

УДК 621.3; 681.3

О. Г. НАТРОШВИЛИ<sup>а</sup>, В. П. КОЖЕМЯКО<sup>б</sup>, А. И. ПРАНГИШВИЛИ<sup>с</sup>

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВРЕМЕННОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ВОЛОКНО-ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

<sup>а, с</sup> *Грузинский технический университет,  
0175, ул. Костава, 77, г. Тбилиси, Грузия,  
тел.: 995 32 534964, E-mail: otarovna@yahoo.com*

<sup>б</sup> *Винницкий национальный технический университет  
21021, Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина,  
тел.: 38 (0432) 598450, E-mail: kyp@vstu.vinnica.ua*

**Аннотация:** Анализируются методы мультиплексирования оптических сигналов для применения в цифровых волоконно-оптических системах передачи информации. Особое внимание уделяется методам временного мультиплексирования для увеличения объема трафика и скорости передачи информации в компьютерных сетях.

**Abstract.** Methods multiplexing optical signals for application in digital fiber-optical systems of an information transfer are analyzed. The special attention is given to methods of time multiplexing for increase in volume of the traffic and speed of an information transfer in computer networks.

**Ключевые слова:** оптический сигнал, мультиплексирование, волоконно-оптические системы передачи информации.

**Key words:** optical signal, multiplexing, fiber-optical systems of information transfer.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время весьма актуальным становится эффективное решение задач передачи высокоинтенсивных информационных потоков в современных коммуникационных сетевых средах. Постоянное стремление к дальнейшему увеличению объема передаваемых данных и скоростей приемо-передачи мультимедийных пакетов в компьютерных сетях диктует поиск новых принципов представления сигналов, методов передачи данных и создание новых систем с лучшими технико-экономическими показателями. Для этой цели успешно применяется новое поколение средств телекоммуникационной связи – волоконно-оптические системы передачи сигналов (ВОСП).

Оптические сигналы – носители большого объема информации и узлы цифровых систем для высокоскоростной передачи сообщений (пакетных данных) сигналами такого типа, особенно эффективно при построении наиболее популярного вида телекоммуникационной связи – компьютерных сетей.

В настоящее время разработаны и успешно применяются различные подходы цифровой передачи данных через линии волоконно-оптической связи, исходя из необходимости осуществления оперативного обмена пакетами (особенно мультимедийными пакетами в реальное время) между хостовыми или транзитными узлами компьютерных сетей. Разработаны и успешно внедряются различные подходы самой передачи сигналов указанной (оптической) формы. Среди таких подходов следует отметить применение методов мультиплексирования сигналов в волоконно-оптических системах передачи (ВОСП). Для этой цели применяются различные сочетания технологий передачи, в том числе PDH-TDV, SDH/SONET - WDM/DWDM, ATM и др.

Независимо от различных методов мультиплексирования передаваемых сигналов, основными узлами в цифровых в волоконно-оптических системах передачи являются линейные кодеры-декодеры.

Современное направление развития телекоммуникационных средств идет по пути глобализации и персонализации (в связи с этим широко внедряется сравнительно новый термин – информационное общество). Это направление невозможно развивать без широкого внедрения новейших технологий и, в первую очередь, ЦВОСП (цифровых волоконно-оптических систем передачи). Работы ведутся по различным направлениям, среди которых, в первую очередь, можно отметить комплексное исследование линейных сигналов (их разновидности очень много, например, блочных многоуровневых линейных сигналов типа 3В4В, 2В3В и т.п. для таких ЦВОСП. Они исследуются по таким важным параметрам как скорость передачи кодов, искажение сигналов в ВОСП, длина регенерационного участка, контроля в них, система синхронизации в адаптерах хостовых компьютеров, помехозащищенность при прохождении сигналов в линиях связи и др.).

Весьма актуальным являются исследования и в другом направлении – усовершенствование самих методов мультиплексирования сигналов оптического вида и разработка соответствующих новых ЦВОСП для их реализации. Среди других методов мультиплексирования в данной статье особое внимание уделим методам временного мультиплексирования оптических сигналов, поскольку они обеспечивают как увеличение объема трафика (нагрузки пакетами линий связи), так и повышение скорости передачи информации в компьютерных сетях в целом.

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Известно, что развитие волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) по всем показателям (характеристикам) превосходят все традиционные системы связи. Они обеспечивают возможность доставки пакетов на большие расстояния чрезвычайно большого объема информации, как отметили во введении, с максимально высокой скоростью передачи сигналов и высокой надежностью электронной транспортировки через линии связи пакетных данных любого вида (в том числе мультимедийных пакетов, т.е. обеспечивают комбинированную передачу текста, изображений с сопровождением звука).

Область применения ВОСП не ограничивается передачей пакетных данных на большие расстояния в различных системах связи, а простирается на сферу от локальных (LAN) до глобальных (WAN) волоконно-оптических телекоммуникационных систем.

Широкомасштабное использование волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) дало повод для строительства волоконно-оптических сетей вначале плезиохронной (асинхронной) (PDH), а потом и синхронной (SONET/SDH) цифровой иерархий.

В настоящее время в широком масштабе внедряются различные технологии реализации волоконно-оптических интерфейсов в таких сетях, как Ethernet, FDDI, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ATM и т.д.

Цифровые волоконно-оптические системы передачи любого типа, как отметили выше, базируется на PDH и SONET/SDH системах различных иерархий. Развитие различных подходов к реализации ВОСП идет по пути разработки техники и технологии составляющих элементов, улучшения качественных показателей функциональных схем, решения новых методов мультиплексирования [1-5].

За последние ближайшие годы ВОСП прошли все этапы развития, начиная от первых аналоговых систем на одномодовых оптических кабелях, до современных цифровых волоконно-оптических систем передачи (ЦВОСП) на многомодовых оптических кабелях [6]. Во всех этих этапах непрерывно развивается технология оптоэлектронных элементов (подразумевается оптические волокна, источники оптического излучения (светодиоды, лазеры), оптические приемники (фотодиоды), модуляторы и переключатели оптических сигналов, оптические и электронные мультиплексоры и демультиплексоры, согласующие устройства и т.п.). При этом зарегистрированы и действуют различные стандарты волокна, спецификации стандартов на оптические (и оптоэлектронные) функциональные элементы, устройства и системы, стандарты на транспортные сети, на методы измерения и испытания их характеристик и т.п. А, что касается самих процессов мультиплексирования, они также освещены в специальной литературе.

Основная проблема применения любого типа мультиплексирования сигналов состоит в поиске эффективных методов осуществления этой процедуры с комбинированными сигналами (электронно-оптическими, оптико-электрическими) в ЦВОСП, которые в звеньях преобразования имеют не только электронную, но и оптическую природу. При помощи таких сигналов (при прохождении в ВОЛС) осуществляется как симплексные (односторонние), так и дуплексные (двухсторонние) связи.

Если рассмотреть проблемы мультиплексирования сигналов в более расширенном плане, в настоящее время применяются различные принципы для их реализации. Например, существуют: частотное мультиплексирование (FDM – Frequency Division Multiplexing); модовое мультиплексирование (MDM – Mode Division Multiplexing); мультиплексирование по поляриности несущей (PDM – Polarization Division Multiplexing) и т.п.

При частотном методе мультиплексирования каждый информационный поток передается по

фізическому каналу на відповідній частоті – піднесущій  $f_{\text{піднес}}$ .

Модове мультиплексування застосовується в волоконно-оптичних системах передачі, де використано багатомодове оптичне волокно. Суть цього методу полягає в тому, що процес поширення оптичного випромінювання в багатомодовому оптичному волокні розглядається з позицій геометричної оптики, т.е. якщо на входній торці (в межах одного ділянки) багатомодового волокна під кутом  $\varphi_1 < \varphi_{\text{критич}}$  падає оптичний промінь, то поширюючись вздовж цього оптичного волокна по строго визначеній для нього траєкторії, він виходить із вихідного торця під таким же кутом  $\varphi_1$ . Це справедливо і для інших променів, вводимих в оптичне волокно (ОВ) під своїм кутом при умові, що  $\varphi_k < \varphi_{\text{критич}}$ . Перевага модового мультиплексування полягає в тому, що застосовуючи для цієї мети модові селектори на вході і виході волокна, можна здійснювати передачу незалежних інформаційних потоків на відповідних модах, які виконують роль окремих каналів. При цьому необхідно дотримуватися строгого правила, яке складається в тому, що модове мультиплексування може застосовуватися тільки при відсутності перемішування або взаємного перетворення мод, т.е. при строгому дотриманні принципу введення, поширення і виведення (виділення) мод в оптичному волокні (ОВ).

Мультиплексування потоків інформації з допомогою оптичних несучих, які мають лінійну поляризацію, називається мультиплексуванням за поляризацією. При цьому площина поляризації несучої повинна бути розташована під своїм кутом. Цей метод мультиплексування здійснюється з допомогою спеціальних оптичних призм.

Принцип мультиплексування каналів за поляризацією полягає в тому, що позитивна поляризація несучої модулюється одним сигналом, негативна – іншим. При цьому, як і для звичайної амплітудної модуляції, частота модуляції  $f_{\text{мод}}$  і частота несучої  $f_{\text{нес}}$  повинні знаходитися в співвідношенні  $f_{\text{нес}} \geq f_{\text{мод}}$ .

Серед вказаних типів мультиплексування в даний час найбільш перспективним вважається застосування тимчасового мультиплексування – TDM, тому цей метод буде розглянуто найбільш докладно в наступному розділі даної статті.

## ВРЕМЕННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Удосконалення технології виготовлення волоконно-оптичних кабелів поступово знижує їх ціну, тому зараз реально можна вже думати про застосування в комп'ютерних мережах декількох комунікаційних фізических ліній на їх основі. Такий підхід дуже перспективний, оскільки з'являється можливість здійснення дуплексної комунікаційної зв'язу між хостовими і транзитними вузлами мережі. Для збільшення обсягу трафіку і швидкості обміну інформаційними потоками в реальний час можна успішно застосовувати метод тимчасового мультиплексування високоінтенсивних потоків оптичних сигналів TDM (Time Division Multiplexing).

Дуплексна комунікаційна зв'яз можна здійснювати за допомогою двох волоконно-оптичних кабелів, кожен з яких призначений для передачі інформації в одному напрямку. Такий підхід побудови мережі і організації обміну пакетами між робочими станціями в діалоговому режимі на початку значно збільшує обсяг передаваного комп'ютерного трафіку в цілому і в інших не сумнівно зростає надійність передачі сигналів при електронній транспортуванні пакетів в комунікаційних мережах зв'язу. В таких волоконно-оптичних системах зв'язу можна успішно використовувати цифрові системи передачі сигналів з різним числом каналів (в будь-якій PDH або SDH цифровій ієрархії).

Основними елементами (компонентами) такої комунікаційної схеми передачі-прийому сигналів є: оптичний кабель (ОК); оптичний передатчик (Опер) і оптичний прийомник (ОП). При цьому передатчик виконує роль перетворювача електричного сигналу в оптичний (ЕОП), а прийомник забезпечує зворотне перетворення оптичного сигналу в електричний (ОЭП). Як ЕОП найбільше застосовують напівпровідниковий лазер (ПЛ) і світлодіод (СД), а як ОЭП – фотодіод (ФД). Для перетворення коду і узгодження елементів в ланках використовують кодувальні і декодувальні пристрої, а також узгоджуючі пристрої (СУ). Перетворювач коду (ПК) кодер-декодер формує необхідну послідовність імпульсів і за допомогою СД і ФД елементів схеми. Передаючі і прийомні узгоджуючі пристрої узгоджують діаграми направленості і апертуру між прийомо-передаючими пристроями (точніше між СД і ФД на входах і виходах і кабелем) в системах.

Нижче розглянемо один із варіантів структури побудови систем прийому-передачі інформації, які здійснюють принцип тимчасового мультиплексування сигналів, використовують ВОСП.



- БС (БН) – блок согласования (блок накачки);
- ОИ – оптический излучатель (лазер);
- БС – блок стабилизации;
- ОР – оптический разъем;
- ВОК - волоконно-оптический кабель;
- ЛР – линейный регенератор;
- ФД – фотодетектор;
- ИН – источник напряжения смещения для фотодетектора;
- ПЛК – преобразователь линейного кода в коды DS1 (в коды HDB3);
- ДМ – электронные демультиплексоры, преобразующие сигналы уровня кода DS1 в сигналы уровня DSO.

В ВОСП выполняются функции по следующей последовательности: сигналы уровня DSO из основных цифровых каналов подаются в электронные мультиплексоры ЭМ (сигналы основных информационных потоков сети), которые преобразуют их в информационный поток уровня DS1 в коде HDB3, а затем поступают на входы электронного мультиплексора и преобразователя стыкового кода HDB3 в линейный код. Блок стабилизации (блок накачки) БС (БН) осуществляет согласование оптического излучателя ОИ с выходом устройства преобразования стыкового кода в линейный код. В оптическом излучателе ОИ (лазере) осуществляется преобразование электрического сигнала в оптический. С оптическим излучателем ОИ связан блок стабилизации БС, который обеспечивает нужный уровень высвечивания оптических сигналов из ОИ, т.е. БС служит для стабилизации выходной оптической мощности излучателя (лазера или светодиода), а также и для стабилизации температуры. Далее в волоконно-оптическом кабеле ВОК при помощи оптического разъема ОР распространяются оптические сигналы, проходя через линейный регенератор ЛР. Через второй оптический разъем ОР оптические сигналы из выхода ВОК поступают на фотодетектор ФД и в преобразованном виде (т.е. в электрической форме) передаются на входы блока ПЛК, при этом напряжение для смещения подается из ИН. Из выхода ПЛК сформированные DS1 коды подвергаются к демультиплексированию в блоке ДМ, формируются коды уровня DS1, превращаются они в сигналы уровня DSO и с выходов ВОСП распространяются далее через цифровые каналы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для современных коммуникационных сред и в первую очередь для компьютерных сетей, решение задач эффективной электронной транспортировки пакетов сообщений весьма актуально. Это решение требует разработки новых методов и средств на основе ВОСП нового поколения. Исходя из этого в настоящее время техника и технология волоконно-оптических систем передачи развиваются динамически и довольно интенсивно. Изобретение лазеров с распределенной обратной связью (DFB) с одной продольной модой (SLM), имеющих узкую ширину спектра, позволило достичь бытовой скорости более 1 Гбит/с. Далее было разработано новое поколение ВОСП, где уже применяются различные методы мультиплексирования. Один из этих методов – временное мультиплексирование нами было рассмотрено в данной статье.

Современные ВОСП, применяющие методы временного мультиплексирования уже позволяют достигать реальные скорости передачи информации порядка 40 Гбит/с. Желание получить эти скорости более высокой величины привело к необходимости разработки метода оптического временного мультиплексирования в системе OTDM (Optical Time Division Multiplexing), который позволяет осуществлять передачи сигналов со скоростью 80 Гбит/с на большие расстояния (уже создан и испытывается экспериментальный вариант такой системы. Она позволяет достичь такой скорости на расстоянии до 168 км).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слепов Н.И. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н. И. Слепов. М.: Радио и связь, 2000. – 468с.
2. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А. Б. Иванов. – М.: SAIRUS SYSTEM, 1999. – 671с.
3. Скляр О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы / О. К. Скляр. – М.: СОЛОН – Р, 2001. – 237 с.
4. Основы волоконно-оптической связи / [Пер. с англ. под ред. А.Г. Шереметьева]. – М.: Связь, 1978. – 424 с.
5. Основы волоконно-оптической связи / [Пер. с англ. под ред. Е.М. Дианова]. М.: Сов. радио, 1980. – 232 с.

6. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети / Р. Р Убайдуллаев. – М.: ЭКО – ТЕНДЗ, 1998. – 267 с.

Надійшла в редакцію 15.02.2009р.

**НАТРОШВИЛИ О. Г.** – д.т.н., професор направления компьютерных систем и сетей факультета информатики и систем управления, Грузинский технический университет, почетный профессор Винницкого национального технического университета, г. Тбилиси, Грузия.

**КОЖЕМЯКО В. П.** – академик АИНУ, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой лазерной и оптоэлектронной техники Винницкого национального технического университета, г. Винница, Украина.

**ПРАНГИШВИЛИ А. И.** – д.т.н., професор направления компьютерных систем и сетей, ректор Грузинского технического университета, чл.-корр. АН Грузии, президент инженерной академии Грузии, г. Тбилиси, Грузия.