

# РОЛЬ PLC В Smart Grid ИЛИ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ



**А.М. ЛИФШИЦ (ООО “НПЦ Приоритет”)**

Рассматриваются вопросы построения сетей передачи данных для энергообъектов среднего напряжения.

В электросетях России с 20-х годов прошлого столетия применяются средства связи, использующие в качестве среды передачи сигналов силовые линии. Более известный термин “ВЧ Связь” в последние годы был дополнен зарубежным аналогом – PLC, которым, как правило, называют различные модемы для электросетей среднего и низкого напряжения. Системами ВЧ Связи занимались исключительно специализированные организации, которые вели научные исследования, разрабатывали нормативную документацию, изготавливали оборудование, выполняли проектирование и монтаж. В наше время все основные события, связанные с технологией PLC, происходят за рубежом. Несколько российских компаний производят модемы и оборудование присоединения для электросетей среднего и низкого напряжения, но отсутствие методик и типовых решений затрудняет широкое применение технологии PLC. Единственный пример системного подхода к решению задач применения PLC в России – это создание в 2002 году компании оператора Internet “Электроком”, которой руководили связисты с огромным профессиональным опытом, включая специалистов по ВЧ связи, радиофизиков и т.д. В ходе подготовки проекта операторской компании были проведены исследования и анализ характеристик отечественных электросетей среднего и низкого напряжения, предназначенных для передачи данных, разработан типовой проект, рекомендуемый оптимальные методы и места инъекции сигнала в электросеть, начато массовое производство емкостных и индуктивных устройств присоединения. Наряду с изучением физической среды передачи сигналов были проанализированы различные технологии, реализованные в PLC-модемах.

В результате был выбран прототип модема компании DS2, интегральные схемы которой в наше время являются основой большинства BBPLC модемов в мире. Все это позволило Компании “Электроком” за первый год работы построить сеть и предоставить услуги тысячам потребителей с минимальными затратами на оборудование.

Что касается технологических задач PLC, включая применение этой технологии для автоматизации распределительных сетей, то, подводя итог сотен зарубежных публикаций, можно уверенно сказать, что PLC может стать недорогим и надежным решением для интеллектуальных технологий в распределительном электросетевом комплексе. Однако продолжающиеся дебаты о роли PLC в SmartGrid затрудняют принятие решения о применении этой технологии, в то время как некоторые считают, что PLC – хорошая технология для многих приложений. Другие отдают предпочтение различным типам беспроводной связи. Эти обсуждения касаются, как правило, применения PLC для передачи данных в распределительных сетях среднего напряжения (РП, РТП, ТП) 6/10/20 кВ и, в какой-то мере, 35 кВ. Десять лет назад скептики утверждали, что технология PLC имеет неясное состояние стандартизации, предлагает слишком маленькие скорости передачи данных, модемы PLC слишком дороги и что они имеют проблемы с электромагнитной совместимостью (EMC).

Последние достижения в технологии PLC снимают большую часть этих проблем.

Среди оборудования проводной связи PLC – единственная технология, которая по срокам развертывания и стоимости сопоставима с беспроводной связью. Подтверждение этому широкое применение PLC в системах сбора показаний счетчиков в жилом секторе.

**Таблица 1. Классификация и технические характеристики различных технологий PLC**

Характеристика	Низкоскоростные Узкополосные	Высокоскоростные Узкополосные	Широкополосные
Диапазон частот	9 – 148,5 kHz	9 – 500 kHz A-Band 9-95 kHz B-Band 95-125 kHz BCD-Band 95-148,5 kHz	1,5 – 50 MHz
Скорость передачи	< 10 kbps	50 kbps < ... < 1 Mbps	> 10 Mbps
Технология	FSK frequency shift keying BPSK binary phase shift keying FFH fast frequency hopping SFSK dual ch./ spread DCSK dif. chirp shift keying	OFDM orthogonal frequency division multiplex, MCM multi carrier modulation differential coding	MCM/COFDM, Bit loading
Прямая коррекция Ошибок (FEC)	Нет или низкая	Высокая (разработана для повышенных требований)	Средняя
	Автоматические измерения	Управление оборудованием, Управление освещением Smart Grids	Последняя миля, Интернет, Голос через Интернет (VoIP), Трансляция телевидения (HDTV)
Перекрываемое расстояние: Воздушная линия Кабельная линия		До 30 км 10 – 15 км	1 – 3 км 0,3 – 1,0 км

Интерес представляют две основные технологии PLC (табл. 1).

1. Высокоскоростные узкополосные (NB) PLC, работающие в полосе 3-500 кГц, с максимальной скоростью передачи данных 1 Мбит/с. Международные рекомендации: IEEE P1901.2 и ITU-TG.hnem, G.9955.
2. Высокоскоростные широкополосные (BB) PLC, работающие в высокочастотной полосе (2-30 МГц) и достигающие скоростей передачи данных до 200 Мбит/с. Международные рекомендации: IEEE 1901 и ITU-TG.hn.

Чтобы выбрать ту или иную технологию PLC для создания сети передачи данных энергообъектов среднего напряжения, сформулируем основные технические требования.

1. Топология сети – “Точка” (РП)- “Многоточка” (ТП).
2. Длина кабельных и воздушных линий РП-ТП колеблется от сотен метров в городе, до 5-10 км в сельских районах.
3. Количество ТП, включенных в одно РП, – 10-15.
4. В отдельных случаях должна быть возможность применения технологии PLC для связи между ЦП и РП на расстоянии 5-10 км по кабельной или воздушной линии.
5. Скорость передачи данных. Если принять цикличность передачи информации телемеханики – 5 сек., то суммарная скорость при опросе десяти ТП составит 50-70 Кбит/сек.
6. Интерфейсы: Ethernet

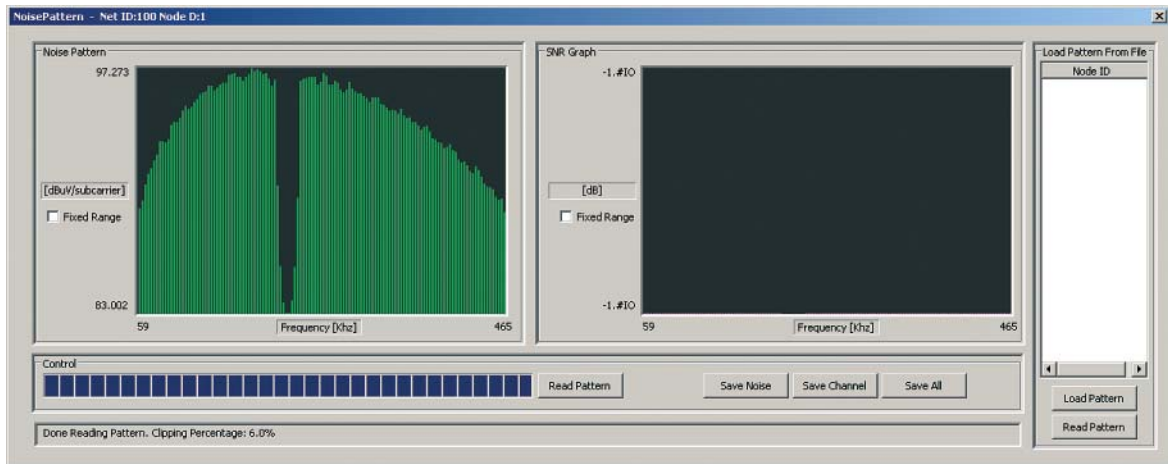
## ВЫВОДЫ

1. (NB) PLC, при сравнительно низкой скорости передачи данных, полностью соответствует поставленной задаче.
2. (BB) PLC – лишь частично (расстояние ограничено 0,5-1,0 км).
3. Обе технологии (NB) PLC и (BB) PLC совместимы с точки зрения ЭМС и могут использоваться в комбинации.

Кроме выбора технологии, необходимо решить ряд проблем с ЭМС, разработать и согласовать типовые методики подключения к высоковольтному оборудованию, разработать упрощенные методики расчета ВЧ трактов и т.д. Это даст возможность проектным организациям применять технологию PLC в проектах создания и реконструкции распределительных сетей. Наличие типовых решений должно ускорить процесс проектирования, т.е. привести это только к выбору типового решения. Надо отметить, что отечественными компаниями выполнена большая часть этой работы, конечно, с учетом зарубежного опыта и более 10-ти лет использования в России технологии PLC, а также 80-ти лет применения в энергетике ВЧ связи.

## ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО СИЛОВЫМ ЛИНИЯМ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ И ИХ РЕШЕНИЯ

1. Нестабильные параметры ВЧ Тракта.  
Отсутствует возможность получить стабильные параметры ВЧ тракта, так как подключение к силовым линиям и кабелям



▲ Рис. 1. Спектр OFDM сигнала после программного удаления части спектра

осуществляется без традиционных для ВЧ связи заградителей. Таким образом, волновое сопротивление нагрузки ВЧ тракта зависит от схемы электрических соединений подстанции, которая может меняться. При этом волновое сопротивление может колебаться от нуля (при заземлении кабеля) до бесконечного (при отключении кабеля).

2. Изменение топологии распределительной сети.

Изменения топологии происходят при аварийных отключениях кабелей, их ремонте и т.д. Это приводит к нарушению связи на отдельных участках сети.

3. Наличие смешанных – кабельных и воздушных линий электропередач.

При выходе на воздушные линии необходимо соблюдать требования по ЭМС, которые применяются для линий высокого напряжения.

Технологии, реализованные в современном оборудовании PLC и устройствах присоединения к высоковольтным линиям, позволили решить эти проблемы:

- проблема нестабильности параметров ВЧ тракта решена посредством разработки оригинальных методик подключения к силовым линиям без ВЧ заградителей, но дающих похожий эффект;
- нарушения связи при изменениях топологии распределительной сети вследствие отключения отдельных силовых линий устраняются механизмами протоколов сетевого взаимодействия PLC модемов, в которых реализованы функции проверки и автоматической настройки маршрута, в результате чего информация передается по альтернативному или резервному пути;

- третья проблема (ЭМС при передаче информации по воздушным силовым линиям) решена благодаря заложенной в PLC модем возможности программно менять используемый частотный спектр, занимая только ту часть частотного диапазона, в котором нет действующих системы ВЧ связи и других источников радиосигналов. Эта процедура может выполняться до установки оборудования по результатам проектирования использования частотного диапазона, аналогично традиционным системам ВЧ связи, или дистанционно при возникновении проблем с ЭМС.

На рис. 1 показан спектр OFDM сигнала после программного удаления части спектра. Подобная процедура может быть проделана с любой частью линейного спектра, тем самым обеспечив требования ЭМС с действующими системами ВЧ и радиосвязи.

В этом году компания “НПЦ Приоритет” завершила разработку и начала серийное производство (NB) PLC модемов под маркой – “УТМ ПР”, в которых решены проблемы ЭМС, возникающие при работе по кабельным и воздушным линиям электропередачи. Также разработаны оригинальные методики присоединения к высоковольтным элементам силовой сети, которые улучшают характеристики ВЧ тракта. Подготовлена заявка на аттестацию оборудования “УТМ ПР” в ОАО “ФСК” для применения в электрических распределительных сетях России. Это дает возможность использовать модемы на всех силовых линиях 6/10/20 кВ, в том числе присоединяемым к подстанциям высокого напряжения, а также на линиях с напряжением 35 кВ, соблюдая требования ЭМС. Встроенная в “УТМ ПР”

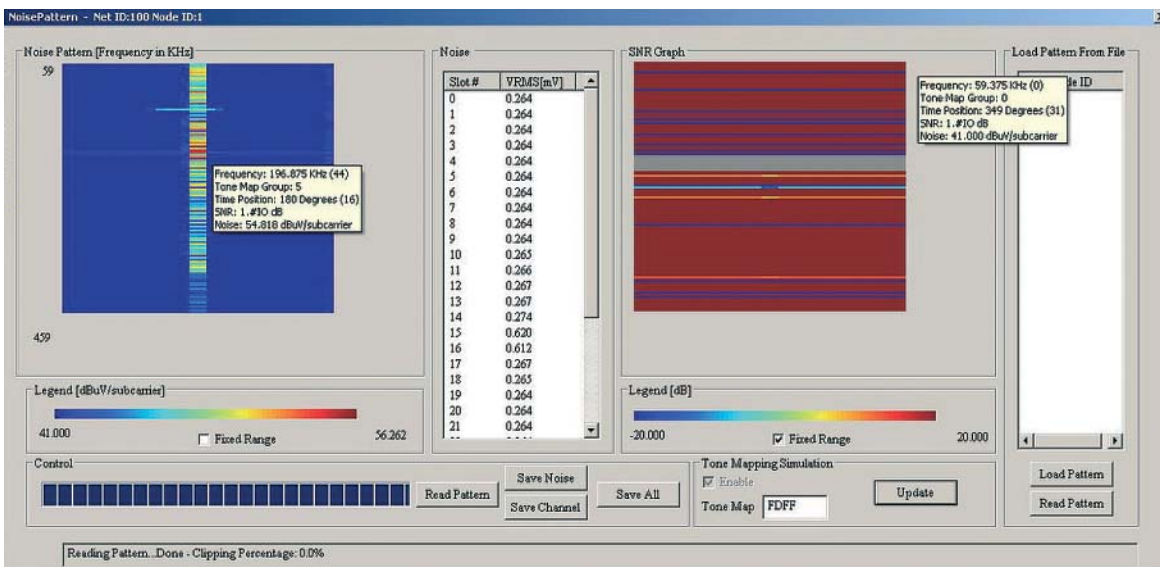


Рис. 2. Спектр сигнала при возникновении одиночного разряда

система анализа Частичных Разрядов позволит осуществлять мониторинг состояния изоляции силового кабеля в реальном времени.

### МОНИТОРИНГ СЕТИ, ОБОРУДОВАННОЙ МОДЕМАМИ “УТМ-ПР”

Мониторинг сети осуществляется через сеть передачи данных. Полученная информация отображается графическим интерфейсом, разработанным “НПЦ Приоритет”, и хранится в базе данных. При пропадании связи с магистральной сетью возможен мониторинг посредством GSM-модема, который встроен в головной модем “УТМ-ПР”. Графический интерфейс позволяет отображать электрическую сеть и сеть передачи данных любой сложности.

Разработанные методики позволили начать серийное производство оборудования и создавать для энергообъектов среднего напряжения сети передачи данных любой сложности. Создание сети передачи данных на энергообъектах среднего напряжения даст возможность внедрить инновационные технологии мониторинга и Управления Качеством Электроэнергии, а также системы постоянного контроля состояния изоляции КЛ на основе регистрации и анализа характеристик Частичных Разрядов под рабочим напряжением без отключения нагрузки. Постоянный мониторинг под рабочим напряжением позволит предотвратить развитие процессов, приводящих к пробое изоляции кабеля.

В состав разработанного в “НПЦ Приоритет” оборудования ВЧ связи (PLC)

“УТМ-ПР”, предназначенного для передачи данных по силовым кабелям, входит программно-аппаратный блок анализа частичных разрядов (ЧР). Это даёт возможность, помимо собственно передачи информации, отслеживать тенденцию развития ЧР, приводящую в перспективе к пробое изоляции в кабеле и вовремя принять меры по устранению возможных последствий.

Система мониторинга ЧР позволяет с заданной периодичностью измерять характеристики электрических импульсов, возникающих при частичных разрядах в изоляции силовых кабелей. Для измерений используются индуктивные и емкостные устройства присоединения, через которые осуществляется передача информации. “Прослушивание” ЧР осуществляется с заданной периодичностью. Измеряемые параметры (амплитуда и спектр импульсов ЧР) предоставляются в цифровом виде для дальнейшего анализа (рис. 2).

Полученная информация о параметрах ЧР передается через общий информационный поток в сервер мониторинга. Для анализа полученной информации разработана экспертная система, которая анализирует параметры ЧР по меткам времени, с учетом ряда дополнительной информации (величина напряжения, тока, температуры окружающей среды и т.д.). Экспертная система определяет тенденции развития процесса ЧР и оповещает диспетчерский персонал о необходимости внеплановых проверок состояния кабельных линий и высоковольтных ячеек на ТП или РП. Информация о состоянии сети передачи данных и параметров ЧР отобра-

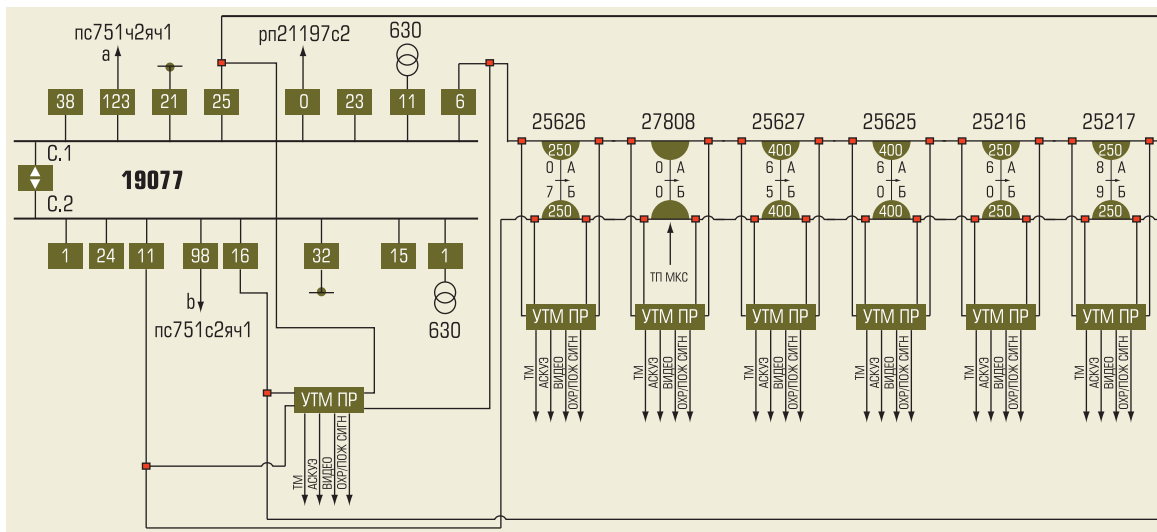


Рис. 3. Отображение фрагмента сети графическим интерфейсом

яется при помощи специального графического интерфейса (рис. 3) или может передаваться в формате интерфейса, используемого в ОИК.

В настоящее время система мониторинга ЧР проходит тестирование на действующей силовой сети.

Лифшиц Александр Михайлович – генеральный директор ООО «НПЦ Приоритет».



ООО «Научно-производственный центр  
Приоритет»

## NB-PLC Модем для передачи информации по силовым линиям среднего напряжения и мониторинга ЧР «УТМ ПР»

Вид модуляции PLC сигнала	OFDM
Количество несущих частот	143
Диапазон частот	34,375 ... 478,125 кГц
Динамический диапазон	95 дБ
Скорость передачи данных	< 500 кбит/с
Максимальная выходная мощность	15Вт / 50 Ом (регулируемая программно)
Максимальная дальность передачи по силовому кабелю	До 15 км, в зависимости от марки кабеля
Интерфейсы:	Ethernet USB PLC
Структура Ethernet соединений	Мост, звездообразная (Bridge Multipoint)
Соответствие стандартам (уровни сигналов, полосы частот)	ГОСТ Р 51317.3.8-99 (МЭК 6100-3-8-97), CENELEC, FCC 15.B ITU G.hnem G.9955 (OFDM) IEEE P1901.2, PRIME и G3 PLC
Напряжение питания	220В/50 Гц ± 10 %
Габаритные размеры (Ш×В×Г)	130×55×175 мм
Диапазон рабочих температур	- 40 ... + 85 град.

