами и системами; для разделения световых волн и осуществления перекрестных оптических связей; для создания эталонных асферических волновых фронтов [1-3]. Практическая необхо-

димость в таких дифракционных элементах возникает в связи с невозможностью использования стеклянных линз и призм в терагерцовом, дальнем инфракрасном и в дальнем ультрафиолетовом диапазонах спектра. В настоящее время возник интерес к составным и наложенным дифракционным элементам, выполняющим одновременно два и более различных преобразований световой волны. Но для их изготовления требуется дальнейшее совершенствование специализированного оборудования и технологий, а также усложнение расчетов, по сравнению с расчетами известных дифракционных элементов. Поэтому задача упрощения изготовления составных и наложенных дифракционных эле-

Ю.Ц. БАТОМУНКУЕВ, А.А. ДИАНОВА, Т.В. МАГНАКОВА, В.А. РАЙХЕРТ, Н.А. ХАРИТОШИН

139