

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАДИОСЕТЬ УПРАВЛЕНИЯ И СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

В настоящей статье представлена краткая информация о возможностях технологических радиосетей управления и сбора данных на узкополосных радиомодемах УКВ диапазона по обеспечению функционирования перспективной интеллектуальной сети электроснабжения (Smart Grid) на примере реализации такой сети в Королевстве Таиланд. Описаны некоторые особенности использования вышеуказанных технических средств, применительно к развертыванию и эксплуатации в сложных климатических условиях.

Статья предназначена для руководителей и технических специалистов, связанных с созданием и эксплуатацией автоматизированных систем оперативно-диспетчерского управления электрическими сетями различного уровня.

1. Общая информация

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года № 1715-р) в качестве приоритетных направлений развития определяет создание высоко интегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в Единой энергетической системе России (интеллектуальные сети Smart Grid). В рамках решения этой задачи предусмотрено создание мощного комплекса оперативно-диспетчерского управления в режиме реального времени. Функционирование такого комплекса должно обеспечиваться системой связи, включающей в себя высоконадежные магистральные каналы связи между различными уровнями диспетчерского управления и дублированные цифровые каналы обмена информацией между удаленными объектами (потребителями) и центрами управления.

Подобная система связи была спроектирована и развернута в Королевстве Таиланд в 2009-2014 годах по заказу государственной энергетической компании Provincial Electricity Authority (PEA, <https://www.pea.co.th/en>), контролируемой министерством внутренних дел. Рассматриваемая система обеспечивает работу на территории 510 тыс. кв. км, что составляет более 99% площади государства (за исключением г. Бангкок) и сопоставимо с площадью Камчатского края (восьмое место по площади среди субъектов Российской Федерации).





Центр управления интеллектуальной сетью электроснабжения Королевства Таиланд.

Обслуживаемая радиосетью автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ) обеспечивает распределение электроэнергии между всеми пользователями с контролем параметров работы в реальном масштабе времени. В составе системы функционируют семь центров управления Area Distribution Dispatching Centers (ADDC), позволяющих удаленно производить переключение потоков энергии и подключение/отключение отдельных сегментов сети.

2. Развертывание и эксплуатация технологической радиосети

Технологическая радиосеть, получившая наименование MARS (Multiple Address Radio System) построена на узкополосных радиомодемах третьего поколения Integra-TR, работающих в диапазоне 406-440 МГц. В общей сложности в составе радиосети функционирует более 5000 радиомодемов данного типа. Технические характеристики радиомодема Integra-TR представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики радиомодема Integra-TR УВЧ-диапазона третьего поколения.

Общие характеристики	[изображение отсутствует: 3018aa770810-209.jpg]
Диапазон частот, МГц	406-440
Шаг сетки частот, кГц	6,25; 12,5; 25
Тип излучения	9K30F1D, 15K3F1D
Потребляемый ток:	
- передача при 13,3 В, мА	2600
- приём при 13,3 В, мА	125
- в режиме сбережения, мА	15
Рабочее напряжение, В	10-16 (постоянный ток)

Рабочая температура, град. С	От -30 до +60
Габаритные размеры, см	12,1 (Ш) x 11,4 (Г) x 5,6 (В)
Масса (в упаковке), г	680
Рабочий режим	симплекс или полудуплекс
Приемник	
Стабильность частоты	1,5 ppm
Чувствительность, мВ	0,35 для соотношения сигнал/шум 12 дБ
Избирательность, дБ	75 для 25 кГц; 65 для 12,5 кГц
Передатчик	
Полоса пропускания без подстройки, МГц	34
Выходная мощность при напряжении 13,6 В Вт	настраиваемая 1-5
Время атаки передатчика, мс	<7
Рабочий цикл	50% при 5 Вт, 30 с макс. время одного сеанса передачи
Стабильность частоты, ppm	1,5
Модем	
Скорость, бит/с	2400, 4800, 9600 или 19200 (25 кГц)
Управление	RTS-CTS, DOX
Вид модуляции	DRCMSK

В качестве основной архитектуры радиосети выбрана схема соединения «точка — много точек» с использованием базовых станций, обеспечивающих удовлетворительные условия приёма для подключаемых к ним удаленных объектов. Основным и единственным интерфейсом на участках «центр управления — удаленный объект» является последовательный интерфейс RS-232. Типовая скорость обмена данными составляет 9,6 кбит/с.

В составе радиосети развернута подсистема мониторинга технического состояния, позволяющая в реальном масштабе времени контролировать состояние работающего в ее составе оборудования.

По требованию Министерства внутренних дел большое значение при создании радиосети MARS уделялось обеспечению надёжности ее работы и живучести в чрезвычайных ситуациях. В процессе эксплуатации сеть подтвердила заложенные в нее характеристики, обеспечив оперативное восстановление работоспособности после террористических актов в трех приграничных с Камбоджей провинциях, наводнения в 2011 году, антиправительственных выступлений в 2014 году, землетрясения в Провинция Чианг Рай в 2014, а также мощного тропического шторма в 2016 году.

Созданная радиосеть подвергается непрерывному агрессивному воздействию окружающей среды — влажного тропического климата на севере страны, субэкваториального в центральной и южной частях и экваториального на границе с Малайзией. Кроме экстремальных метеорологических условий, на начальном этапе эксплуатации значительное количество выходов оборудования из строя произошло в

результате «биологического» воздействия — защищенные от дождя корпуса радиомодемов оказались удобным убежищем для муравьев. Данная проблема выявлена при эксплуатации аналогичной радиосети ещё в нескольких странах, например, в Бразилии.

[изображение отсутствует: fe1965ccb7cb-480.jpg]

[изображение отсутствует: 0fdfe247d340-640.jpg]

[изображение отсутствует: 84017c636822-640.jpg]

Радиомодемы, выведенные из строя в результате «биологического» воздействия

Серьезные сложности на этапе развертывания и первоначальной эксплуатации радиосети возникли в связи с отсутствием возможности удаленной настройки и обновления встроенного программного обеспечения в радиомодемах третьего поколения. Эта функция успешно реализована в радиомодемах четвертого поколения, использующих для подключения не только последовательный интерфейс RS-232, но и сетевой Ethernet. Технические характеристики радиомодема четвертого поколения представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики радиомодема Viper-SC+ УВЧ-диапазона четвертого поколения.

Общие характеристики	[изображение отсутствует: 0ba95106695d-437.jpg]
Диапазон частот, МГц	406-470
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	50; 25; 12,5; 6,25
Тип излучения	3K30F1D; 11K2F1D; 16K5F1D; 17K8F1D; 33K0F1D; 52K7F1D
Потребляемый ток:	
- приём, мА	450 (10 В); 240 (20 В); 170 (30 В)
- передача 40 дБм (10 Вт), А	4,6 (10 В); 2,04 (20 В); 1,37 (30 В)
- передача 30 дБм (1 Вт), А	1,2-3,6 (10 В); 0,6-1,8 (20 В); 0,4-1,2 (30 В)
Номинальная задержка при холодном старте, с	35
Рабочее напряжение, В	10-30 (постоянный ток)
Рабочая температура, град. С	от-40 до +70
Температура хранения, град. С	от-45 до +85, без образования конденсата
Влажность, %	5-95, без образования конденсата
Габаритные размеры, см	13,97 (Ш) x 10,80 (Г) x 5,40 (В)
Масса (в упаковке), кг	1,1
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс
Передатчик	
Полоса пропускания без подстройки, МГц	64 (406,1-470 МГц); 62 (450-512 МГц)

Общие характеристики	[изображение отсутствует: 0ba95106695d-437.jpg]
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1-10
Время атаки, мс	<1
Время переключения между каналами, мс	<15
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	100
Стабильность частоты, ppm	1
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), 10Base-T RJ-45
Антенна	TNC (мама) - приём/передача; SMA (мама) - приём (для двухпортовых устройств)
Приемник	
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}):	
- 50 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-111 (32); -104 (64); -97 (96); -88 (128)
- 25 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-114 (16); -106 (32); -100 (48); -92 (64)
- 12,5 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-116 (8); -109 (16); -102 (24); -95 (32)
- 6,25 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-115 (4); -106 (8); -100 (12)
Подавление помех по соседнем каналу, дБ	45 (6,25 кГц); 60 (12,5 кГц); 70 (25 кГц); 75 (50 кГц); 70 (100 кГц)
Интермодуляция, дБ	>75
Избирательность, дБ	>70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц)
Время переключения с приёма на передачу, мс	<2
Время переключения между каналами, мс	<15
Модем	
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK
Адресация	IP

Сравнительный анализ представленных в Таблицах 1 и 2 данных показывает, что при практически одинаковых характеристиках приемопередатчика, радиомодем Viper-SC+ имеет более высокую пропускную способность за счет большей скорости обмена данными (64 кбит/с против 19,2 кбит/с у Integra-TR) и меньшего времени атаки передатчика (1 мс против 7, соответственно). Однако, пропускная способность не является критическим параметром в рассматриваемом приложении. Наиболее важной оказывается возможность создания «прозрачной» для любого прикладного программного обеспечения радиосети, в полной мере использующей преимущества открытого IP-протокола. В этом случае, функция удаленного обновления встраиваемого программного обеспечения позволяет существенно повысить не только надёжность работы радиосети, но и существенно сократить финансовые затраты связанные с ее эксплуатацией.

ВЫВОДЫ:

1. Современная технологическая радиосеть управления и сбора данных на узкополосных радиомодемах УКВ диапазона в состоянии обеспечить надёжное функционирование перспективной интеллектуальной сети энергоснабжения (Smart Grid). Оперативная зона такой радиосети может составлять не менее 500 тыс. кв. км, а в ее состав может входить не менее 5000 радиомодемов.
2. Надёжность функционирования и живучесть технологической радиосети управления и сбора данных должна обеспечиваться специальными средствами мониторинга технического состояния, позволяющими в режиме реального времени контролировать ее работу и локализовать сбои.
3. Представляется целесообразным применение для обеспечения работы перспективной интеллектуальной сети энергоснабжения современных радиомодемов четвертого поколения, использующих для работы IP-протокол и позволяющих удаленно обновлять встраиваемое программное обеспечение.

Сноски