



ЕВРОМОБАЙЛ
ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

Создаём и поставляем
умные решения будущего
уже сегодня!

Санкт-Петербург, пр. Энгельса, дом 71,
Телефон горячей линии: 8 800 550 75-06
info@euroml.ru
www.euromobile.ru



Все решения беспроводной связи здесь

Flexlab

МАСТЕР-ДИСТРИБЬЮТОР АМЕРИКАНСКОЙ КОРПОРАЦИИ CALAMP
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, СТРАН СНГ
И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПЫ

- ▶ Поставка радиомодемов
- ▶ Разработка сетей радиосвязи
- ▶ Контрактная разработка
и производство электроники
- ▶ Технологическая поддержка стартапов



ООО «НЦПР» 115583, г. Москва,
ул. Генерала Белова, дом 26, офис 519
www.flexlab.ru
info@flexlab.ru
+7 499 1132698

Узкополосная технологическая радиосеть обмена данными УКВ-диапазона и законы Мерфи



В шутку о серьезном, очень серьезном и жизненно важном в стиле мильной оперы. Улыбайтесь, ибо завтра будет хуже. Но все же использование радиотехнической платформы Viper-SC+ позволит облегчить создание и эксплуатацию технологических беспроводных сетей обмена данными даже в труднодоступных районах и при худом кошельке. (По результатам создания и практической эксплуатации технологических радиосетей специалистами ООО «НЦПР».)

ООО «Независимый исследовательский центр перспективных разработок» (НЦПР), г. Москва

Увертюра

Времена интернета вещей и соевой связи очередного поколения не отменяют действия основополагающих законов радиотехники и теории информации, а лишь в очередной раз подтверждают их. Так ли это? Хорошо известный закон Мура¹, которому в апреле 2020 года исполнилось 55 лет, отражает быстрый рост производительности современных вычислительных средств и связанное с ним ускорение обработки и рост потоков данных в информационных системах. В то же время пропускная способность обеспечивающих функционирование этих информационных систем каналов связи растет значительно медленнее. Ее рост сдерживается не только технологическими, но и природно-географическими факторами — средства связи и обмена данными должны функционировать на обширных, в том числе труднодоступных, территориях, часто с отсутствующей обеспечивающей инфраструктурой.

В связи с этим возможности практического внедрения технологических достижений в области повышения скорости обмена данными при передаче их на большие расстояния оказываются весьма ограниченными. Использование имеющих необходимую пропускную способность проводных каналов для решения этой задачи во многих случаях оказывается не только экономически нецелесообразным, но и технически невозможным. Увеличение же пропускной способности беспроводных каналов, согласно теореме Шеннона — Хартли², требует повышения мощности радиосигнала, а использование более высоких диапазонов частот и более широкой полосы пропускания приводит к уменьшению дальности работы беспроводного канала связи.

Возможности по организации обмена данными на большие расстояния формализованы в Российской Федерации разрешительными документами, регулирующими использование радиочастотного ресурса и устанавливающими строгие рамки для беспроводной связи и передачи данных. Масла в огонь противоречий между скоростью и дальностью обмена данными добавляют положения общеизвестных законов Мерфи³.

В результате задача организации надежной радиосети обмена данными на большой территории зачастую превращается в серьезную головную боль, а ее эксплуатация ассоциируется у многих с непосильными затратами.

Интродукция


Однако как поется в легендарной песне Владимира Высоцкого «Честь шахматной короны»: «Все не так уж сумрачно вблизи». Свет в конце тоннеля

¹ Закон Мура — эмпирическое наблюдение, изначально сделанное Гордоном Муром, согласно которому (в современной формулировке) количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца (из «Википедии»).

² Теорема Шеннона — Хартли устанавливает шенноновскую емкость канала, верхнюю границу максимального количества безошибочных цифровых данных (то есть информации), которое может быть передано по такому каналу с указанной полосой пропускания в присутствии шумового вмешательства, согласно предположению, что мощность сигнала ограничена, и гауссовский шум характеризуется известной мощностью или спектральной плотностью мощности. Закон назван в честь Клода Шеннона и Ральфа Хартли (с ресурса «Академик»).

³ Закон Мерфи — шуточный философский принцип, который формулируется следующим образом: «Если есть вероятность того, что какая-нибудь неприятность может случиться, то она обязательно произойдет» (англ. Anything that can go wrong will go wrong). Популярный иностранный аналог русского «закона подлости», «закона падающего бутерброда» и «генеральского эффекта» (из «Википедии»).

Таблица 1. Технические характеристики радиомодема Viper-SC+

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
				
Диапазон частот, МГц	136–174	215–240	406–470, 450–512	880–902 928–960
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	50; 25; 12,5; 6,25	100; 50; 25; 12,5; 6,25	50; 25; 12,5; 6,25	100; 50; 25; 12,5
Тип излучения	3K30F1D; 11K2F1D; 16K5F1D; 17K8F1D; 33K0F1D; 52K7F1D			
Потребляемый ток:				
• прием, 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)			
Температура по спецификации, °С	От -30 до +60			
Рабочая температура, °С	От -40 до +70			
Температура хранения, °С	От -45 до +85, без образования конденсата			
Влажность, %	5–95, без образования конденсата			
Габаритные размеры, см	13,97 (Ш) × 10,80 (Г) × 5,40 (В)			
Масса (в упаковке), кг	1,1			
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс			
<i>Передатчик</i>				
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	38	64 (406,1–470); 62 (450–512)	32
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1–10			1–8
Время переключения с передачи на прием, мс	<1			
Время переключения между каналами, мс	<15			
Импеданс, Ом	50			
Цикл работы на передачу, %	100			
Стабильность частоты, ppm	1,0	0,5	1,0	0,5
Интерфейсы	2 × RS-232 (DE-9F), 10Base-T RJ-45			
Антенна	TNC (мама) – прием/передача; SMA (мама) – прием (для двухпортовых устройств)			
<i>Приемник</i>				
Чувствительность (вероятность ошибки 1х10 ⁻⁶):				
• 100 кГц, дБм	–	-103 (64 кбит/с); -96 (192 кбит/с); -89 (256 кбит/с)	–	-100 (64 кбит/с); -93 (192 кбит/с); -86 (256 кбит/с)
• 50 кГц, дБм	-111 (32 кбит/с); -104 (64 кбит/с); -97 (96 кбит/с); -88 (128 кбит/с)			-108 (32 кбит/с); -101 (64 кбит/с); -94 (96 кбит/с); -85 (128 кбит/с)
• 25 кГц, дБм	-114 (16 кбит/с); -106 (32 кбит/с); -100 (48 кбит/с); -92 (64 кбит/с)			-111 (16 кбит/с); -104 (32 кбит/с); -97 (48 кбит/с); -89 (64 кбит/с)
• 12,5 кГц, дБм	-116 (8 кбит/с); -109 (16 кбит/с); -102 (24 кбит/с); -95 (32 кбит/с)			-112 (8 кбит/с); -106 (16 кбит/с); -99 (24 кбит/с); -90 (32 кбит/с)
• 6,25 кГц, дБм	-115 (4 кбит/с); -106 (8 кбит/с); -100 (12 кбит/с)			
Подавление помех по соседнем каналу, дБ	45 (6,25 кГц); 60 (12,5 кГц); 70 (25 кГц); 75 (50 кГц); 70 (100 кГц)			60 (12,5 кГц); 70 (25 кГц); 75 (50 кГц); 70 (100 кГц)

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
Интермодуляция, дБ	>75			
Избирательность, дБ	>70 (25 кГц); >60 (12,5 кГц); >55 (6,25 кГц)			
Время переключения с приема на передачу, мс	<2			
Время переключения между каналами, мс	<15			
<i>Модем</i>				
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256			
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача			
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK			
Адресация	IP			

нея в вопросе оптимизации беспроводных радиосетей обмена данными в части дальности, скорости, надежности и живучести ярко вспыхнул с появлением радиотехнической платформы Viper-SC+, предназначенной для работы по узкополосным каналам в диапазоне ультракоротких волн (УКВ).

Вышеуказанная платформа включает в себя радиомодемы с одним или двумя антенными входами, а также базовые станции, в том числе повышенной надежности и живучести, с резервированием всех компонентов. Технические характеристики оборудования представлены в табл. 1 и 2.

Появление платформы, ее развитие и результаты практической эксплуатации впервые поставили под сомнение действие отдельных следствий из закона Мерфи в отношении технологических радиосетей обмена данными. Эти следствия, как известно, гласят...

Действие первое: «Все не так легко, как кажется»

Одной из непростых задач, связанных с развертыванием и настройкой технологической радиосети обмена данными, является организация сопряжения радиомодема с внешним устройством. Раньше оно выполнялось по последовательному порту RS-232, но с появлением современных контроллеров, имеющих интерфейс Ethernet, задача усложнилась в связи с необходимостью применения преобразователей. Наиболее широко с узкополосными радиомодемами использовались преобразователи производства компаний Муха (от 1 до 16 портов) и Lantronix (от 1 до 48 портов).

Простоту решению вернуло лишь появление встроенного в радиомодем

Viper-SC+ сетевого интерфейса RJ45 Ethernet и функции автоматического преобразования RS-232 – Ethernet и обратно.

Теперь узкополосный радиомодем поддерживает обмен данными по IP-протоколу в радиоканале и обеспечивает автоматическое преобразование данных при подключении к нему внешнего устройства по последовательному протоколу. Точнее сразу двух внешних устройств, поскольку настроенный последовательный порт радиомодема (Viper-SC+ имеет два порта RS-232 – настроечный и информационный) также может быть сконфигурирован для обмена данными. Процедура настройки стала значительно проще, такой же простой, как кажется на первый взгляд.

Действие второе: «Всякая работа требует больше времени, чем вы думаете»

Значительное время при развертывании технологической радиосети занимает настройка отдельных радиомодемов и проверка правильности настройки. Время, необходимое для выполнения этих операций, действительно иногда очень сложно спрогнозировать. Viper-SC+, как и некоторые другие современные устройства, относится к программно-определяемым системам, созданным с использованием технологии SDR (Software Defined Radio)⁴.

Встроенное программное обеспечение позволяет устанавливать заданные номиналы рабочих частот (па-


мять модема рассчитана на единовременное хранение 32 номиналов), шага сетки радиочастот, выходной мощности и скорости обмена данными. Все эти параметры после настройки в одном радиомодеме могут быть перенесены в другой (функция клонирования настроечных данных). В результате настройка большого количества радиомодемов занимает на практике существенно меньше времени, чем вы думаете.

Действие третье: «Из всех возможных неприятностей произойдет именно та, ущерб от которой больше»

Наибольший ущерб при эксплуатации технологической радиосети причиняет выход из строя базовой станции (БС). Типовая БС в реальных радиосетях поддерживает работу 12–15 удаленных объектов (технически возможно существенно больше), поэтому в результате прекращения ее работы теряется контроль над значительными ресурсами. Несмотря на высокую надежность современного оборудования (среднее время наработки на отказ радиомодемов Viper-SC+ по результатам первого года эксплуатации составило около 418 000 ч), поломки и сбои в работе неизбежны. Базовая станция повышенной надежности и живучести в случае сбоя в работе или выхода из строя одного комплекта оборудования автоматически переключает работу на резервный, исключая перерыв в работе. Использование такой БС позволяет на практике

⁴ Программно-определяемая радиосистема (SDR) – радиопередатчик и (или) радиоприемник, использующий технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность, за исключением изменения рабочих параметров, используемых в ходе обычной, заранее определенной работы с предварительными установками радиоприемника, согласно той или иной спецификации или системы (из «Википедии»).

Таблица 2. Технические характеристики радиомодема Viper-SC+ base station

Общие характеристики	Viper-SC+ 100/200/400/900 base station			
	ОВЧ	200 МГц	УВЧ	900 МГц
				
Диапазон частот, МГц	136–174	215–240	406–470, 450–512	928–960
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	50; 25; 12,5 или 6,25			50, 25 или 12,5
Тип излучения	6K00F1D, 9K30F1D, 15K3F1D			
Номинальная задержка при холодном старте, с	60			
Рабочее напряжение, В	10–30 (постоянный ток)			
Рабочая температура, °С	От -30 до +60			
Температура хранения, °С	От -45 до +85			
Влажность, %	5–95 без образования конденсата			
Габаритные размеры, см	41 (Ш) × 12 (Г) × 29 (В)			
Масса (в упаковке), кг	5,2			
Рабочий режим	Симплекс/полудуплекс			
<i>Передатчик</i>				
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	38	64 (406,1–470); 62 (450-512)	32
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1–10			1–8
Время переключения с передачи на прием, мс	<1			
Время переключения между каналами, мс	<15			
Импеданс, Ом	50			
Цикл работы на передачу, %	100			
Стабильность частоты, ppm	1,0	0,5	1,0	0,5
Интерфейсы	2 × RS-232 (DE-9F), 2 × 10Base-T RJ-45			
Антенна	N-типа (мама)			
<i>Приемник</i>				
Чувствительность (вероятность ошибки 1х10 ⁻⁶):				
• 100 кГц, дБм	–	-103 (64 кбит/с); -96 (192 кбит/с); -89 (256 кбит/с)	–	-100 (64 кбит/с); -93 (192 кбит/с); -86 (256 кбит/с)
• 50 кГц, дБм	-111 (32 кбит/с); -104 (64 кбит/с); -97 (96 кбит/с); -88 (128 кбит/с)			-108 (32 кбит/с); -101 (64 кбит/с); -94 (96 кбит/с); -85 (128 кбит/с)
• 25 кГц, дБм	-114 (16 кбит/с); -106 (32 кбит/с); -100 (48 кбит/с); -92 (64 кбит/с)			-111 (16 кбит/с); -104 (32 кбит/с); -97 (48 кбит/с); -89 (64 кбит/с)
• 12,5 кГц, дБм	-116 (8 кбит/с); -109 (16 кбит/с); -102 (24 кбит/с); -95 (32 кбит/с)			-112 (8 кбит/с); -106 (16 кбит/с); -99 (24 кбит/с); -90 (32 кбит/с)
• 6,25 кГц, дБм	-115 (4 кбит/с); -106 (8 кбит/с); -100 (12 кбит/с)			
Подавление помех по соседнем каналу, дБ	45 (6,25 кГц); 60 (12,5 кГц); 70 (25 кГц); 75 (50 кГц); 70 (100 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 приема на передачу, мс	<2			
Время переключения между каналами, мс	<15			
<i>Модем</i>				
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64; 96; 128; 256			
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача			
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK			
Адресация	IP			

создать технологическую радиосеть, очень хорошо защищенную от наиболее опасных неприятностей — тех, ущерб от которых больше.

Действие четвертое: «Если четыре причины возможных неприятностей заранее устранены, то всегда найдется пятая»

Данное положение нам, признаюсь честно, опровергнуть пока не удалось, но и подтвердить тоже.

В настоящее время серийно выпускается третья модификация упомянутого радиомодема с версией встраиваемого программного обеспечения 3.14, в которой устранены все выявленные в процессе эксплуатации недостатки. Возможно, другие недостатки проявятся позже, а пока значение параметра средней наработки на отказ достигло своего максимума (по состоянию на конец 2019 года оно составляло около 950 тыс. часов) и больше не изменяется как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Действие пятое: «Предоставленные сами себе события имеют тенденцию развиваться от плохого к худшему»

Техническое состояние технологической радиосети на радиотехнической платформе Viper-SC+ может оперативно контролироваться средствами разработанного нами программно-технического комплекса (ПТК) «Балтика», предназначенного для мониторинга рабочих параметров аппаратуры, включая идентификационный номер устройства, температуру внутри корпуса, напряжение питания, уровень сигнала, принимаемого БС радиосети от удаленного устройства, излучаемую мощность передатчика, мощность обратной волны.

ПТК позволяет следить за целостностью и качеством каналов технологической радиосети обмена данными, контролировать рабочие параметры радиотехнической аппаратуры, извещать оператора о нештатной работе каналов обмена данными, выявлять сбои в функционировании основной электросети и факт перехода на питание от электросети резервной (аккумуляторов).

Программное обеспечение ПТК производит сбор, анализ, отображение и архивирование информации, обеспечивая:

- ▶ конфигурирование (описание структуры) ПТК мониторинга технологической радиосети обмена данными, установку пороговых значений для измеряемых параметров оперативной диагностики;

- ▶ слежение за поступлением данных оперативной диагностики от радиомодемов на основании их идентификаторов и выдачу сигнала «авария» при пропадании этих данных;

- ▶ анализ значений данных оперативной диагностики от радиомодемов относительно пороговых значений и формирование сигнала «авария» при их выходе за установленные пределы;

- ▶ анализ данных оперативной диагностики для косвенного определения исправности абонентских радиомодемов, работающих через удаленные ретрансляторы технологической радиосети, не подключенные непосредственно к комплексу мониторинга;

- ▶ ведение журнала аварий, формирование и представление отчетов по видам аварий и времени их возникновения;

- ▶ анализ изменений данных оперативной диагностики для предсказания возможных аварийных ситуаций и сбоев.

Таким образом, технологическая радиосеть обмена данными на радиотехнической платформе Viper-SC+ может быть поставлена под жесткий контроль, исключающий самопроизвольное развитие ситуации по принципу «от плохого к худшему».

Действие шестое: «Как только вы принимаетесь делать какую-то работу, находится другая, которую надо сделать еще раньше»

Наш практический опыт неопровержимо доказывает, что задача организации сопровождения развернутой радиосети во многих случаях оказывается на порядок сложнее, чем ее первоначальное развертывание. Она представляет собой ежедневный трудоемкий процесс, направленный на поддержание радиосети в работоспособном состоянии. Радиомодемы семейства Viper-SC+ — это устройства, функционирующие в необслуживаемом режиме и не требующие периодической юстировки. При наличии комплекта запасных частей, инструментов

и принадлежностей (ЗИП) восстановление работоспособности радиосети обеспечивается заменой блока радиомодема, которая сводится к подключению трех кабелей: антенного, информационного и питания. Такие скромные требования позволяют без труда переключаться на выполнение другой работы, которую надо сделать еще раньше.

Действие седьмое: «Всякое решение плодит новые проблемы»

Проектирование технологической радиосети обмена данными на базе рассматриваемой платформы в настоящее время приобрело характер типовой задачи и не причиняет серьезных затруднений подготовленному персоналу. Ее внедрение связано с решением ряда организационно-технических задач, включая получение радиочастотного присвоения, процедура которого в последнее время на радость пользователей таких сетей максимально упрощена. И после выполнения этих задач полностью теряется основа для возникновения новых проблем, поскольку радиомодем Viper-SC+ разработан по принципу «настроил — забыл».

Эпилог

Можно ли утверждать, что сам факт появления радиотехнической платформы Viper-SC+ отменил перечисленные выше положения закона Мерфи? Делать это прямо сейчас, наверное, будет преждевременно. Но у любого технического специалиста в области технологической связи, АСУ технологическими процессами (АСДУ, АСКРО, АСТУЭ, АИСКУЭ, АИИС КУЭ и далее по списку), систем управления телемеханикой или сбора телеметрической информации теперь есть возможность самостоятельно проверить это и сделать собственный вывод.

С.А. Маргарян,
заместитель генерального директора,
главный конструктор,

ООО «Независимый исследовательский
центр перспективных разработок» (НЦПР),

г. Москва,
тел.: +7 (499) 113-2698,
e-mail: sm@flexlab.ru,
сайт: www.flexlab.ru