

УДК 004.713

Гайворонская Г.С., Рыбалов Б.А.

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039, Украина

✉ e-mail: ikt.osar@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ КОММУТАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПЕРЕНОСА ИНФОРМАЦИИ

В работе выполнен анализ принципов коммутации оптических сигналов с электрическим и оптическим управлением и сформулированы требования к системам коммутации, обеспечивающим повышение пропускной способности телекоммуникационной сети. Рассмотрены модель и методы реализации полностью оптической коммутации, не использующие электронно-оптического и оптоэлектронного преобразования информационного сигнала и не требующие буферизации оптического сигнала в полностью оптическом коммутационном устройстве. Проведена оценка целесообразности использования различных режимов переноса информации для коммутации оптических сигналов. Показаны преимущества и недостатки методов метрического и позиционного мультиплексирования. Описана модель оптической сети с полностью оптической коммутацией блоков информации. Обоснована целесообразность использования для поставленной задачи блокового режима переноса информации.

Ключевые слова: полностью оптические сети, режим переноса информации, мультиплексирование.

УДК 004.713

Гайворонська Г.С., Рыбалов Б.О.

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна

✉ e-mail: ikt.osar@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ КОМУТАЦІЇ ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ РЕЖИМІВ ПЕРЕНЕСЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

В роботі виконано аналіз принципів комутації оптичних сигналів з електричним і оптичним керуванням і сформувані вимоги до систем комутації, що забезпечують підвищення пропускної здатності телекомунікаційної мережі. Розглянуто модель і методи реалізації повністю оптичної комутації, які не використовують електронно-оптичного та оптоелектронного перетворення інформаційного сигналу і не потребують буферизації оптичного сигналу в оптичному комутаційному пристрої. Проведена оцінка доцільності використання різних режимів перенесення інформації для комутації оптичних сигналів. Показано переваги та недоліки методів метричного і позиційного мультиплексування. Описана модель оптичної мережі з повністю оптичною комутацією блоків інформації. Обґрунтовано доцільність використання для поставленої задачі блокового режиму перенесення інформації.

Ключові слова: повністю оптичні мережі, режим перенесення інформації мультиплексування.

I. ВВЕДЕНИЕ

Согласно мнению специалистов американского агентства «National Communications System» [1], основной тенденцией развития телекоммуникационных сетей является переход к «полностью оптическим сетям» (All-Optical Networks). В частности, в аннотации к докладу агентства «National Communications System» №00-7 от августа 2000 г. говорится: «Ожидается, что полностью оптические сети (AON) вскоре покинут лаборатории, и их популярность будет расти в течение ближайших нескольких лет. Эти сети обеспечат высокую пропускную способность и позволят внедрить множество высокоскоростных инфокоммуника-

ционных услуг. Предполагается, что коммуникационная инфраструктура будет развиваться для поддержки терабитных и пентабитных скоростей...». Основным фактором, сдерживающим подобный переход, является сложность реализации систем коммутации для этих сетей. На сегодняшний день, обработка оптических сигналов в существующих сетях, использующих волоконно-оптические кабели связи, осуществляется как на оптическом, так и электрическом уровне. Современные системы коммутации оптических сигналов (СКОС) используют механизмы оптико-электрического преобразования коммутируемых сигналов и управляются с использованием электронных управляющих устройств, что накладыва-

ет серьёзные ограничения на повышение пропускной способности сетей, в которых они используются [2]. Разработка полностью оптических систем коммутации обеспечит повышение пропускной способности телекоммуникационной сети (ТС) и позволит избежать дорогостоящего оптико-электрического преобразования сигнала, что является важным фактором для сокращения сроков внедрения полностью оптической сети в Украине.

В Рекомендации международного союза электросвязи (МСЭ) G.680 «Физические функции передачи оптических элементов сети» сказано [3]: «Современные оптические транспортные сети развиваются в направлении уменьшения количества дорогостоящих O/E/O преобразований в пределах своих границ. Такая эволюция приведёт к развёртыванию области оптической прозрачности, что позволит осуществить полностью оптическую реализацию магистральных маршрутов на расстоянии до 2000 км...». Данное положение МСЭ-Т позволяет не только сделать вывод об эффективности использования полностью оптических сетей, обеспечивающих расширение области оптической прозрачности, но и подчёркивает

Разработка полностью оптических систем коммутации (*optical-optical-optical, OOO*) обеспечит повышение пропускной способности ТС и позволит избежать дорогостоящего оптико-электрического преобразования сигнала, что является важным фактором для внедрения полностью оптической сети в Украине. Таким образом, задача исследования особенностей коммутации оптических сигналов при использовании технологий, использующих позиционное и меточное мультиплексирование, является важной и актуальной.

II. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ КОММУТАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Существующие методы коммутации оптических сигналов [4-7] предусматривают необходимость предварительного преобразования информационного оптического излучения в электронную форму (O/E), коммутацию электронного сигнала и обратное электронно-оптическое преобразование (E/O) с последующим усилением мощности оптического излучения (рис. 1).

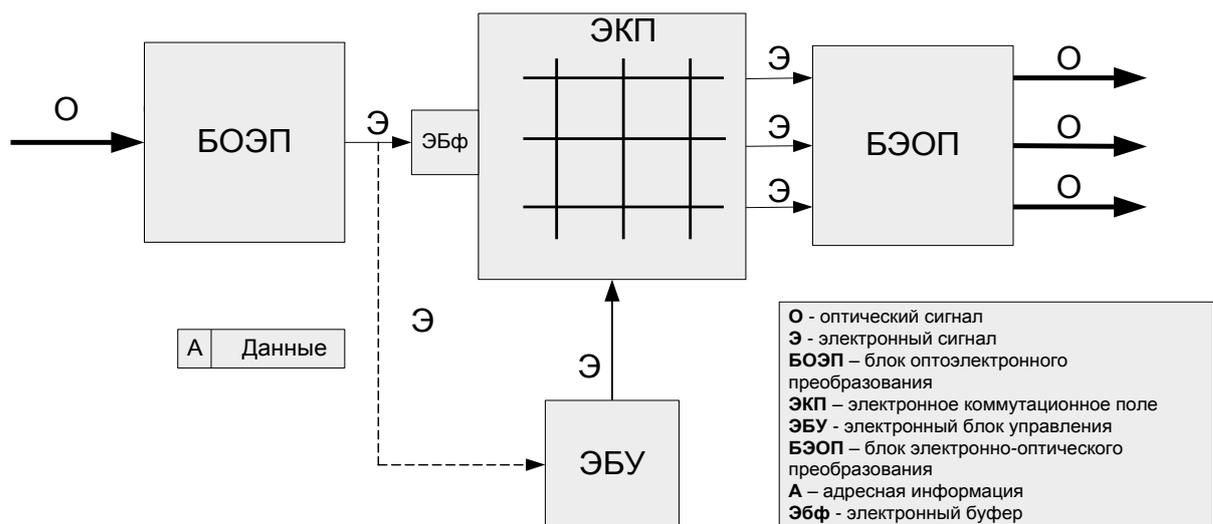


Рисунок 1 – Структурная схема O/E/O коммутатора

неизбежность внедрения таких сетей в ближайшем будущем.

Осуществление двукратного преобразования информационного сигнала существенно ограничивает пропускную способность СКОС (до 2,5 Гб/с) и характеризуется чрезмерным энергопотреблением, что повышает стоимость эксплуатации устройства. Более того, повышенное энергопотребление и наличие перекрестных помех приводит к ограничению емкости СКОС, которая в этом случае не превышает 32x32. Электронно-оптическое преобразование является сдерживающим фактором наращивания пропускной способности ТС и переход к полностью оптическим СКОС (ПОСКОС) является неотложной задачей, решение которой необходимо для реализации полностью оптических сетей в масштабах все страны.

В ПОСКОС информационный оптический сигнал (рис.2), переносящий некоторый блок информации (БИ), одновременно запоминается в оптическом буфере (ОБф) и поступает на вход оптического блока управления (ОБУ), который выполняет анализ БИ, выделяет адресную информацию и после ее обработки генерирует оптический сигнал управления оптическим коммутационным полем (ОКП). Затем оптический сигнал извлекается из ОБф и следуя по коммутационному пути поступает на выход. После усиления мощности сигнал передается по оптическому волноводу.

Несмотря на всю привлекательность полно-оптического подхода к построению коммутационных устройств, его применение вызывает ряд

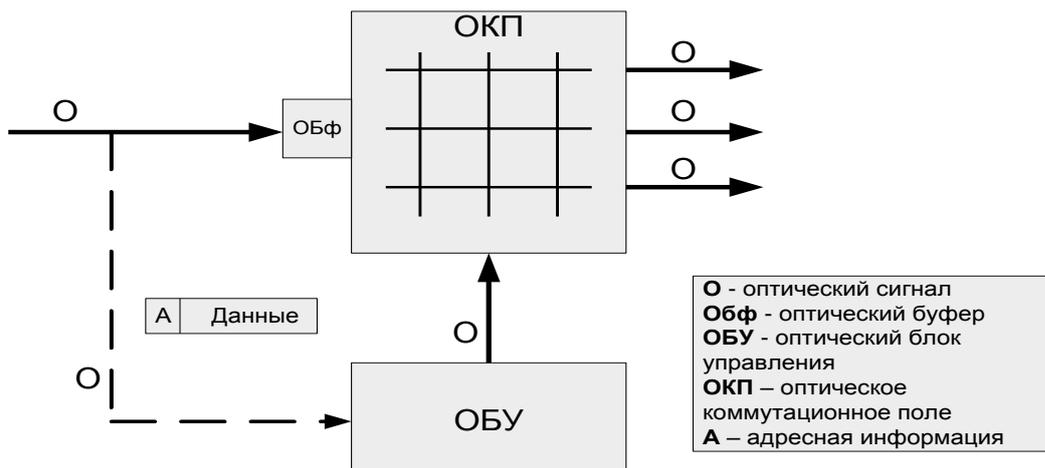


Рисунок 2 – Структурная схема полностью оптического коммутатора

сложностей. В первую очередь, это касается реализации ОБУ, использующего оптические процессоры, которые сегодня применяются в военной промышленности и ядерной энергетике, однако стоимость которых в десятки раз превышает стоимость их электронных аналогов [8]. Еще одним препятствием на пути к построению полностью оптического коммутатора является сложность создания оптического буфера с произвольным доступом (*Optical RAM*). Существующие на сегодняшний день линии оптической задержки *Fiber Delay Line (FDL)* способны накапливать оптический сигнал лишь ограниченный промежуток времени, что обуславливается чрезвычайно быстрым затуханием оптического излучения в миниатюрных петлях задержки [9].

III. ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПЕРЕНОСА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КОММУТАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В современных инфокоммуникационных технологиях метод мультиплексирования наряду с методами коммутации и пакетирования информации определяет режим переноса информации [10]. Метод позиционного мультиплексирования (ПМ) используется при канальном режиме переноса информации (РПИ), суть которого заключается в привязке соединения к определенному временному интервалу цифровой системы передачи. Позиционное мультиплексирование требует больших ресурсов, поскольку временные интервалы резервируются на все время каждого соединения.

При использовании ПИ, коммутируемая сеть образует между конечными узлами непрерывный составной физический канал из последовательно соединенных промежуточных канальных участков. Условием того, что несколько физических каналов при последовательном соединении образуют единый соединительный тракт, является равенство скоростей передачи данных (ПД) в каждом из составляющих физических каналов, что в свою очередь выдвигает требование отсутствия

буферизации передаваемых данных. Несомненными достоинствами ПИ является постоянная и заранее заданная скорость ПД по установленному между оконечными узлами соединительному тракту, а также низкий и постоянный уровень задержки передачи через сеть, что позволяет качественно предоставлять услуги реального времени (речь, видео, сигналы телеметрии). Вместе с тем ПП имеет и существенные недостатки. Во-первых, это возможность отказа в обслуживании запроса на установление соединения, возникающего вследствие перегрузки одного из промежуточных узлов либо занятости оконечного узла. Во-вторых, нерациональное использование пропускной способности соединительного тракта, резервируемой на все время соединения, и характеризуется отсутствием возможности динамического перераспределения ресурсов.

Однако достоинства и недостатки любой сетевой технологии являются относительными. В определенных ситуациях на первый план выходят достоинства, а недостатки становятся несущественными. В частности, технологии, основанные на ПП, эффективно используются при реализации телефонных соединений и передаче аналоговых видеосигналов, где нерациональное использование пропускной способности канала отходит на второй план. А вот при передаче неравномерной нагрузки компьютерных сетей вопрос рационального использования пропускной способности каналов является ключевым, что и ограничивает применение метода ПП при передаче данных.

В оптических сетях метод ПМ служит для образования высокоскоростных постоянных соединений в транспортных сетях, использующих технологии Synchronous Digital Hierarchy (SDH) и Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) для создания магистральных оптических каналов. Метод ПМ в оптических сетях получил развитие при разработке технологий λ -коммутации, базирующихся на принципах волновой конверсии и являющихся развитием концепции мультипротокольной коммутации по меткам (Multiprotocol Label Switching, MPLS) с той разницей, что вместо

метки при маршрутизации сигналов используется длина волны [11]. Таким образом, в настоящий момент существуют эффективные оптические реализации технологий передачи информации, основанных на ПМ, однако вследствие того, что они не способны обрабатывать нагрузку компьютерных сетей, доля которой с каждым годом увеличивается, возникает задача реализации оптической коммутации для технологий, использующих меточное мультиплексирование.

Меточное мультиплексирование (ММ), являющееся альтернативой позиционному, используется при пакетном, кадровом и ячеечном РПИ. Метод ММ, предусматривает программную коммутацию передаваемых сигналов, при этом осуществляется разделение имеющейся пропускной способности между несколькими соединениями без наличия у любого из них зарезервированной полосы. Метка, принадлежащая каждому блоку информации, идентифицирует соединение, что позволяет избежать поиска пакетов, кадров или ячеек, принадлежащих одному и тому же соединению.

Наиболее существенной чертой всех РПИ, основанных на ММ, является их способность эффективно использовать полосу пропускания, предоставляемую по необходимости. Недостатком меточного мультиплексирования является неопределенность скорости ПД и задержки, обусловленные зависимостью задержек блоков информации в буферах коммутаторов от общей загрузки сети, а также возможность потерь данных в результате переполнения буферов. Несмотря на это, в настоящее время технологии, основанные на ММ считаются наиболее перспективными для построения конвергентных сетей, обеспечивающих качественное предоставление широкого спектра информационно-коммуникационных услуг (ИКУ) за счет реализации методов обеспечивающих повышение качества обслуживания *Quality of Service*.

Учитывая вышеизложенное, а также, принимая во внимание проблемы построения оптического буфера и обеспечения синхронизации между заголовками информационных блоков и их полезной нагрузкой, на сегодняшний день создание полноценной ПОСКОС, реализующей технологии, основанные на пакетном, кадровом и ячеечном РПИ, не представляется экономически целесообразным. Рассмотренные недостатки, препятствующие построению ПОСКОС, реализующих рассмотренные РПИ, побуждают к поиску новых подходов к решению этой задачи. Одним из возможных вариантов является оптическая коммутация блоков информации (ОКБИ). Концепция коммутации блоков была предложена еще в 80-е годы XX века и задумывалась для коммутации речи в телефонных сетях [9]. Однако тогда её сравнительный анализ с коммутацией каналов выявил нецелесообразность перехода на ОКБИ [12]. Суть концепции ОКБИ [13-16] заключается в том, что между двумя оконечными узлами полностью оптической сети устанавливается выделенный опти-

ческий канал через всю сеть на время, достаточное для передачи оптического блока информации (несколько миллисекунд). Под блоком информации (БИ) понимается совокупность данных объемом в несколько мегабайт. Блок информации формируется на границе оптической сети и может состоять из нескольких пакетов, кадров или ячеек, передающих высококачественное изображение, короткий видеоролик, фрагмент речи и т.п. Каждый БИ пользователя предваряется собственным управляющим сообщением (рис. 3), которое передается по сети непосредственно перед передачей БИ с целью резервирования пути или оптических длин волн, подвергаясь оптоэлектронному преобразованию в каждом узле.

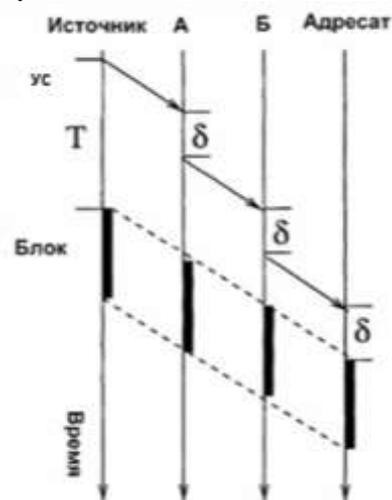


Рисунок 3 – Использование временного смещения в модели сети с ОКБ информации

В то же время сам БИ передается через временное смещение T в оптическом виде без преобразований информационного сигнала. При этом δ – это время, затрачиваемое на обработку управляющего сообщения в узле и переключение оптического коммутационного поля. Такой подход, по аналогии с предыдущим может быть назван блоковым РПИ.

В модели сети, основанной на использовании блокового РПИ, в качестве линий связи можно использовать каналы Hyper Dense Wavelength Division Multiplexing (HDWDM), позволяющие передать по одному оптическому волокну до 240 различных длин волн. При этом с помощью одной длины волны можно передавать данные со скоростью 10 Гбит/с. Это приводит к тому, что суммарная емкость одной линии связи может достигать 2,4 Тбит/с [13]. Поскольку такой объем информации невозможно обработать в электронном виде, то в узлах сети ОКБ необходимо использовать оптические коммутаторы, осуществляющие коммутацию оптического сигнала без его преобразования в электронную форму. Принципиальной особенностью модели сети с ОКБ является отсутствие оптических буферов в узлах коммутации.

В таблице 1 приведено сравнение режимов переноса информации, преобразованной в оптиче-

ский сигнал по пяти критериям: эффективность использования полосы пропускания, задержка установления соединения, требование к скорости

коммутации, накладные расходы на синхронизацию, адаптивность к различным видам нагрузки.

Таблица 1 – Сравнительная оценка режимов переноса информации

Режим переноса информации	Эффективность использования полосы пропускания	Задержка установления соединения	Требования к скорости коммутации	Накладные расходы на синхронизацию	Адаптивность к различным видам нагрузки
Канальный РПИ	Низкая	Высокая	Низкие	Низкие	Низкая
Пакетный, кадровый и ячеечный РПИ	Высокая	Низкая	Высокие	Высокие	Высокая
Блоковый РПИ	Высокая	Низкая	Средние	Низкие	Высокая

Сравнительный анализ показывает преимущество блокового РПИ при коммутации оптических сигналов над альтернативными методами, что свидетельствует об эффективности использования этого подхода при разработке модели полностью оптической сети [17].

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа принципов построения полностью оптических сетей, рассмотренных в работах автора [18-22] и особенностей режимов переноса информации с позиционным и меточным мультиплексированием предложено использовать систему с оптической коммутацией блоков информации, позволяющую осуществлять коммутацию информационного сигнала без буферизации и предварительного преобразования в электронную форму. Можно выделить следующие отличия блокового РПИ от известных аналогов:

1. Блок занимает промежуточное место между фундаментальными объектами технологий позиционного и меточного мультиплексирования (вызовом и пакетом/кадром/ячейкой).

2. При ОКБИ блок в отличие от технологии, основанных на позиционном мультиплексировании, может быть отправлен без установления соединения, что делает процесс предоставления требуемой полосы пропускания более оперативным.

3. При ОКБИ прохождение БИ через транзитные узлы осуществляется без буферизации, в то время как при ММ информационный блок сначала запоминается в памяти, а лишь затем направляется к выходному порту.

Приведенные отличия позволяют сделать вывод, что блоковый РПИ занимает промежуточное положение и представляет собой некоторый симбиоз, включающий в себя достоинства технологий, основанных на позиционном и меточном мультиплексировании. Быстродействие сети, использующей блоковый РПИ, определяется временем переключения оптического коммутационного поля, что свидетельствует о большой значимости разработки оптической коммутационной системы, обеспечивающей минимизацию времени переключения, а, следовательно, быстродействие коммутации и пропускную способность сети в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Technical information bulletin «All -Optical Networks (AON)».- Arlington, Virginia (USA). – 2000. – №00-7.
2. Гайворонская Г.С. Метод повышения быстродействия оптических коммутаторов в информационных сетях / Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // Холодильна техніка і технологія. – Одеса: ОДАХ, 2010. – №4 (126). – С. 70-72.
3. ITU-T Recommendation G.680 «Physical transfer functions of optical network elements».
4. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н.Н. Слепов // М.: Радио и связь, 2000. – 468 с.
5. Гриньков Ю.М. Применение скалярных критериев выбора для определения оптимальной коммутационной схемы системы коммутации оптических сигналов / Г.С. Гайворонская, Ю.М. Гриньков // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – ОДАХ, 2011. – №2 (124). – С. 74-82.
6. Yuri Grinkov Some Aspects of Choice of Switching Scheme for Construction of Optical Signals' Switching System / Yuri Grinkov // International Journal "Information Theories and Applications". – Sofia: ITNEA, 2012. – № 3 (Volume 19) – P. 224-231.
7. Юрий Гриньков Разработка имитационной модели для оптимизации функционирования полностью оптических сетей / Юрий Гриньков // International Journal "Information Theories and Knowledge". – Sofia: ITNEA, 2012. – № 2 (Volume 6) – P. 178-183.
8. Жувикин Г. Светит ли нам оптический компьютер? / Г. Жувикин // М.: Компьютерра. – 2003. – №2. – Режим доступа: <http://offline.computerra.ru/2000/332/287/>
9. Ершова Э. Б. К вопросу построения оптических сетей / Э.Б. Ершова, Э.М. Вакс // Спецвыпуск «Технологии информационного общества». – Москва. – 2009. – С. 14 – 18.
10. Гайворонская Г.С. Проводные информационные технологии: учебное пособие / Г.С. Гайворонская // Одесса. – ОДАХ. – 2006. – 108 с
11. Бараш Л. Мультипротокольная лямбда-коммутация / Л.Бараш // Киев. - Компьютерное

-
- обозрение. – 2001. – №4 – Режим доступа: http://itc.ua/articles/multiprotokolnaya_lyambda-kommutaciya_5139
12. Гольшко А.В. Оптическая коммутация блоков / А.В. Гольшко, Н.А. Лескова // Сети и системы связи. — 2001. — №8. — С.41-42
13. Ганьжа Д. Полностью оптические сети / Д. Ганьжа // Открытые системы. - 2000. - № 4. — С.36-38
14. Jason P. Jue Optical Burst Switched Networks / Jue P. Jason, Vinod M. Vokkarane // Boston. – 2005. – 147 p.
15. Verma S. Optical burst switching: a viable solution for terabit IP backbone / S. Verma, H. Chaskar, R. Ravikanth // IEEE Network. - 14(6). – November. – 2000. – P.48–53
16. Ramaswami R. Optical Networks: A Practical Perspective / R. Ramaswami, K.N. Sivarajan // Morgan Kaufmann Publishers. – 1998. – P.15-17
17. Qiao C. Optical burst switching (OBS) - a new paradigm for an optical Internet / C. Qiao, M. Yoo // Journal of High Speed Networks. – 8(1). – January. – 1999. – P. 69-84.
18. Гайворонская Г.С. Коммутаторы оптических сигналов / Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – 2009. – №2 (118). – С.55-59.
19. Gayvoronska G.S. Features of optical switches' usage in the modern information networks / G.S. Gayvoronska, A.V. Ryabtsov//Applicable Information Models. – Sofia: ITNEA, 2011. – № 22. – P. 169-181.
20. Гайворонская Г.С. Методы и средства коммутации оптических сигналов в информационных сетях/Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – ОДАХ, 2010. – №2 (124). – С. 74-82
21. Гайворонская Г.С. Феноменологическая модель полностью оптического коммутатора с оптической адресацией/Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов//Вісник ДУІКТ. – 2012. – №1. – С. 50-54
22. Гайворонская Г.С. Новый подход к построению структуры коммутаторов оптических сигналов / Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // Вісник ДУІКТ. – 2012. – №3. – С. 43-47

Отримана в редакції 21.04.2015, прийнята до друку 03.07.2015

FEATURES SWITCHING OF OPTICAL SIGNALS USING DIFFERENT MODES OF INFORMATION TRANSFER

In work the analysis of switching optical signals with electrical and optical control and requirements for switching systems that provide increased bandwidth telecommunication network. The model is considered and methods of implementing all-optical switching, do not use electro-optical and optoelectronic conversion of the information signal and does not require buffering of optical signals in all-optical switching device. Evaluated the feasibility of using different modes of information transfer for switching optical signals. The advantages and disadvantages of the methods label and position multiplexing. Describes a model of optical network with all-optical switching blocks of information. Expediency is proved to use for the task of block mode transfer information.

Keywords: all-optical network, the transfer mode information, and multiplexing.

REFERENCES

1. Technical information bulletin «All-Optical Networks (AON)».- Arlington, Virginia (USA). – 2000. – № 00-7.
2. Gayvoronska G.S. Method of improving the performance of optical switches in the information networks / G.S. Gayvoronska, A.V. Ryabtsov // Refrigeration equipment and technology. – Odessa. – OSAR, 2010. – №4 (126). – S. 70-72. (in Russian)
3. ITU-T Recommendation G. 680 «Physical transfer functions of optical network elements».
4. Slepov N.N. Modern technologies for digital fiber optic communication networks / N.N. Slepov // M.: Radio and communication, 2000. – 468 p. (in Russian)
5. Grinkov Y.M. The use of scalar criteria of choice for determining the optimal switching network system switching optical signals / G.S. Gayvoronska, Y.M. Grinkov // Refrigeration equipment and technology. OSAR, 2011. – №2 (124). – P. 74-82. (in Russian)
6. Yuri Grinkov Some Aspects of Choice of Switching Scheme for Construction of Optical Signals' Switching System Y. Grinkov //International Journal "Information Theories and Applications". – Sofia: ITHEA, 2012. – № 3 (Volume 19) – P. 224-231.
7. Yuri Grinkov Development of simulation models for optimizing the operation of all-optical networks / Yuri Grinkov // International Journal "Information Theories and Knowledge". – Sofia: ITHEA, 2012. – № 2 (Volume 6) – P. 178-183. (in Russian)
8. Goviken G. Shines for us optical computer? / G. Goviken // M.: – 2003. – № 2. – Access mode: <http://offline.computerra.ru/2000/332/2877/> (in Russian)
9. Yershov E.B. To the question of construction of optical networks / E.B. Ershov, E.M. Vaks // Special issue "information society Technologies". – Moscow. – 2009. – p. 14 – 18. (in Russian)
10. G.S. Gayvoronska Wired information technology: textbook / G.S. Gayvoronska // Odessa. – 2006. – 108 (in Russian)
11. Barash L. Multi-Protocol lambda switching // Kiev. - Computer review. – 2001. – № 4 –access mode: http://itc.ua/articles/multiprotokolnaya_lambdakommutaciya_5139 (in Russian)
12. Golyshko A.V. Optical switching units / A.V. Golyshko, N. And. Leskov // Networks and communication systems. — 2001. — № 8. — P. 41-42 (in Russian)
13. Ganzha D. All-optical networks / D. Ganzha // Open systems.- 2000. - № 4. – P. 36-38 (in Russian)
14. Jason P. Jue, Optical Burst Switched Networks / By Jason P. Jue, Vinod M. Vokkarane // Boston. – 2005. – 147 p.
15. Verma S. Optical burst switching: a viable solution for terabit IP backbone / S. Verma, H. Chaskar, R. Ravikanth // IEEE Network. - 14(6). – November. – 2000. – P. 48–53
16. R. Ramaswami Optical Networks: A Practical Perspective / Ramaswami R., Sivarajan K. N. // Morgan Kaufmann Publishers. – 1998. – P. 15-17
17. C. Qiao, Optical burst switching (OBS) - a new paradigm for an optical Internet / C. Qiao, M. Yoo // Journal of High Speed Networks. – 8(1). – January. – 1999. – P. 69-84.
18. G.S. Gayvoronska Switches optical signals / G.S. Gayvoronska, A.V. Ryabtsov // Refrigeration equipment and technology. – Odessa. – OSAR, 2009. – №2 (118). – S. 55-59. (in Russian)
19. Gayvoronska G.S. Features of optical switches' usage in the modern information networks / G.S. Gayvoronska, A.V. Ryabtsov // Applicable Information Models. – Sofia: ITHEA, 2011. – № 22. – P. 169-181.
20. Gayvoronska G.S. Methods and devices for switching optical signals in information networks/ G.S. Gayvoronska, A.V. Ryabtsov // Refrigeration equipment and technology. – Odessa. – OSAR, 2010. – №2 (124). – P. 74-82 (in Russian)
21. G.S. Gayvoronska Phenomenological model of all-optical switch with optical addressing/ G.S. Gayvoronska, A.V. Ryabtsov // Visnyk SUICT. – 2012. – № 1. – S. 50-54 (in Russian)
22. Gayvoronska G.S. New approach to the construction of the structure switches optical signals / G.S. Gayvoronska, A.V. Ryabtsov // Visnyk SUICT. – 2012. – № 3. – P. 43-47 (in Russian)