

ных процессов в оптическом волокне, присущие импульсным методам измерения для таких дальностей, где необходимые мощности зондирующих сигналов составляют 6,35 Вт.

5. Полный комплекс выполненных исследований позволяет реализовать достоинства непрерывных методов зондирования в рефлектометрических измерениях с линейной частотной модуляцией интенсивности излучения. Это обеспечивает существенное повышение метрологических характеристик разрабатываемой аппаратуры в сочетании с наиболее полным использованием энергетических ресурсов лазерных излучателей в системах контроля параметров волоконно-оптических систем передачи.

Литература

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2006. – 496 с.
2. Агишев Р.Р., Айбатов Л.Р., Иванов А.Н., Ильин Г.И., Польский Ю.Е. Лидар с линейной частотной модуляцией. Основные требования и характеристики // IX ВС по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Тез. докл. Ч.2. Томск, 1987. – С.239-242.
3. Веницкий А.С. Очерк основ радиолокации при непрерывном излучении радиоволн. М.: Сов. радио, 1961. – 496 с.
4. Dieckmann A., Amann M.-C. FMCW-lidar with tunable-guide laser diode // Proc. SPIE. Vol. 2249, 1994. – P.22-30.
5. Шереметьев А.Г., Толпарев Р.Г. Лазерная связь. М.: Связь, 1974. – 384 с.
6. Harris M., Pearson G.N., Vaughan J.M., Letalic D., Karlsson C. The role of laser coherence length in continuous-wave coherent laser radar // Journal of Modern Optics. Vol.45, No8, 1998. – P.1567-1581.
7. Петрухин Г.Д. Фотоэлектронные умножители в режиме радиогетеродина. М.: Радио и связь, 1983. – 88 с.
8. Дианова В.А., Мустель Е.Р., Фишук А.П. Преобразование частоты при использовании двойной модуляции света // Радиотехника и электроника. Т.11, № 11, 1966. – С.2082-2085.
9. Андрианов Г.О., Дьяконов А.М. Двойное (оптическое и радиочастотное) гетеродинарование в средней части ИК-диапазона на фотосопротивлении $Hg_{1-x}Cd_xTe$ // Письма в ЖТФ. Т.8. Вып.19, 1982. – С.1197-1200.
10. Айбатов Л.Р. Методологическое применение содержания логической категории «понятие» в гуманитарных и технических науках // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. №4, 2005. – С.94-99.
11. Верещагин И.К., Косяченко Л.А., Кокин С.М. Введение в оптоэлектронику. М.: Высшая школа. 1991. – 191 с.
12. Айбатов Л.Р. Применение прямоугольных импульсных зондирующих сигналов в непрерывных ЛЧМ-лидарах // Оптика атмосферы и океана. Т. 15, №7, 2002. – С.631-634.
13. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Сов. радио, 1971. – 672 с.
14. Лазерный контроль атмосферы. Под ред. Э.Д.Хинкли. М.: Мир, 1979. – 416 с.
15. Agishev R.R., Aybatov L.R., Pol'sky Yu.E. LFM-CW-lidar for remote detection of saturated hydrocarbons // Proc. SPIE. Vol. 2249, 1994. – P.31-37.
16. Малашин М.С., Каминский Р.П., Борисов Ю.Б. Основы проектирования лазерных локационных систем: М.: Высшая школа, 1983. – 207 с.
17. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1978. – 832 с.
18. Агишев Р.Р., Айбатов Л.Р., Власов В.А., Сагдиев Р.К. Дистанционное бесконтактное обнаружение утечек аммиака в цеховых условиях // Оптика атмосферы и океана. Т.12, №1, 1999. – С.70-74.

УДК 621.396.97

СПЕКТРАЛЬНОЕ УПЛОТНЕНИЕ DWDM

Ильичев В.П., Марыкова Л.А., Корнилов И.И.

Мультимедийные технологии позволяют доставлять до абонента широкий спектр услуг, в который входят голосовая связь, передача данных, трансляция видеоизображения и интеллектуальные услуги. При этом решается вопрос увеличения пропускной способности направляющей среды, в качестве которой используется кабель с оптическими волокнами (ОВ). Один из наиболее перспективных методов увеличения коэффициента использования пропускной

способности оптического волокна (ОВ) – является спектральное уплотнение или мультиплексирование по длинам волн (Wavelength Division Multiplexing, WDM). В статье рассмотрены причины возникновения нелинейных переходов между каналами, возникающими в ОВ, принципы разработки частотных планов оборудования WDM. Рассмотрена характеристика и возможность применения на сетях связи оборудование DWDM U-Node фирмы NEC.

Один из наиболее перспективных методов увеличения коэффициента использования пропускной способности ОВ – является спектральное уплотнение или мультиплексирование по длинам волн (Wavelength Division Multiplexing, WDM). Этот метод может быть использован на мультисервисной ведомственной сети для значительного увеличения ее пропускной способности. В настоящее время WDM играет в оптических синхронных системах ту же роль, что и мультиплексирование с частотным разделением (Frequency Division Multiplexing, FDM) в аналоговых системах передачи данных.

Спектры оптических сигналов объединяются с помощью оптического мультиплексора (ОМ), на его выходе формируется групповой сигнал, спектр которого содержит суммарный спектр канальных сигналов

$$\Delta f_{\text{ГС}} = \Delta f_{\text{КС}} + (n - 1) \Delta f_{\text{НЧР}},$$

где $\Delta f_{\text{ГС}}$ – спектр группового сигнала; $\Delta f_{\text{КС}}$ – спектр канального сигнала; $\Delta f_{\text{НЧР}}$ – номинальное частотное разнесение (НЧР) каналов.

Групповой сигнал усиливается оконечным оптическим усилителем (Optical Amplifier, ОА) (бустером), с помощью которого в интерфейсе MPI-S устанавливается необходимая общая средняя мощность линейного сигнала $P_{\text{ЛС}}$.

Главный оптический тракт (Optical Patch, ОР) содержит линейные оптические усилители (LOA), компенсирующие затухание, вносимое участками оптических волокон длиной l_1, l_i, l_k . Вместо любого из усилителей может быть включен мультиплексор ввода/вывода каналов OADM с такими же интерфейсами R' и S', как и у оптического усилителя.

Приемник (RX) содержит предварительный оптический усилитель (ОА), усиливающий линейный сигнал, оптический демультиплексор (ОД), разделяющий групповой сигнал на канальные сигналы, приемные транспондеры RX_i , в состав которых, в частности, входят конверторы, преобразующие длины волн $\lambda_1 \dots \lambda_n$, в длину волны λ_0 , соответствующую STM-N или ATM.

Оптический служебный канал (OSC) организуется на длине волны, лежащей либо вне диапазона спектра WDM, либо внутри его. OSC вводится и выводится как в оптических передатчике и приемнике, так и в линейных усилителях и мультиплексорах ввода/вывода (OADM) оптического тракта.

Современные ВОСП-WDM рассчитаны для работы в третьем и четвертом окнах прозрачности спектра ОВ (см. рис. 1). Весь спектр разбит на

два диапазона С и L (C-Band, L-Band). С-диапазон разбит на два поддиапазона S(R) и L(R). Границами этого диапазона являются длины волн 1528,77 нм и 1569,59 нм (соответственно частоты 191,0 ТГц и 196,2 ТГц). L-диапазон характеризуется граничными длинами волн 1569,59 нм и 1612,55 нм (соответственно 191,0 ТГц и 185,9 ТГц). Таким образом, ширина спектра С-диапазона – 40,8 нм (5,2 ТГц), L-диапазона – 43,1 нм (5,1 ТГц).

В зависимости от расположения каналов в этих спектрах ЦВОСП-WDM подразделяются на

- простые WDM – системы (номинальное частотное разнесение каналов, НЧР, не менее 200 ГГц, число каналов не более 8);

- плотные WDM – системы DWDM (частотное разнесение каналов не менее 100 ГГц, число каналов не более 40);

- сверхплотные WDM – системы HDWDM (частотное разнесение каналов порядка 50 и 25 ГГц, число каналов порядка 80 и 160).

Во всех случаях частотное разнесение каналов определяется следующими факторами: линейными переходами между каналами, возникающими в мультиплексорах, демультиплексорах и между оптическими фильтрами, расположенными в блоке ОА/ОД; нелинейными переходами между каналами, возникающими в ОВ.

Наиболее опасными являются переходы из-за четырехволнового смешивания (FWM). Так как для ОВ различных типов мощности помех от этих переходов разные, то частотные планы разрабатываются отдельно для каждого типа волокон.

В рекомендации МСЭ-Т G.692 разработаны частотные планы только для третьего окна прозрачности и для волокон G.652, G.655, G.653.

Один из частотных планов, предложенных для волокон G.652/G.655 приведен в таблице 1. В ней даны значения оптических несущих для DWDM с числом каналов $n = 40$ (этот же план можно применить при любом числе каналов $n > 8$ и НЧР = 1000 ГГц), а также значения оптических несущих при НЧР = 200 ГГц ($4 < n < 20$), для $n = 8$ (НЧР = 500 ГГц), $n = 4$ (НЧР = 600 ГГц и НЧР = 1000 ГГц).

Оптические интерфейсы аппаратуры WDM и DWDM должны быть совместимы с аппаратурой SDH – STM-16 и STM-64. Однако, согласно рекомендациям МСЭ G.957 для систем SDH допустимые значения спектральных параметров на выходных оптических стыках (интерфейсах) имеют следующие значения: ширина спектральной линии $\Delta \approx \pm 0,5$ нм (для STM-16), для STM-64 – $\Delta = 0,1$ нм, а центральная оптическая длина волны может иметь любое значение в пределах

диапазона 1530 ... 1565 нм. Очевидно, что если на оптические входы мультиплексоров подать сигналы с выходов оптических передатчиков мультиплексируемых каналов SDH, то такая система работать не будет. Поэтому на входы оптического мультиплексора должны поступать оптические сигналы, параметры которых, в особенности спектральные, должны строго соответствовать стандартам, определенным рек. G.692. Такое соответствие достигается благодаря применению в аппаратуре DWDM специального устройства - транспондера. Это устройство имеет количество оптических входов и выходов, равное числу уплотняемых оптических сигналов. Но если на любой вход транспондера может быть подан оптический сигнал, параметры которого определены рек. G.957, то выходные его сигналы должны по параметрам соответствовать рек. G.692. При этом, если уплотняется N оптических сигналов, то на выходе транспондера длина волны каждого канала должна соответствовать только одному из них в соответствии с сеткой частот, т.е. допустим для первого канала оптический сигнал должен иметь длину волны λ_1 , для второго λ_2 и т.д. до λ_N . С выходов транспондера эти оптические сигналы поступают на строго определенные входы оптического мультиплексора, соответствующие указанным длинам волн $\lambda_1 \dots \lambda_N$.

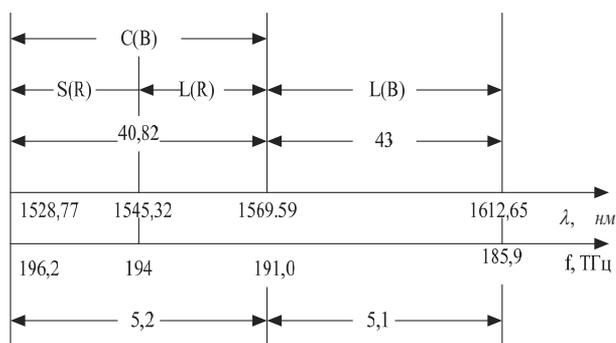


Рис. 1. Фрагмент частотного и волнового диапазонов

Следует отметить, что при оптическом уплотнении по длинам волн в оптическом мультиплексоре (ОМ) происходят значительные потери. Так, например, в системе передачи DWDM с 32 спектральными каналами OptiX BWS 320G фирмы Huawei Technologies потери ОМ на канал составляют ~ 7... 9 дБ (на одной стороне). С учетом потерь на обеих сторонах (на передаче и на приеме) их общая величина составит 14 ... 18 дБ. Такие потери значительно сокращают энергетический потенциал системы, поэтому без оптических усилителей возможна передача на весьма небольшие расстояния. Для того чтобы скомпенсиро-

вать энергетические потери в ОМ, на передаче применяется волоконно-оптический усилитель мощности (BOOSTER). Если же этой мощности оказывается недостаточно, то оптический усилитель применяется и на приемной стороне.

Таблица 1. Значения центральных частот каналов при использовании OB G.652/G.655

Частота ТГц	Интервал 100 ГГц (8 каналов и более)	Интервал 200 ГГц (4 канала и более)	Интервал 400 ГГц (только 4 канала)	Интервал 500/400 ГГц (только 8 каналов)	Интервал 600 ГГц (только 4 канала)	Интервал 1000 ГГц (только 4 канала)	Длина волны, нм
196,1	*	*					1528,77
196,0	*						1529,55
195,9	*	*					1530,33
195,8	*						1531,12
195,7	*	*					1531,90
195,6	*						1532,68
195,5	*	*			*	*	1533,47
195,4	*						1534,25
195,3	*	*		*			1535,04
195,2	*						1535,82
195,1	*	*					1536,61
195,0	*						1537,40
194,9	*	*			*		1538,19
194,8	*			*			1538,98
194,7	*	*					1539,77
194,6	*						1540,56
194,5	*	*				*	1541,35
194,4	*						1542,14
194,3	*	*		*	*		1542,94
194,2	*						1543,73
194,1	*	*					1544,53
194,0	*						1545,32
193,9	*	*	*	*			1546,12
193,8	*						1546,92
193,7	*	*	*		*		1547,72
193,6	*						1548,51
193,5	*	*	*			*	1549,32
193,4	*			*			1550,12
193,3	*	*	*				1550,92
193,2	*						1551,72
193,1	*	*	*		*		1552,52
193,0	*			*			1553,33
192,9	*	*	*				1554,13
192,8	*						1554,94
192,7	*	*	*				1555,75
192,6	*						1556,55
192,5	*	*	*	*	*	*	1557,36
194,4	*						1558,17
192,3	*	*	*				1558,98
192,2	*						1559,79
192,1	*	*		*			1560,61

Оборудование DWDM U-Node фирмы NEC

Оборудование DWDM предназначено для волнового (спектрального) уплотнения оптических каналов. Оборудование DWDM SpectralWave U-Node STM-64 / STM-16 / STM-4 / STM-1 / Ethernet / 140M / 45M / 34M / 2M – это универсальный узел компании NEC, который предлагает различные

услуги по передаче сигналов SDH, PDH и Ethernet с помощью различных гибких сетевых конфигураций, таких как: линейные, кольцевые, взаимосвязанные кольца, мультикольцевые, и т.д.

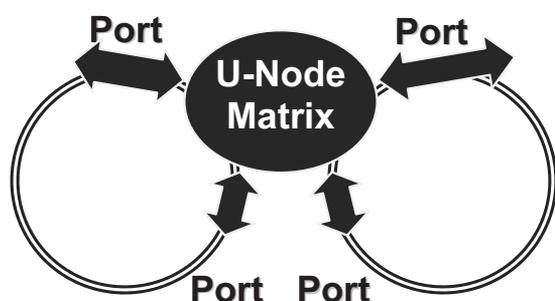


Рис. 2. Структура включения U-Node

Главная полка U-Node имеет 8 универсальных интерфейсных слотов, между которыми нет разницы. Любой тип интерфейсной платы, поддерживаемый главной полкой, может быть установлен в любой интерфейсный слот.

Любые порты STM-16 на любой плате могут быть организованы как двухволоконное или четырехволоконное кольцо MS-SPRing. Так, используя 8 плат STM-16, можно организовать два четырехволоконных или четыре двухволоконных кольца STM-16 на главной полке.

Для передачи услуг IP U-Node поддерживает интерфейс Ethernet. Главная полка предоставляет интерфейс Ethernet для прозрачной передачи между маршрутизаторами. Также планируется виртуальное объединение и статистическое мультиплексирование для эффективной передачи сигналов IP.

Для низкоскоростных сервисов предоставляются интерфейсы 2M, 34M, 45M и 140M, используя EXTWB (Extension Wideband). Кросскоммутиация и ввод/вывод сигналов 2M обеспечивается матрицей уровня VC-12 на EXTWB.

Для передачи высокоскоростных трафиков U-Node может модернизироваться путем добавления EXT64 (STM64-расширение). EXT64 подключается к главной полке U-Node с помощью внутренней шины. Доступны режимы двух- и четырехволоконных STM-64 колец MS-SPRing.

Дополнительно U-Node может быть напрямую подсоединен к системе SpectralWave DWDM без транспондеров, используя «цветные» интерфейсы STM-16 или STM-64.

Оборудование U-Node имеет следующие основные особенности:

- STM-16 /4 /1 имеет универсальные слоты для гибкого построения сетей передачи;

- высокая плотность и компактность: 16 портов STM-1 на слот, 8 портов STM-16 на полку;
- частичная и смешанная установка STM-1 и STM-4 на одной плате для передачи небольших трафиков;
- 2/4-х волоконные кольца MS-SPRing для STM-64/16;
- SNCP для STM-64 /16 /4 /1;
- поддержка различных сетевых топологий: межкольцевое соединение и мультикольца;
- матрица 256/512 по уровню VC-4 и 2016 по уровню VC-12 для кросс-коммутиации и ввода/вывода;
- смежные сцепки VC-4-4с и VC-4-16с;
- гибкая широкополосная передача, используя виртуальные сцепки для Ethernet;
- поддержка SSM (Synchronous Status Message) для линий STM-N и внешней синхронизации по 2 Мбит/С;
- возможность модернизации от STM-16 к STM-64;
- интегрированное управление совместно с другими продуктами SDH и DWDM производства фирмы NEC.

В таблице 2 приведены типы интерфейсов, количество портов для каждой платы, типы резервирования и размеры матрицы кросскоммутиации, поддерживаемые U-Node.

Конструкция системы U-Node разработана с учетом всех рекомендаций ITU-T, касающихся SDH, а также самых последних спецификаций ETSI. Низкоскоростные сигналы мультиплексируются в высокоскоростные с использованием стандартных маршрутов мультиплексирования SDH.

U-Node поддерживает различные варианты сетевых топологий и резервирования, как показано ниже:

- линейный режим с резервированием;
- 2/4-х волоконные кольца MS-SPRing;
- 2-х волоконные кольца SNCP;
- взаимосвязанные кольца (Interworking Ring);
- взаимосвязка колец в одном/двух узлах (Dual/Single Ring Interconnection);
- мультикольца (MultiRings);
- смешанные виртуальные кольца с резервированием путей.

U-Node поддерживает 2/4 волоконные кольца MS-SPRing в режимах STM-64/16. Кольца SNCP поддерживаются в режимах STM-64/16/4/1.

Существующие возможности U-Node по построению сетевых приложений позволяют предлагать высоконадежные, экономичные, расширяемые и оптимизированные сетевые решения.

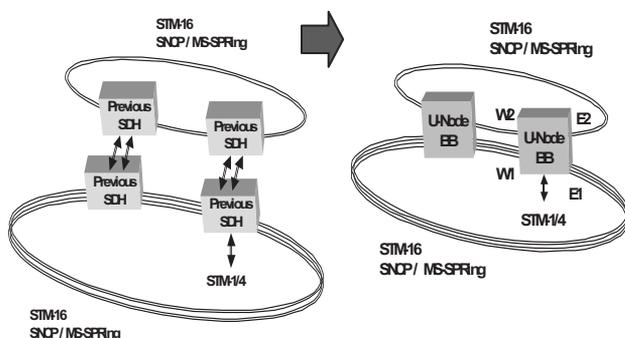
U-Node предлагает экономичное соединение кольцевых сетей MS-SPRing или SNCP. На рис. 3 приведен пример соединения между двухволоконным кольцом STM-16 MS-SPRing и четырехволоконным кольцом STM-16 MS-SPRing с соединением в двух узлах.

Прежде кольца соединялись по трибутарным интерфейсам даже в случае размещения на одной станции. При этом трибутарные слоты использовались неэффективно.

U-Node может поддерживать 6 портов STM-16 для колец MS-SPRing и 16 портов STM-1 с резервированием на одной полке. Становится возможным значительное сокращение стоимости и занимаемого места.

Таблица 2. Основные характеристики U-Node

Полка расширения	Интерфейс	Портов на плату		Резервирование				
				2/4-волоконные MS-SPRing	2-волоконные SNCP	Линейный MSP	Плат	
EXT64	STM-64	1		0	0	0	1+1, 1:1	
Поддерживаемые интерфейсы и способы резервирования	STM-16	1		0	0	0	1+1, 1:1	
	STM-4	STM-4	STM-1		0	0	1+1	
		STM-1	3	4		0	0	1+1
	Оптический		2	8				
			1	12				
			0	16				
Электр.	STM-1	16 / 8					1:1	
	Gigabit Ethernet	2						
EXTWB	140 Mbit/s	4					1:1	
	45 Mbit/s	6					1:1	
	34 Mbit/s	6					1:1	
	2 Mbit/s	63					1:N (1-8)	
Уровень кросс-коннекта	256 × VC-4, 512 × VC-4 VC-4-4с, VC-4-16с смежная сцепка							
EXTWB	2016 × VC-12							



а) – прежние SDH; б) – SpectralWave U-Node

Рис. 3. Схемы включения STM-16

U-Node поддерживает «цветные» интерфейсы (см. рис. 4), имеющие соответствующие длины волн для соединения с DWDM.

«Цветные» оптические интерфейсы позволяют SpectralWave DWDM напрямую аккумулировать сигналы STM-64/16 от U-Node без транспондеров (оптических конвертеров длин волн).

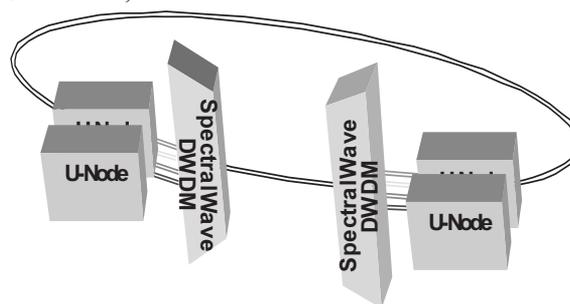


Рис. 4. «Цветные» оптические интерфейсы

В разделенной резервирующей системе, такой как 2/4-волоконное кольцо MS-SPRing, избыточные пути резервируются для самовосстановления в случае повреждения основных путей. В нормальных условиях резервные избыточные пути полностью свободны.

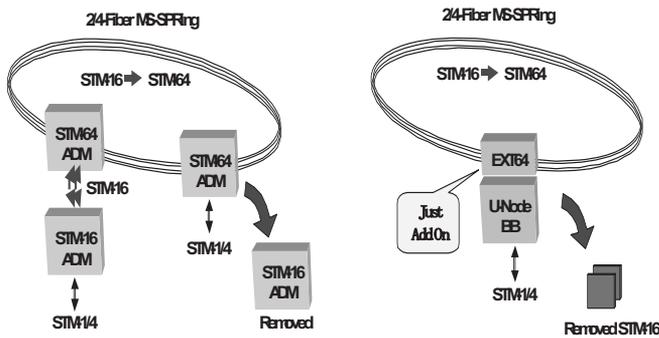
U-Node имеет функцию «Standby Line Access», что позволяет в нормальных условиях пропускать дополнительный трафик по резервным путям.

Например, один порт маршрутизатора подключен к рабочему пути. Эта услуга защищена с помощью MS-SPRing. Дополнительно другой порт может быть подсоединен к порту Standby Line Access.

Таким образом, маршрутизатор обеспечивает удвоенную пропускную способность в нормальных условиях.

Для целей использования выделенных линий STM-N конечный оператор может использовать STM-N как объединение сигналов. Например, оператор, арендующий STM-16, может использовать его как набор 16×VC-4. Оператор-пользователь может модернизировать свой ATM коммутатор или маршрутизатор с STM-1 на STM-4. После этого оператор может использовать канал STM-16 как (например) 1×STM-4 и 12×STM-1.

Интерфейсы STM-4 коммутатора ATM или маршрутизатора требуют объединения (конкатенации) VC-4-4с. Сетевой оператор организует объединенный канал VC-4-4с в арендуемом STM-16. U-Node может определить статус объединения входного STM-N и автоматически организовать подходящее объединение VC-4-4с на всем пути прохождения сигнала, включая промежуточные узлы сети.



а) – обычная SDH; б) – SpectralWave U-Node

Рис. 5. Схемы включения обычной SDH и SpectralWave U-Node

При быстро возрастающем объеме трафика в U-Node предусмотрена модернизация до уровня STM-64. В прежних системах SDH, оборудование STM-64 было полностью отличным от оборудования STM-16.

Таблица 3. Параметры системы U-Node

Интерфейсная емкость	8 слотов × 2,5Гбит/с в основной полке 4 слота × 10Гбит/с в полке EXT64 8 слотов × 2М/34М/45М в полке EXTWB
Уровень и емкость кросс-коннекта	256 × VC-4 (пакет PSW40) 512 × VC-4 (пакет PSW80) Объединение (Конкатенация) VC-4-4с, VC-4-16с
	2016 × VC-12 (пакет PSW5W)
Коэффициент ошибочных битов	$<1 \times 10^{-10}$

Существующая система STM-16 должна быть полностью демонтирована или присоединена к системе STM-64 по интерфейсам STM-16. Оба эти варианта неэкономичны. В U-Node предлагается более экономичная модернизация до уровня STM-64 и перенаправление потоков STM-16. Система U-Node STM-64 становится доступной путем добавления расширения EXT64 (см. рис. 5).

Все управляющие и интерфейсные модули на главной полке используются в системе STM-64. Что касается матрицы кросс-коннекта, то существующая матрица PSW40 используется до двухволоконной системы STM-64 без каких-либо изменений. Матрица PSW40 модернизируется до PSW80 в случае использования режима четырехволоконного кольца STM-64 или для установки дополнительных полок расширения (EXTWB, EXT16).

Существующие модули STM-16 могут быть использованы как трибутарные интерфейсы. При ликвидации системы STM-16

сделать это возможно благодаря модульному принципу построения оборудования.

Таблица 4. Основные характеристики оборудования SDH

Модель и производитель	Линейные интерфейсы	Трибутарные Интерфейсы/порты	Кросс-коммутация
MLink-STM 1/4 «Микролинк-связь»	2×STM-1 2×STM-4	2×STM-1 8×E1, 21×E1 3×E3 От 2 до 8 портов 10/100 Base-T 6×FXS 24×FXO 4×V.35 Комбинированный модуль 8×E1+4×10/100 Base-T	До 16×16 VC-4 До 1008×1008 VC-12
MLink-STM 16/64 «Микролинк-связь»	4×STM-1/4 1×STM-16 1×STM-64	4×STM-1E 63×E1 3×E3 6 до 8 портов 10/100 Base-T 2×1000 Base-FX+8×10/100 Base-T	До 448×448 VC-4 До 2016×2016 VC-12
CMM-155 «Морион»	1×STM-1	1×STM-1E 21×E1 1×E3	Нет данных
FlexGain A155 CPE HATEKC	2×STM-1	8×E1 1×E3 4 порта 10/100 Base-T	Нет данных
FlexGain A2500 HATEKC	4×STM-1 1×STM-4	1×STM-16 4×STM-1E 21×E1 3×E3 4 порта 10/100 Base-T 2×1000 Base-SX	До 64×64 VC-4 До 4032×4032 VC-12
CM-1/4 «Супертел»	1×STM-1 1×STM-4	1×STM-1E 21×E1 63×E1 3×E3 8 портов 10/100 Base-T	До 24×24 VC-4 До 1512×1512 VC-12
СМВВ-1М «Супертел»	2×STM-1 или 2×STM-4	21×E1 3×E3 До 8 портов 10/100 Base-T До 2 портов 1000 Base-T	Нет данных
SpectralWave U-Node BBM ЭЗАН	16×STM-1 4×STM-4 1×STM-16 1×STM-64	До 16×STM-1E 21 или 63×E1 3 или 6×E3 До 8×10/100 Base-T До 4×1000 Base-SX/LX	512×512 VC-4 4032×4032 VC-12
SpectralWave U-Node ЭЗАН	1×STM-1 1×STM-4 1×STM-16	2×STM-1E 32×E1 3×E3 6 портов 10/100 Base-T 2 порта 1000 Base-SX/LX	152×152 VC-4 2016×2016 VC-12
SpectralWave C-Node ЭЗАН	до 10×STM-1 до 4×STM-4	До 128×E1 До 12×E3 До 16 портов 10/100 Base-T	16×16 VC-4 1008×1008 VC-12
QBM-7100 QTECH	1 или 2 STM-1	8×E1 2 или 4 порта 10/100 Base-T 2×V.35	8×8 VC-4 504×504 VC-12
QBM-7100 micro QTECH	1 или 2 STM-1	1×E1 1 порт 10/100 Base-T 2×V.35	Нет данных

В таблице 3 приведены параметры системы U-Node, а в таблице 4 приведены основные характеристики оборудования SDH, производимого в России.

Из последних разработок, сведения о которых взяты из Internet, можно отметить следующее оборудование: мультиплексор mini-SDH (производство Alcatel); PL-100, устройство хранения данных PL-200, пассивное устройство PacketLight для оптических сетей PL-300, мультисервисное устройство для доступа к транспортной сети CWDM и DWDM PL-400, платформа Metro-сетей C/DWDM PL-1000 (фирмы NEC), технические характеристики которых, описание, применение, схемы включения и другие сведения имеются.

Литература

1. Заславский К.Е. Волоконно-оптические системы передачи со спектральным уплотнением. Новосибирск: Изд. СибГУТИ, 2002. – 172 с.
2. Каталог оптоэлектронных компонентов компании NEC. 2007. – 48 с.
3. Полуниин А. Покупай Российский SDH! // Сети. №11, 2008. – С. 14-19.
4. Ильичев В.П., Васин Н.Н. Телекоммуникационные системы PDH и SDH. Самара: Изд. ПГАТИ, 2007. – 202 с.
5. Иванов В.И., Адамович Л.В. Волоконнооптические системы передачи. Самара: Изд. СРТТЦ, 2007. – 137 с.

УДК 621.394.18

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСКАБЕЛЬНЫХ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ЗАБОЙНЫХ ТЕЛЕСИСТЕМ ПОДЗЕМНОЙ СВЯЗИ

Горячкин О. В., Григоров И.В., Долгополов В.Н., Петров О.А., Суханов Д.В., Хабаров Е.О.

Приведены исследования характеристик рассеяния реального канала ЗТС, экспериментальная оценка помеховой обстановки, описание программы моделирования канала связи, результаты моделирования для различных помех и разных сочетаний кодов.

Введение

Для измерения технологических и геофизических параметров в процессе бурения в бескабельных забойных телеметрических системах (ЗТС) используется в основном электромагнитный канал связи, когда физической средой передачи информации служит горная порода. Основными достоинствами таких систем, в отличие от акустических, гидравлических и кабельных, являются надежность конструкций и низкая стоимость. Вместе с тем электромагнитный канал связи обладает и некоторыми недостатками, такими как ограничение дальности действия из-за свойств геологического разреза, ее зависимость от материала бурильных труб, отсутствие возможностей исследования в соленосных отложениях. В системах глубинного бурения нефтяных и газовых скважин система передачи информации сверхдлинноволнового диапазона (СДВ) обеспечивает оперативное управление траекторией ствола наклонно-направленных и горизонтальных скважин в процессе бурения гидравлическими забойными двигателями. В процессе бурения для ориентирования бурильного оборудования (отклонителя) система связи обеспечивает передачу телеметрической информации при необходимости изменения азимута ствола скважины

или его зенитного угла; для ориентирования отклонителя на забое в вертикальных скважинах при резке ствола по заданному направлению; для определения угла закручивания бурильной колонны реактивным моментом забойного двигателя; для индикации динамических характеристик работы долота; измерения естественной радиоактивности пород. При передаче информации с забоя скважины используется канал связи сверхдлинноволнового диапазона. Средняя (несущая) частота передаваемого сигнала в таких системах составляет обычно 2,5-10 Гц (окно прозрачности 0,5-20 Гц). Более высокочастотные сигналы практически полностью поглощаются породой в процессе распространения на практически значимых расстояниях (1-5 км). При подаче электрического напряжения между верхней и нижней частями бурильной колонны (выполняющей роль антенны), разделенных диэлектрической вставкой, возникают токи, текущие в толще земли. Часть этих токов течет по поверхности и образует падение напряжения между скважиной и дополнительным электродом, установленным на расстоянии обычно 50-100 м от нее. На сегодняшний день на практике именно характеристики системы радиосвязи ограничивают такие важные показатели как глубину бурения и точность проводки скважины. При этом основным ограничивающим фактором является низкая помехоустойчивость системы связи и связанная с этим проблема повышения скорости передачи данных в таких каналах. В этой связи поиск путей повышения помехоустойчивости системы связи является