

УДК 681.7.068

Розорин Г. Н., докт. техн. наук., проф. (Тел.: +380 44 249 29 27. E-mail: rozoryn@gmail.com)

Платоненко А. В., аспирант (Тел.: +380 44 249 29 29. E-mail: platonenko.artem@gmail.com)

(Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев)

ПАССИВНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СЕТЬ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Розорин Г. М., Платоненко А. В. Пасивна оптична мережа з кодовим розділенням каналів. Розглядається пасивна оптична мережа з кодовим розділенням каналів, що використовує коди виправлення помилок. Пасивна оптична мережа включає множину оптичних мережевих модулів і центральний офіс. Розроблений варіант модифікації пасивної оптичної мережі зв'язку з оптичним багатостанційним доступом і кодовим розділенням каналів. Показано, що введення в таку систему кодів, контролюючих помилки, дозволяє не лише зменшити вірогідність появи помилок при передачі інформації, але й істотно понизити рівень оптичного інтерференційного шуму.

Ключові слова: пасивна оптична мережа, оптичний мережевий модуль, колективний доступ, кодове розділення каналів, інтерференційний шум

Розорин Г. Н., Платоненко А. В. Пассивная оптическая сеть с кодовым разделением каналов. Рассматривается пассивная оптическая сеть с кодовым разделением каналов, использующая коды исправления ошибок. Пассивная оптическая сеть включает множество оптических сетевых модулей и центральный офис. Разработан вариант модификации пассивной оптической сети связи с оптическим многостанционным доступом и кодовым разделением каналов. Показано, что введение в такую систему кодов, контролирующей ошибки, позволяет не только уменьшить вероятность появления ошибок при передаче информации, но и существенно снизить уровень оптического интерференционного шума.

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть, оптический сетевой модуль, коллективный доступ, кодовое разделение каналов, интерференционный шум

Rozorynov G. N., Platonenko A. V. A passive optical network with the code demultiplexing. A passive optical network is examined with the code demultiplexing, using error correction codes. A passive optical network includes the great number of the optical network units and central office. The modification variant of passive optical communication network is worked out with optical multiunit access and code demultiplexing. It is shown that introduction to such system of controlling codes allows not only to decrease probability of appearance of errors at an information transfer but also substantially to bring down the level of optical interference noise.

Keywords: passive optical network, optical network unit, multiple access, code demultiplexing, interference noise

Вступление. Потребность в увеличении пропускной способности сетей связи удваивается каждый год, и этот темп вряд ли замедлится в ближайшее время. Кроме того, эта потребность все шире распространяется географически. Снижение цен поставщиками, ослабление монопольных позиций государства в телекоммуникациях и неослабевающий интерес к использованию Интернета приводят только к увеличению спроса на скорость передачи. Во многих случаях благодаря применению современных цифровых технологий пропускная способность оптической линии связи может быть увеличена в сотни раз. Впечатляющий рост пропускной способности достигается при увеличении скорости передачи данных в каждом канале [1].

Переход к широкополосным сигналам при построении систем связи различного назначения идет по пути внедрения цифровых методов передачи информации. Это объясняется в основном хорошей электромагнитной совместимостью таких сигналов, что в условиях постоянного роста потребности в услугах связи и жесткого ограничения частотного ресурса приводит к необходимости более эффективного использования этого ценного национального достояния.

Применение широкополосных сигналов базируется на технологии CDMA (Code Division Multiple Access) – кодовом разделении сигналов (каналов). Эта технология позволяет

использовать уже занятые частотные диапазоны, обеспечивая условия полной электромагнитной совместимости [2]. Наряду с этим, достоинствами систем с широкополосными сигналами являются их помехозащищенность и большая пропускная способность.

Пассивная оптическая сеть. Пассивная оптическая сеть (Passive Optical Network – PON) не имеет никакого активного оборудования, кроме терминального оборудования сети за ее пределами. Активная оптическая сеть (Active Optical Network – AON) нуждается в активном оборудовании внутри сети. Пассивная оптическая сеть дешевле реализуется и легче поддерживается по сравнению с активной оптической сетью.

Как правило, пассивные оптические сети реализуются в конфигурациях “звезда”, “шина” и “точка-точка”. Сеть “точка-точка” соединяет центральный офис и каждого абонента. При этом не требуется различия протоколов между абонентами. Однако, начальная прокладка сети “точка-точка” стоит очень дорого. Кроме того, необходимо физически создать каждую абонентскую оптическую линию. Сети типа “звезда” или “шина” требуют применения отдельного протокола или отдельного физического метода различения абонентов. Но сети “звезда” и “шина” обладают многими дополнительными преимуществами, а также требуют меньших затрат на начальную прокладку.

В частности, пассивные оптические сети Ethernet, которые широко используются для сетей локального доступа (Local Access Network – LAN), могут быть конфигурированы как звезда или шина. Поэтому стоимость начальной прокладки пассивной оптической сети Ethernet мала и приемлема для многих абонентов. Помимо этого, абонентам предлагаются PON с использованием технологии ATM (Asynchronous Transmission Multiplexing) и беспроводной технологии.

Оптические сети связи вида “звезды” или “шины” содержат ряд ограничений для восходящего потока информации. Обычно при нисходящей передаче, центральный офис передает радиовещательную информацию ко всем абонентам, и каждый абонент получает только его собственную информацию. Однако, восходящая информация требует наличия средств различения абонентов, так как центральный офис объединяет данные от многих абонентов. Это такие средства как TDMA (Time Division Multiple Access), WDMA (Wavelength Division Multiple Access) и CDMA [3].

Метод временного разделения данных TDMA предоставляет возможность каждому абоненту послать их собственную информацию в течение заранее определенного промежутка времени. Этот метод реализуется путем применения дешевого излучателя типа лазерного диода Fabry-Perot (FP-LD). Однако, для центрального офиса требуется приемник, работающий в пакетном режиме. Приемник, работающий в пакетном режиме – аппаратура для приема прерывистых оптических сигналов. Прерывистые оптические сигналы имеют интенсивности, которые сильно изменяются из-за различий в физических расстояниях и сигнальных потерь в абонентских линиях. Обычно, довольно трудно реализовать большую скорость приема данных в пакетном режиме.

WDM режим предоставляет возможность каждому абоненту использовать излучатель с отличной от других абонентов длиной волны. То есть, центральный офис различает каждого абонента по длине волны. Соответственно, WDM не имеет оптического интерференционного шума, который возникает, когда сигналы от множества излучателей, с одинаковой или близкой длиной волны попадают на один приемник. Однако для реализации WDM необходимы дорогие источники излучения. Кроме того, для WDM режима требуются средства стабилизации длин волн.

Еще один режим – CDMA предоставляет возможность абонентам использовать различные коды. Этот режим позволяет устранить интерференцию сигналов от других абонентов с помощью ортогонального кода, а также отличить абонентов.

На Рис. 1 показана традиционная пассивная оптическая сеть. Она включает в себя центральный офис 1, множество оптических сетевых терминалов ONU 2 и оптические соединители 3, 4.

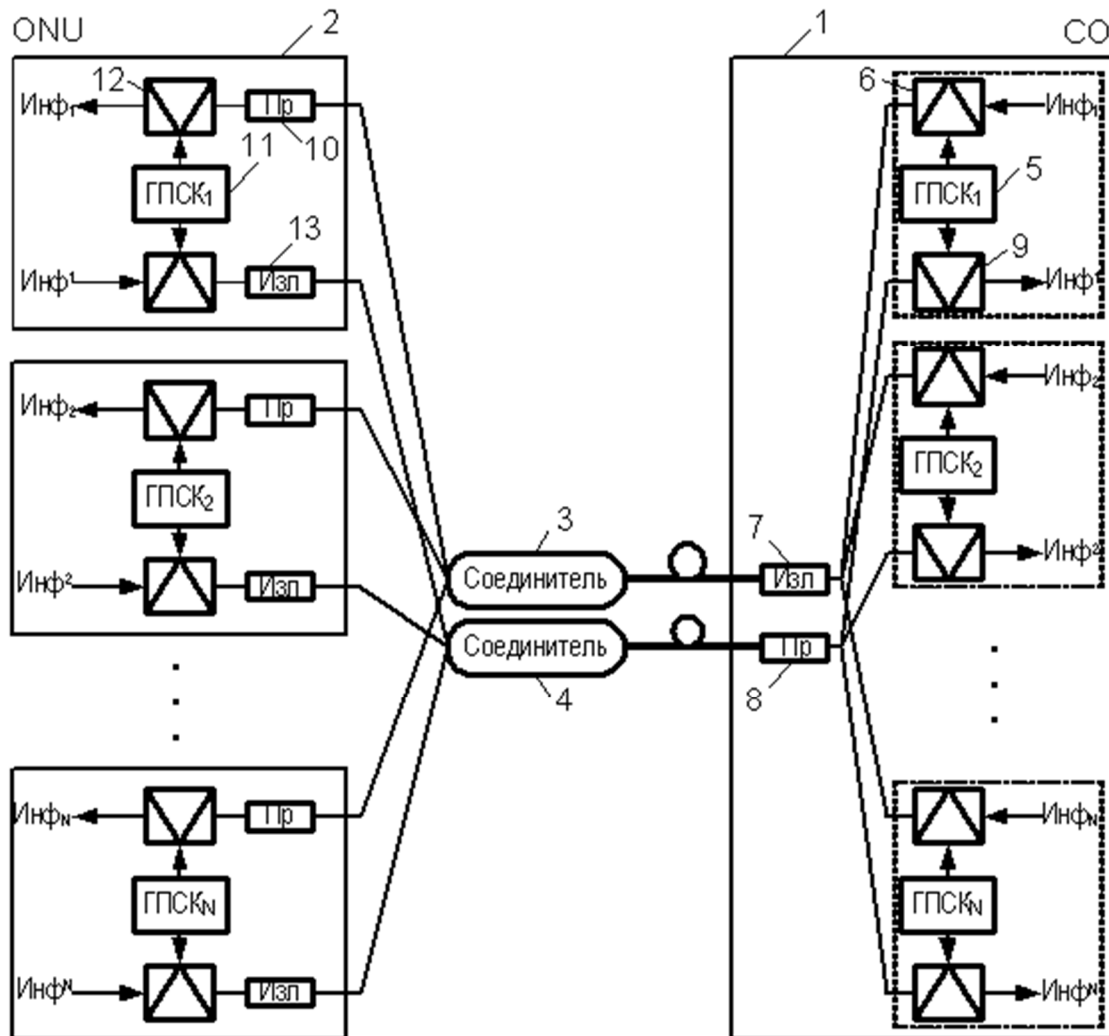


Рис. 1. Традиционная CDMA пассивная оптическая сеть

Центральный офис 1 включает в себя блоки формирования нисходящего и восходящего потоков.

Блок формирования нисходящего потока состоит из генератора псевдослучайного кода (ГПСК) 5, CDMA кодера 6, объединителя электрических сигналов и источника 7 излучения сигнала нисходящего потока. ГПСК 5 формирует псевдослучайные коды для каждого абонента. CDMA кодер 6 выполняет кодовое разделение сигналов с помощью псевдослучайных кодов. Объединитель соединяет множество псевдослучайных кодов в единый поток.

Блок формирования восходящего потока включает в себя фотоэлектрический преобразователь 8, разъединитель электрического сигнала, ГПСК 5 и декодер CDMA 9.

Множество оптических сетевых терминалов ONU 2 включает в себя блоки формирования нисходящих и восходящих потоков. Блок формирования нисходящего потока ONU состоит из фотоэлектрического преобразователя 10, ГПСК 11, и CDMA кодера 12, который выполняет кодовое разделение электрических сигналов от фотоэлектрических преобразователей 10 с помощью сигналов ГПСК 11. Восходящий поток передается в линию излучателем 13.

Как показано на Рис. 1 CDMA-PON использует различные псевдослучайные коды для каждого абонента. Кроме того, центральный офис CDMA-PON декодирует сигналы, содержащие псевдослучайные коды, предназначенные для каждого абонента.

CDMA-PON не требует приемника, работающего в пакетном режиме, как в TDMA-PON, или дорогого излучателя – DFB лазера (Distributed Feed Back – лазера с распределенной обратной связью), как в WDMA-PON.

Однако, при использовании недорогих излучателей качество сигналов всегда ухудшается из-за оптического шума, вследствие интерференции сигналов. Оптический интерференционный шум возникает, когда сигналы от нескольких излучателей, работающих на одинаковых или близких длинах волн поступают на один оптический приемник, как показано на Рис. 2.

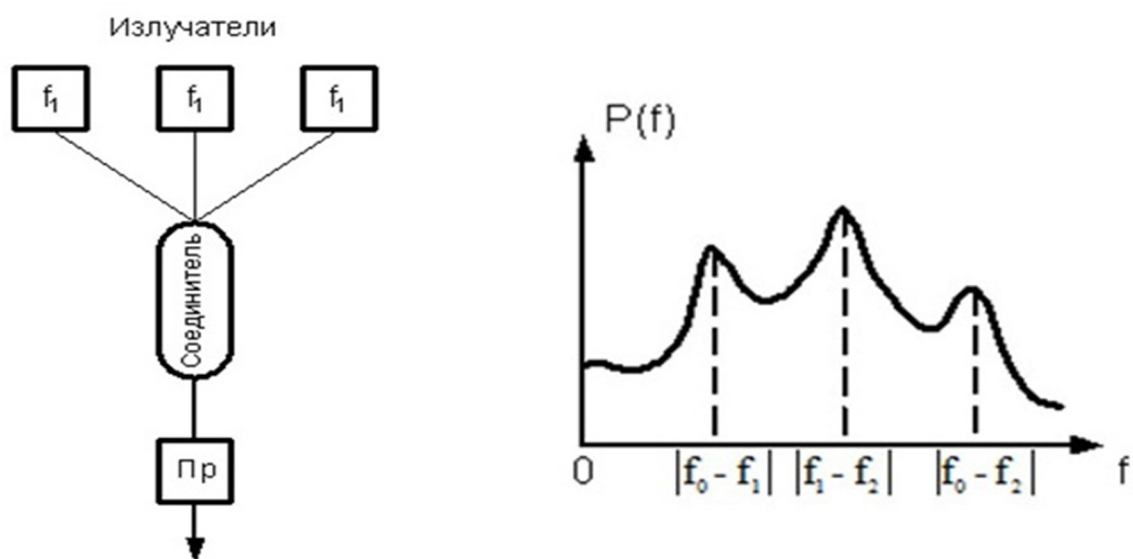


Рис. 2. Оптическая интерференция в CDMA-PON

Оптические сигналы с частотами f_0 , f_1 и f_2 , попадающие на один приемник, интерферируют в частотных диапазонах $|f_0 - f_1|$, $|f_1 - f_2|$ и $|f_0 - f_2|$, соответствующих разностям между частотами оптических сигналов.

Так как в CDMA-PON длина волны излучателя не контролируется, ситуация, показанная на Рис. 2 вполне возможна и приводит к ухудшению качества передаваемых оптических сигналов. Вообще, ухудшение качества сигнала вследствие оптического интерференционного шума в большей или меньшей степени устраняется в течение процедуры детектирования кодов. Это происходит потому, что коды, используемые в CDMA, не только отличаются для каждого абонента, но и защищают от оптического интерференционного шума.

Так как сигналы коррелированы с псевдослучайными кодами, используемыми в процессе детектирования, то они полностью восстанавливаются. Напротив, оптический интерференционный шум не имеет никакой корреляции с псевдослучайными кодами, поэтому он в значительной степени ослабляется во время детектирования. При этом уровень устраняемого шума пропорционален отношению скорости передачи сигналов к скорости передачи шума. Уровень устраняемого шума называют выигрышем от обработки.

Таким образом, пассивная оптическая сеть, использующая метод CDMA, не только идентифицирует каждого абонента, но и преодолевает оптический интерференционный шум.

Вероятность того, что частота одного излучателя близка к частоте другого излучателя, пропорциональна числу абонентов. Таким образом, преимущество от обработки тем больше,

чем выше качество сигналов. Чтобы увеличить преимущество от обработки, скорость передачи кодов должна быть увеличена или скорость передачи от каждого абонента должна быть уменьшена. Соответственно, в традиционной CDMAPON, увеличение числа абонентов требует повышения производительности системы, чтобы сильно ограничить оптический интерференционный шум. Тогда CDMAPON будет иметь выигрыш от обработки. А именно, скорость передачи от каждого абонента должна быть понижена для того, чтобы обеспечить больший выигрыш от обработки, а значит, максимальная скорость передачи от каждого ONU должна быть ограничена. Кроме того, так как при увеличении числа абонентов, преимущество от обработки уменьшается, то число ONU, которые могут быть соединены в единую звезду, сильно ограничено. Далее будет рассмотрен возможный вариант устранения описанных проблем.

Модифицированная пассивная оптическая сеть. Для решения поставленной задачи целесообразно воспользоваться кодами, контролирующими ошибки, которые дополнительно уменьшают воздействие оптического интерференционного шума, а также ограничить уровень оптического интерференционного шума, управляя излучателем ONU в соответствии с функцией детектирования ошибок. Коды исправления ошибок добавляются к данным при передаче и обнаруживаются при приеме. Кроме того, коды, контролирующие ошибки могут исправлять большие пакеты ошибок данных. Например, код Рида-Соломона, занимающий 7% от объема общих данных, обеспечивает вероятность ошибок на уровне 10^{-12} при вероятности ошибок в канале передачи без коррекции ошибок 10^{-4} .

Структурная схема такой CDMAPON показана на Рис. 3.

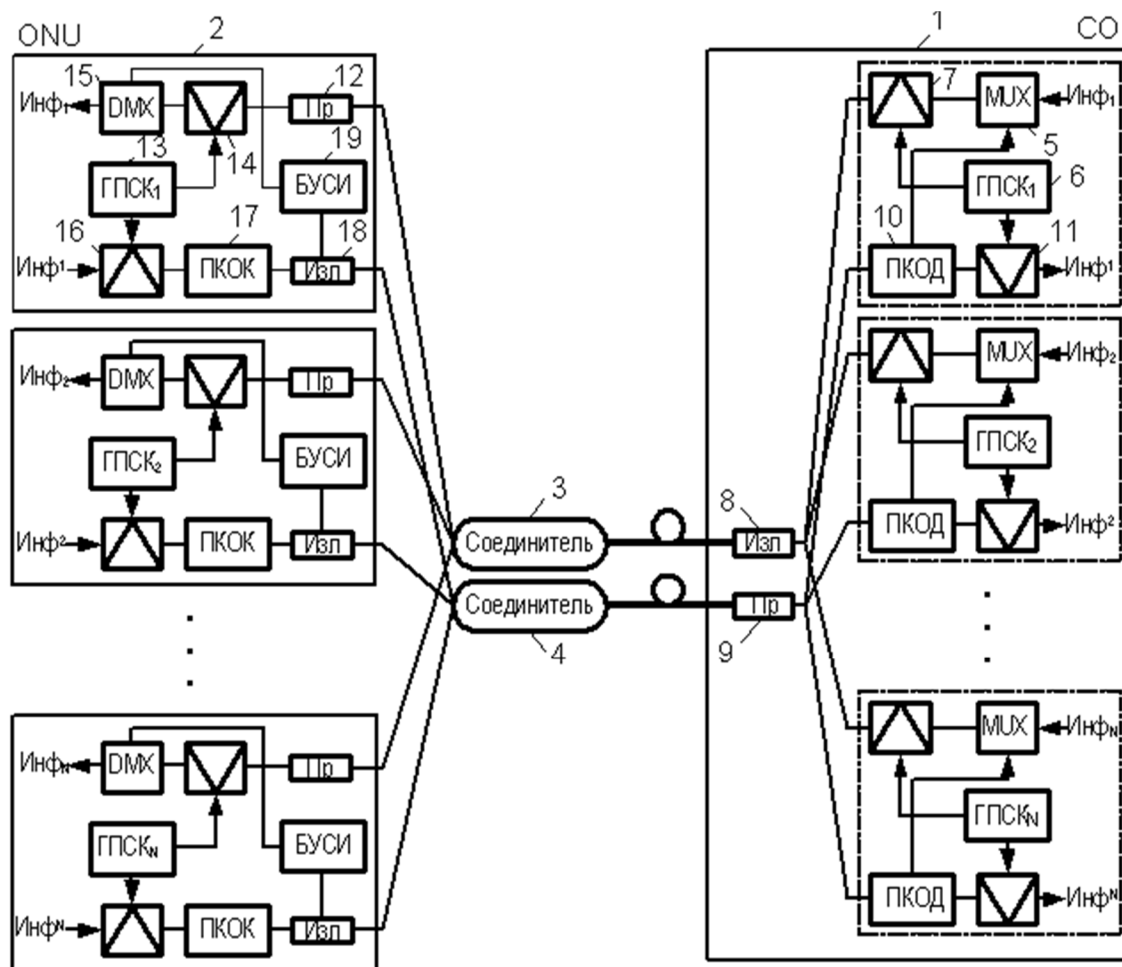


Рис. 3. Модифицированная CDMA пассивная оптическая сеть

Оптическая сеть включает центральный офис 1, ONU 2 и оптические соединители 3, 4.

Центральный офис 1 состоит из блока обработки восходящего сигнала и блока обработки нисходящего сигнала. В свою очередь, блок обработки нисходящего сигнала включает в себя мультиплексор 5, генератор псевдослучайного кода 6, кодер разделителя кодов 7, объединитель электрических сигналов и излучатель 8. Мультиплексор 5 распределяет нисходящие сигналы и сигналы ошибок, вырабатываемые блоком контроля ошибок. Кодер разделителя кодов 7 управляется с помощью генератора псевдослучайного кода 6. Далее сигналы объединяются и передаются в линию излучателем 8.

Блок обработки восходящего сигнала состоит из фотоэлектрического преобразователя 9, разделителя электрических сигналов, генератора псевдослучайного кода 6, демодулятора сигнала прямой коррекции ошибок 10 и декодера разделителя кодов 11.

ONU 2 включает блок обработки нисходящего сигнала и блок обработки восходящего сигнала.

Блок обработки нисходящего сигнала содержит фотоэлектрический преобразователь 12, генератор псевдослучайного кода 13, декодер разделителя кодов 14, и демультиплексор 15. Декодер 14 управляется генератором 13. Блок обработки восходящего сигнала содержит кодер разделителя кодов 16, модулятор сигнала прямой коррекции ошибок 17, излучатель 18 и блок управления смещением излучателя 19.

Передаваемый нисходящий сигнал, например Инф_1 , мультиплексируется с сигналом ошибки, вырабатываемым демодулятором сигнала прямой коррекции ошибок (ПКОД) 10 в мультиплексоре 5 центрального офиса 1. Мультиплексный сигнал содержит коды, предназначенные каждому абоненту.

Излучатель 8 нисходящего сигнала преобразует электрический кодированный сигнал в оптический сигнал. Этот сигнал через оптическое волокно передается на оптический соединитель 3. От соединителя 3 линия разветвляется к каждому абоненту.

Каждый ONU сети 2 принимает оптический сигнал от центрального офиса 1 с помощью фотоэлектрического преобразователя 12. Он также детектирует кодовые сигналы, предназначенные для каждого абонента, с помощью ГПСК 13. Детектированный сигнал включает нисходящий сигнал и сигнал ошибки. Детектированный сигнал разделяется на нисходящий сигнал и сигнал ошибки демультиплексором 15. Сигнал ошибки передается посредством блока управления смещением излучателя (БУСИ) 19 в излучатель восходящего сигнала 18.

Восходящий сигнальный поток Инф_1 формируется следующим образом. Вначале с помощью кодера 16 и генератора 13 вырабатываются кодовые комбинации для каждого абонента, а затем в них вводится корректирующий код посредством кодера ПКОК 17. Полученные данные поступают на излучатель 18, преобразуются в оптический сигнал и передаются в оптический соединитель 4. После прохождения по оптической линии сигнальный поток преобразуется фотоэлектрическим преобразователем 9 в электрические сигналы, которые распараллеливаются и идентифицируются для каждого абонента. Для этого также используется генератор псевдослучайного кода ГПСК 6. Перед операцией выделения кода абонента детектируются ошибки передачи с помощью декодера ПКОД 10, а информация об этих ошибках передается в мультиплексор 5, который управляет нисходящим сигнальным потоком.

Режим CDMA и корректирующие коды могут уменьшать число сигнальных ошибок, обусловленных шумами (входным аппаратурным шумом, оптическим интерференционным шумом, и др.), возникающими при восходящей передаче. В качестве корректирующих могут использоваться коды Рида-Соломона, БЧХ, турбо коды, и др. Для того, чтобы устранить искажения, связанные с возможной генерацией близких или одинаковых длин волн, излучатели 18 управляются БУСИ 19. Для этого используется информация об ошибках,

которая вырабатывается в центральном офисе 1 при детектировании корректирующих кодов и управлении качеством восходящих сигнальных потоков. Центральный офис 1 передает информацию об ошибках в каждый ONU 2 при нисходящей передаче. Каждый ONU 2, получая информацию об ошибках, определяет степень ухудшения качества сигнала. То есть ONU могут управлять частотами восходящих сигнальных потоков. Как показано на рис. 3 каждый ONU отдельно детектирует нисходящие сигналы и ошибки с помощью демультимплексов 15.

Информация об ошибках используется для управления оптической частотой излучателя 18 путем изменения его тока смещения посредством БУСИ 19. Обычно DFB лазер имеет коэффициент изменения оптической частоты соответствующий изменениям тока от 0,2 ГГц/мА до 5 ГГц/мА. Оптическая частота излучателей 18 изменяется в диапазоне от нескольких дБ до десятков дБ при значении силы тока 10 мА. Поэтому оптический интерференционный шум можно снижать, управляя силой тока. Конечно, при этом возможно применение различных алгоритмов такого управления.

Выводы. Усовершенствована пассивная оптическая сеть связи с оптическим многостанционным доступом и кодовым разделением каналов. Показано, что введение в такую систему кодов, контролирующую ошибки позволяет не только уменьшить вероятность появления ошибок при передаче информации, но и существенно снизить уровень оптического интерференционного шума.

Литература

1. Урядников Ю. Ф. Сверхширокополосная связь. Теория и применение / Ю. Ф. Урядников, С. С. Аджемов. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2005. – 368 с.
2. Zhang Chang-fu. 2,5 Гбит/с система связи с оптическим многостанционным доступом и кодовым разделением каналов / Zhang Chang-fu, Qiu Kun, Qiu Qi // *Semiconduct. Optoelectron.* – 2005. – Т. 26, № 1. – С. 47-49.
3. European Patent № 1508989 A2. Int. Cl. H04L 1/00. Passive optical network using error correction code / Kim Hoon, Hwang Seong-Taek. – 2005.02.23. – Priority: 2003.08.21 KR 2003058024.
4. Султанов А. Х. Волоконно-оптические системы передачи: вопросы оценки работоспособности / А. Х. Султанов, Р. Г. Усманов, И. А. Шарифгалиев, И. Л. Виноградова. – Москва : Радио и связь, 2005. – 372 с.
5. Свинцов А. Г. Оптимизация параметров оптического рефлектометра для обнаружения неоднородности при попытке несанкционированного доступа в ВОЛС / А. Г. Свинцов // «Фотон-Экспресс» Наука. – 2006. – №6. – С. 56-71.
6. Джиган В. И. Рефлектометр на основе непрерывного сигнала для тестирования кабелей цифровых абонентских линий (xDSL) / В. И. Джиган, А. Б. Кочеров // *Электросвязь.* – 2006. – №3. – С. 40-43.
7. Листвин А. В. Рефлектометрия оптических волокон / А. В. Листвин, В. Н. Листвин. – Москва : ЛЕСАРпт, 2005. – 208 с.

Дата надходження в редакцію: 18.09.2014 р.

Рецензент: д.т.н. Манько О. О.