

IT1000 – OFDM-МОДЕМ ДЛЯ УЗКОПОЛОСНОЙ PLC-СВЯЗИ



Израильская компания Yitran Communications Ltd. анонсировала новый модем для PLC-связи. В отличие от ранее выпущенных DCSK-модемов (IT700/800) в модеме IT1000 (OFDM-Flex) используется модуляция вида OFDM, что потенциально позволит достичь скорости передачи данных до 800 Кбит/с и более.



IT1000 – OFDM-MODEM FOR PLC

Abstract – Yitran's new generation IT1000 is an OFDM flex PLC transceiver that implements different OFDM based standards such as PRIME, PLC G3, ITU G.hnem and IEEE P1901.2.

В. Охрименко

V. Okhrimenko

ВВЕДЕНИЕ

Неизменный интерес к средствам передачи информации по промышленным и бытовым электросетям обусловлен, прежде всего, возрастающей потребностью в сравнительно недорогих средствах телекоммуникации массового применения. Идея передачи данных по электрической сети появилась примерно в 30 годах прошлого века. Первые системы передачи данных по линиям электросети, так называемые PLC-системы (Power Line Communication), появились уже более 70 лет назад.

PLC-технология – телекоммуникационная технология, по сути, семейство технологий связи, основанных на использовании в качестве физической среды для обмена информацией силовых электросетей. PLC – собирательный термин, включающий разнообразные варианты передачи данных по электрической сети [1-7].

PLC-технология разделяют на широкополосную (с шириной используемого спектра частот 2...30 МГц и скоростью передачи данных до 200 Мбит/с) и узкополосную (3...500 кГц со скоростью передачи 128 Кбит/с и более). Узкополосная PLC-технология подразделяется на низкоскоростную (до 10 Кбит/с) и высокоскоростную (более 50 Кбит/с). Основные сферы применения узкополосной PLC-технологии:

- автоматизированные системы управления технологическими процессами (SCADA)
- автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов (АММ/АМІ/АМР)
- системы контроля и управления доступом
- системы видеонаблюдения, безопасности, охранной, пожарной и иной сигнализации

- системы "умный дом"
- домашняя автоматизация и многие другие.

КРАТКИЙ ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ И СТАНДАРТОВ

В настоящее время существует и активно применяется на практике множество технологий передачи данных по электросетям, в том числе используемых в автоматизированных системах управления/контроля, а также стандартов, регламентирующих протоколы обмена, вид модуляции и физическую среду передачи данных. В PLC-технологии, как и в любой другой технологии связи, передаваемые данные предварительно модулируются. В приемнике осуществляется демодуляция сигнала. В настоящее время при узкополосной PLC-связи используются, главным образом, три вида модуляции сигнала.

Требования к PLC-системам, в которых применяется модуляция вида FSK (Frequency Shift Keying – частотная манипуляция), описаны в спецификациях IEC 61334-5-2, а требования к системам с использованием модуляции вида S-FSK (Spread Frequency Shift Keying – частотная манипуляция с расширением спектра) – в спецификациях IEC 61334-5-1.

В протоколе LonWorks для модуляции сигнала выбрана модуляция вида BPSK (Binary Phase Shift Keying – двухпозиционная фазовая манипуляция).

В спецификациях HomePlug C&C, продвигаемых альянсом с одноименным названием (HomePlug Powerline Alliance), предусмотрено использование запатентованной компанией Yitran модуляции с расширением спектра

типа DCSK (Differential Code Shift Keying – дифференциальная кодовая манипуляция).

Диапазоны частот, в которых осуществляется передача данных, регламентируются действующими региональными стандартами. В США принят стандарт FCC (Federal Communication Commission – Федеральной комиссии США по средствам связи), в Японии – ARIB (Association of Radio Industries and Businesses), в Европе – CENELEC (Commission Europeanne de Normalisation Electrique – Европейского комитета по электротехническим стандартам). В этих стандартах для передачи сигналов по электросети с использованием узкополосной PLC выделен диапазон частот в полосе 3...148.5 кГц (CENELEC EN 50065-1) или 3...500 кГц (FCC). Чтобы обеспечить электромагнитную совместимость оборудования, регламентируется также и мощность сигнала в соответствии с нормативными документами (FCC Part15 subpart B/C, EN/IEC 61131-2, EN 55011, EN/IEC 61000-6-4 и др.).

Полоса частот 50...800 кГц используется, главным образом, для передачи телеметрической информации по высоковольтным линиям электропередач.

В основном существующее PLC-оборудование обеспечивает сравнительно невысокую скорость передачи данных (до 10 Кбит/с). Вместе с тем, реструктуризация электроэнергетических сетей, ужесточение контроля энергопотребления, необходимость точного учета расхода электроэнергии со стороны производителей и потребителей, риск возникновения кризисных явлений в сбыте электроэнергии, увеличение пиковых нагрузок, возрастающая конкуренция с учетом возможного снижения тарифов послужили мощным толчком для развития принципиально новых технологий взаимодействия с потребителями. К ним, несомненно, относятся автоматизированные системы учета и контроля/управления энергоресурсами. Эти системы уже многие годы широко применяются на ряде промышленных предприятий, а экономический эффект их применения ощущают как энергетические компании, так и потребители. Кроме того, рост конкуренции на энергорынке способствовал эволюции автоматизированных систем типа AMR (Automatic Meter Reading – автоматического считывания показаний счетчи-

ков), или, иными словами, систем АСКУЭ (Автоматизированных Систем Коммерческого Учета Электроэнергии). Вначале в развитие систем AMR появились усовершенствованные системы AMI (Advanced Metering Infrastructure), а позже возникли комплексные автоматизированные распределенные системы управления/контроля АММ (Automated Meter Management). Их принципиальное отличие – наличие обратной связи с потребителем, что помимо возможности простого удаленного считывания показаний разного рода счетчиков расхода (газа, воды и пр.), характерного для традиционных систем класса AMR/AMI, предоставляет, например, энергогенерирующим компаниям дополнительные возможности дистанционного управления (включения/отключения, ограничения мощности, изменения тарифа, ведения индивидуального профиля услуг потребителей и пр.). Поэтому в последние годы пристальный интерес и повышенное внимание обращены к PLC-технологии с применением модуляции вида OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексирования с ортогональным частотным разделением), использование которой позволяет существенно увеличить пропускную способность канала связи (до 800 Кбит/с) [1].

Альянс PRIME (Powerline Related Intelligent Metering Evolution), в состав которого входят крупнейшие европейские поставщики электроэнергии (Iberdrola, Caz Mereni и пр.), ведущие мировые производители полупроводников (Atmel, STMicroelectronics, Texas Instruments), а также производители средств учета электроэнергии, разработал и предложил свои спецификации. В предложенных PRIME-спецификациях регламентируется использование модуляции типа OFDM, что позволило увеличить скорость передачи до 123 Кбит/с в полосе частот 41.9...88.8 кГц (CENELEC A) [2]. Кроме того, в спецификациях описаны способы кодирования данных и определена теоретически достижимая пропускная способность в зависимости от вида модуляции поднесущих. Кроме спецификаций физического уровня (PHY) разработаны также спецификации MAC-уровня.

Компания ERDF (Electricite Reseau Distribution France), которая является одним из подразделений крупнейшего французского госу-

дарственного энергетического концерна Европы EdF (Electricite de France), представила свой вариант спецификаций узкополосной PLC. В спецификациях "PLC G3 Physical Layer Specification" (в дальнейшем PLC G3), которые являются составной частью общих спецификаций под названием "Automated Meter Management (AMM) technical specification", приведено описание физического уровня (PHY) для систем с OFDM-модуляцией [3]. Для передачи данных выбрана полоса частот 35.9...90.1 кГц (CENELEC A). Для помехоустойчивого кодирования отдано предпочтение коду Рида-Соломона (Reed-Solomon – RS) и сверточному коду. В спецификациях предусмотрены режимы работы со сниженной скоростью передачи, обеспечивающие лучшую помехоустойчивость. В настоящее время компания Maxim Integrated Products предлагает несколько PLC-микросхем (MAX2990/1/2) для реализации обмена данными по электросетям в соответствии с требованиями спецификаций PLC G3.

Подводя итоги, следует сказать, что спецификации PRIME и PLC G3 разработаны и продвигаются участниками промышленных альянсов для реализации обмена данными по электросети в диапазоне частот, регламентируемом региональными стандартами FCC и CENELEC. В этих спецификациях рекомендовано использование некогерентных видов модуляции (например, DPSK) в сочетании с применением прямых корректирующих кодов (Forward Error Correction – FEC) на базе сверточных кодов и кода Рида-Соломона, что, в итоге, позволяет обеспечить приемлемую надежность связи.

Однако спецификации, предлагаемые и продвигаемые различными альянсами и ассоциациями, нельзя считать стандартами в широком смысле слова. Разного рода альянсы – это всего лишь "клубы по интересам". При их создании в конечном счете преследуется коммерческая цель – монопольный захват рынка и продвижение производимого оборудования на базе предлагаемых спецификаций. Как правило, основными участниками подобных союзов являются крупные производители интегральных микросхем, а в окружении находится небольшая или довольно внушительная свита, состоящая из производителей PLC-модемов и другого оборудования. Таким образом, формируется "некоммерческая" организация,

пропагандирующая и продвигающая "независимый от производителей" стандарт.

К числу влиятельных международных организаций по стандартизации, несомненно, относятся Институт инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE) и созданный еще в XIX столетии Международный союз электросвязи (International Telecommunications Union – ITU), являющийся специализированным учреждением ООН по выработке рекомендаций в области радио и телекоммуникаций.

Чтобы разрешить противоречия между требованиями существующих спецификаций и обеспечить возможность взаимодействия изделий разных производителей, а также для обеспечения их применения и в будущем, разрабатываются унифицированные международные стандарты.

Международный союз электросвязи одобрил принятые на основе спецификаций PRIME и PLC G3 рекомендации для узкополосной PCL-связи. Это ITU-T Recommendations G.9955 и G.9956, описывающие требования соответственно к физическому (PHY) и канальному уровню (DLL). В основу рекомендаций IEEE P1901.2, предложенных Институтом инженеров по электротехнике и электронике, положены спецификации PLC G3.

Сравнительные характеристики спецификаций PRIME, PLC G3, ITU и IEEE P1901.2 приведены в таблице 1.

OFDM-МОДУЛЯЦИЯ

OFDM – метод передачи данных, при котором высокоскоростной поток данных разделяется на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей с последующим объединением данных. Каждая из поднесущих модулируется независимо, например, с использованием модуляций вида BPSK, QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying – квадратурной фазовой манипуляции) и их разновидностей, или QAM (Quadrature Amplitude Modulation – квадратурной амплитудной модуляции). Таким образом формируется одновременная передача по нескольким параллельным каналам. Одно из преимуществ OFDM заключается в том, что изменением вида модуляции каждой из поднесущих достигается возможность адаптации к параметрам канала связи. Кроме

**Таблица 1. Сравнительные характеристики спецификаций
PRIME, PLC G3, IEEE P1901.2 и ITU G.hnem**

Наименование		Значение			
Спецификация		PRIME	PLC G3	IEEE P1901.2	G.hnem
Диапазон частот, кГц	CEN A	42-89	35.9-90.6		
	FCC	–	159.4-478.1	35.9-487.5	34.4-478.1
Частота выборок, кГц	CEN A	250	400		200
	FCC	–	1200		800
Разнос поднесущих, Гц	CEN A	488	1562.5		
	FCC	–	4687.5		3125
Длительность OFDM-символа, мкс	CEN A	2240	695		700/760
	FCC	–	231.7		350/380
Число выборок на FFT-интервале	CEN A	512	256		128
	FCC	–	256		
Вид FEC-кодирования		Сверточный код (опционально)	Сверточный код + код Рида-Соломона		
Вид модуляции		DPSK (M = 2, 4, 8)		DPSK (QAM) (M = 2, 4, 8, 16)	QAM (M = 2, 4, 8, 16)
Максимальная скорость передачи данных, Кбит/с	CEN A	61.4/123	45	52.3	101.3
	FCC	–	207.6	203.2/207.3	821.1

того, некоторые из поднесущих можно отключать, если в этих частотных диапазонах имеются, к примеру, импульсные помехи. Возможности адаптации к параметрам канала и условиям передачи, заложенные в OFDM-методе, обеспечивают его высокую помехоустойчивость и надежность. К тому же, если принимать во внимание и существенное увеличение скорости передачи в сравнении с методами FSK, S-FSK и DCSK, этот вид модуляции становится весьма привлекательным для его использования в узкополосной PLC-технологии. Не секрет, что современные автоматизированные системы управления/контроля ориентированы на работу в режиме реального времени, требующем высокой скорости передачи.

Для повышения надежности передачи данных в технологии OFDM они предварительно кодируются с использованием прямых корректирующих кодов (FEC), что позволяет увеличить достоверность и во многих случаях потенциально отказаться от их повторной передачи в процессе обмена. Исправление ошибок на приемной стороне осуществляется благодаря введению дополнительной контрольной информации в передаваемый поток данных. Применение корректирующих кодов вносит избыточность в передаваемое сообщение, что, в конечном счете, снижает информационную скорость обмена.

Идея использования модуляции вида OFDM отнюдь не нова. Этот вид модуляции давно и успешно используется в разнообразных систе-

мах широкополосного беспроводного доступа. В последнее время этот вид модуляции начинает активно применяться и в PLC-технологии.

МОДЕМ IT1000

В модеме IT1000 (OFDM-Flex), как видно уже из его названия, используется OFDM-модуляция. Этот вид модуляции принят базовым в международных стандартах ITU G.hnem G.9955 и IEEE P1901.2, а также в спецификациях PRIME и PLC G3, на основе которых и были впоследствии разработаны эти стандарты.

Микросхема PLC-модема IT1000 представляет собой сочетание микроконтроллера и собственно PLC-модема, интегрированных на одном кристалле. Новый модем можно использовать как мощную платформу для создания пользователем собственных протоколов и приложений.

Модем обеспечивает возможность адаптивного выбора частот поднесущих, а кроме того, при формировании пакетов передаваемых данных используется усовершенствованный метод прямой коррекции ошибок (FEC). В стандарте CENELEC A предусмотрено формирование 36 поднесущих, в CENELEC B – 16, FCC – 143. Все это обеспечивает высокую скорость передачи при высокой достоверности декодированных данных в условиях, характерных для электросетей импульсных помех, модуляции импеданса линии, спектральных искажений и ослабления сигнала, вызванного физической длиной линии связи. Надежная передача данных га-

рантируется даже в условиях, когда уровень шума превышает уровень сигнала. Естественно, в этих условиях скорость передачи снижается.

Например, для полосы частот CENELEC A скорость передачи данных на физическом уровне (PHY) при наличии аддитивного белого шума с гауссовым распределением (Additive White Gaussian Noise – AWGN), при котором отношение сигнал/шум равно 10 дБ (т.е. шумы ниже уровня сигнала), и коэффициенте пакетных ошибок (Packet Error Rate – PER), равном 0.1, составляет 100 Кбит/с. При увеличении уровня шума до величины, при которой отношение сигнал/шум составляет 0 или -10 дБ (т.е. шумы выше уровня сигнала), скорость передачи снижается соответственно до 25 и 2.5 Кбит/с (при PER = 0.1).

При наличии в канале синусоидальных помех, превышающих уровень сигнала на 20 дБ, скорость передачи составляет 100 Кбит/с (PER = 0.1), а при превышении уровня помех на 40 дБ – 12 Кбит/с (PER = 0.1). При наличии импульсной периодической помехи (с 40% заполнением шумом) уровнем, на 10 дБ превы-

шающим уровень сигнала, скорость передачи составляет 45 Кбит/с (PER = 0.1) [6].

В тестовых проектах, реализованных на территории стран СНГ, устойчивая PLC-связь по линиям среднего напряжения обеспечивается на расстоянии до 15 км.

Модем IT1000 можно использовать для передачи данных по низковольтным промышленным электрическим сетям напряжением 220/380В, а также по сетям напряжением 6/10/33 кВ. Характеристики модема IT1000 приведены в таблице 2.

В однокристальном модеме IT1000 кроме интерфейса физического уровня реализованы также протоколы канального (DLL) и сетевого уровня (NL). Обеспечивается поддержка верхних уровней протоколов ZigBee Smart Energy v 1.0/2.0 (SE 1.0/2.0), IPv4, IPv6. Благодаря поддержке Интернет-протокола (IPv6) с расширенной системой адресации возможно создание не только локальных систем управления и контроля энергопотребления, а и новых приложений с использованием глобальной сети Интернет. Кроме того, реализована возмож-

Таблица 2. Характеристики модема IT1000

Наименование параметра	Значение	Примечание
Вид модуляции	OFDM	Совместимость со стандартами ITU G.hnem G.9955 и IEEE P1901.2
Диапазоны частот, кГц	34.375...478.125	FCC/ARIB
	35.9375...90.625	CENELEC A
	98.4375...123.4375	CENELEC B
	125...143.75	CENELEC CD
	50...800	–
Скорость передачи данных на физическом уровне (PHY), Кбит/с	9.6...800	FCC/ARIB
	2.5...100	CENELEC A
	1.4...44	CENELEC B
	1...33	CENELEC CD
	9.6...1200	Опционно (в полосе частот 50...800 кГц)
FEC-кодирование	Каскадный код Рида-Соломона + сверточный	–
Алгоритм шифрования	AES	–
Чувствительность приемника, не хуже, мВ	1	–
Динамический диапазон, дБ	95	–
Интерфейсы	UART, SPI, I ² C, JTAG, АЦП (13 бит)	Ethernet опционно
Амплитуда сигнала на нагрузке 1/50 Ом, п.п., В	1/5.2	–
Напряжение питания, В	3.3	–
Потребляемая мощность в режиме приема, не более, мВт	80	–
Тип корпуса	QFN-56	
Диапазон рабочих температур, °С	-40...85	

ность совмещения с другими беспроводными технологиями (например, ZigBee). Уникальные возможности нового модема IT1000 позволяют создавать идеальные PLC-решения, что достигаются за счет использования:

- механизма автоматического построения информационной сети
- механизма автоматического выбора маршрута для наилучшего прохождения сигнала
- механизма, позволяющего использовать любой электросчетчик в качестве ретранслятора PLC-сигнала
- механизма контроля коллизий и коррекции ошибок
- механизма автоматического выбора скорости передачи
- механизма автоматического выбора частот поднесущих.

Более полную информацию о PLC-технологии и существующих стандартах можно найти в [1-6].

Дополнительную информацию о продукции компании Yitran Communications можно получить в сети Интернет по адресу: www.yitran.com

или в фирме VD MAIS, являющейся официальным дистрибьютором Yitran в Украине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Local Utility Powerline Communications in the 3-500 kHz Band: Channel Impairments, Noise, and Standards (<http://users.ece.utexas.edu/~bevans/papers/2012/powerline/>).
2. PRIME project. PRIME Technology Whitepaper: PHY, MAC and Convergence Layers. – PRIME, 2008 (www.prime-alliance.org).
3. PLC G3 Physical Layer Specification. – ERDF (www.erdfdistribution.fr/fichiers/fckeditor/File/ERDF/2009/doc_linky/PLC%20G3%20Profile%20Specification.pdf).
4. Oksman V. G.hnem: The New ITU-T Standard on Narrowband PLC Technology.
5. Oksman V. New ITU-T Recommendations for Smart Grid in-home and access communications. April 2011.
6. www.yitran.com.
7. Охрименко В. Узкополосная технология передачи данных по электросетям, часть 3 // ЭКИС – Киев: VD MAIS, 2010, № 3.

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ЭНЕРГЕТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ - 2012**

26-28 сентября 2012 г.

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Министерство энергетики и угольной промышленности Украины
Международный выставочный центр

- ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
- ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
- ЭЛЕКТРОКАБЕЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ И АКСЕССУАРЫ
- АСУ ТП, КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ДИАГНОСТИКА
- ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
- ПРОМЫШLENНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ
- ЭНЕРГЕТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
- ЭНЕРГЕТИКА НА ТРАНСПОРТЕ, В АПК
- АЛЬТЕРНАТИВНАЯ И ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА
- УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
- НЕФТЕГАЗОВАЯ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
- НАСОСЫ, ТРУБЫ, АРМАТУРА

ПРЕЗЕНТАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПРЕДПРИЯТИЙ
ТЭК УКРАИНЫ

- СОВЕЩАНИЯ, ТЕМАТИЧЕСКИЕ "КРУГЛЫЕ СТОЛЫ",
КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ,
ПРЕЗЕНТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Официальное издание форума:



Технический партнер: **RentMedia**

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
Украина, 02660, Киев, Броварской пр-т, 15

**X МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ
"ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
УКРАИНЫ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ"**

ПАТРОНАТ:
КАБИНЕТ МИНИСТРОВ УКРАИНЫ
КОМИТЕТ ВЕРХОВНОЙ РАДЫ УКРАИНЫ
ПО ВОПРОСАМ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА, ЯДЕРНОЙ ПОЛИТИКИ И ЯДЕРНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ



Международный выставочный центр
Украина, 02660, Киев, Броварской пр-т, 15



М "Левобережная"

тел./факс: (044) 201-11-57

e-mail: nsilova@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua

www.tech-expo.com.ua