Мониторинг исправности оптоволоконного кабеля

Первый вариант

Для оперативного обнаружения обрыва оптоволоконного кабеля длиной, например, 100 км, в нём выделена одна или несколько жил (Рис. 1), [1]. На дальней стороне линии к выделенной жиле подключён отрезок легированного эрбием оптического волокна длиной порядка нескольких метров. Этот отрезок выполняет роль генератора спонтанного излучения с длиной волны $\lambda 2$ = 1530 нм под действием излучения накачки с длиной волны $\lambda 1$ =1480 нм со стороны лазерного диода. Спонтанное излучение непрерывно регистрируется фотодиодом приёмника, и в случае исчезновения сигнала S констатируется обрыв линии.

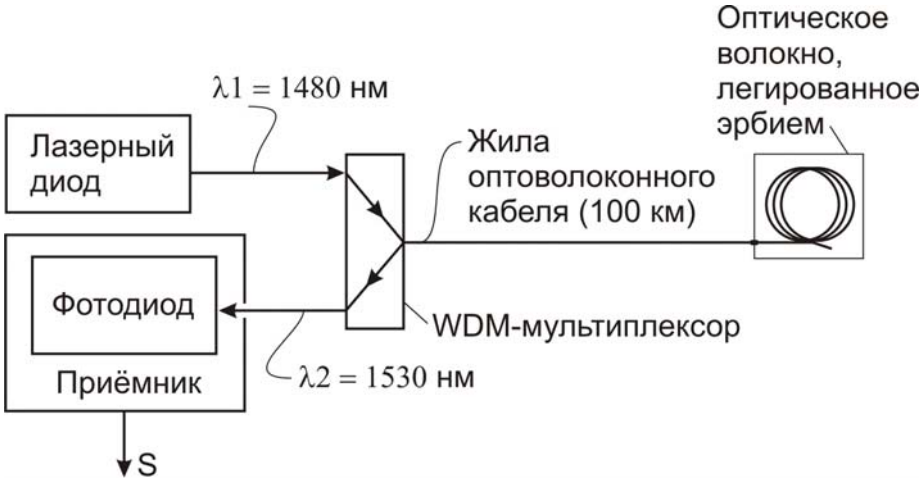

Рис. 1. Схема мониторинга целостности оптоволоконного кабеля

Спонтанное излучение возникает при самопроизвольных переходах атомов эрбия из возбуждённого в невозбужденное состояние. Напомним, что оптическое волокно, легированное эрбием, под действием излучения накачки представляет собой среду усиления сигналов данных [3]. Однако в данном случае эта среда «предоставлена самой себе», так как сигналов данных нет.

Возбуждённое состояние атома не может длиться в среднем более десятка миллисекунд, поэтому атом рано или поздно самопроизвольно переходит в низкоэнергетическое состояние, излучая фотон с длиной волны $\lambda 2$. Затем под действием фотона накачки с более короткой длиной волны $\lambda 1$ он снова переходит в возбуждённое состояние и т. д.

В схеме использован WDM-мультиплексор. Через него можно также передавать на дальнюю сторону и обратно сигналы данных, не совпадающие по длинам волн с сигналами мониторинга.

Второй вариант

Система, показанная на Рис. 2 [2], позволяет одновременно с передачей «полезных» данных осуществлять непрерывный контроль качества линий связи.

Система содержит оконечные узлы A и B, между которыми осуществляется обмен данными. Канал связи между этими узлами содержит две однонаправленные линии L1 и L2. По линии L1 данные передаются из узла A в узел B, по линии L2 — в противоположную сторону. В канал связи, точнее, в разрывы линий L1 и L2, введены N ретрансляторов R1 — RN для восстановления уровня сигналов по мере их затухания при распространении в ту или иную сторону.

Узлы A и B содержат «обычную» аппаратуру передачи и приёма данных (передатчики Tx1, Tx3, приёмники Rx1, Rx3) и блоки контроля (мониторинга линий) на основе передатчиков Tx2, Tx4 и приёмников Rx2 и Rx4. Передача полезных данных из узла A в узел B и обратно осуществляется оптическими сигналами с длинами волн, соответственно равными λ1 и λ2.

Непрерывный мониторинг линии L1 блоком контроля, расположенным в узле A, проводится одновременно и независимо от передачи полезных данных в обе стороны. При этом используется принцип рефлектометра: тестовый (зондирующий) световой импульс с длиной волны λ3 посылается в эту линию передатчиком Tx2 и после отражения от неоднородности (если она есть) возвращается в приёмник Rx2 по линии L2. Сопоставляя положение во времени тестового и отражённого импульсов, можно определить расстояние до неоднородности, вызванной, например, ухудшением качества разъёмного соединения.

Аналогично осуществляется мониторинг линии L2. Для этого используется блок контроля, расположенный в узле B и содержащий передатчик Tx4 и приёмник Rx4. Тестовый и отражённый световые импульсы имеют длину волны λ4.

В системе также использованы:

- WDM мультиплексоры — демультиплексоры M1 — M8 (для краткости — мультиплексоры), которые объединяют — разделяют сигналы с разными длинами волн. Отметим, что мультиплексоры M1, M3 — M6, M8 могут быть заменены простыми «всеволновыми» сумматорами световых потоков;
- оптические усилители A1 — A4, выполненные, например, на основе легированного эрбием оптического волокна (схемы накачки не показаны);
- оптические циркуляторы C1 — C4;
- фильтры G1 — G4 на основе решёток Брэгга, настроенные на длины волн λ3 (фильтры G2 и G4) и λ4 (фильтры G1 и G3).

Передача полезных данных из узла A в узел B осуществляется на длине волны λ1 по цепи из элементов и устройств:
Tx1 → M1 → L1 → M3 → A1 → C1 → L1 → R2 → L1 → R(N – 1) → L1 → M5 → A3 → C3 → L1 → M7 → Rx3.

Аналогично данные из узла B в узел A передаются на длине волны λ2 по цепи:
Tx3 → M8 → L2 → M6 → A4 → C4 → L2 → R(N – 1) → L2 → R2→ L2 → M4 → A2 → C2 → L2 → M2 → Rx1.

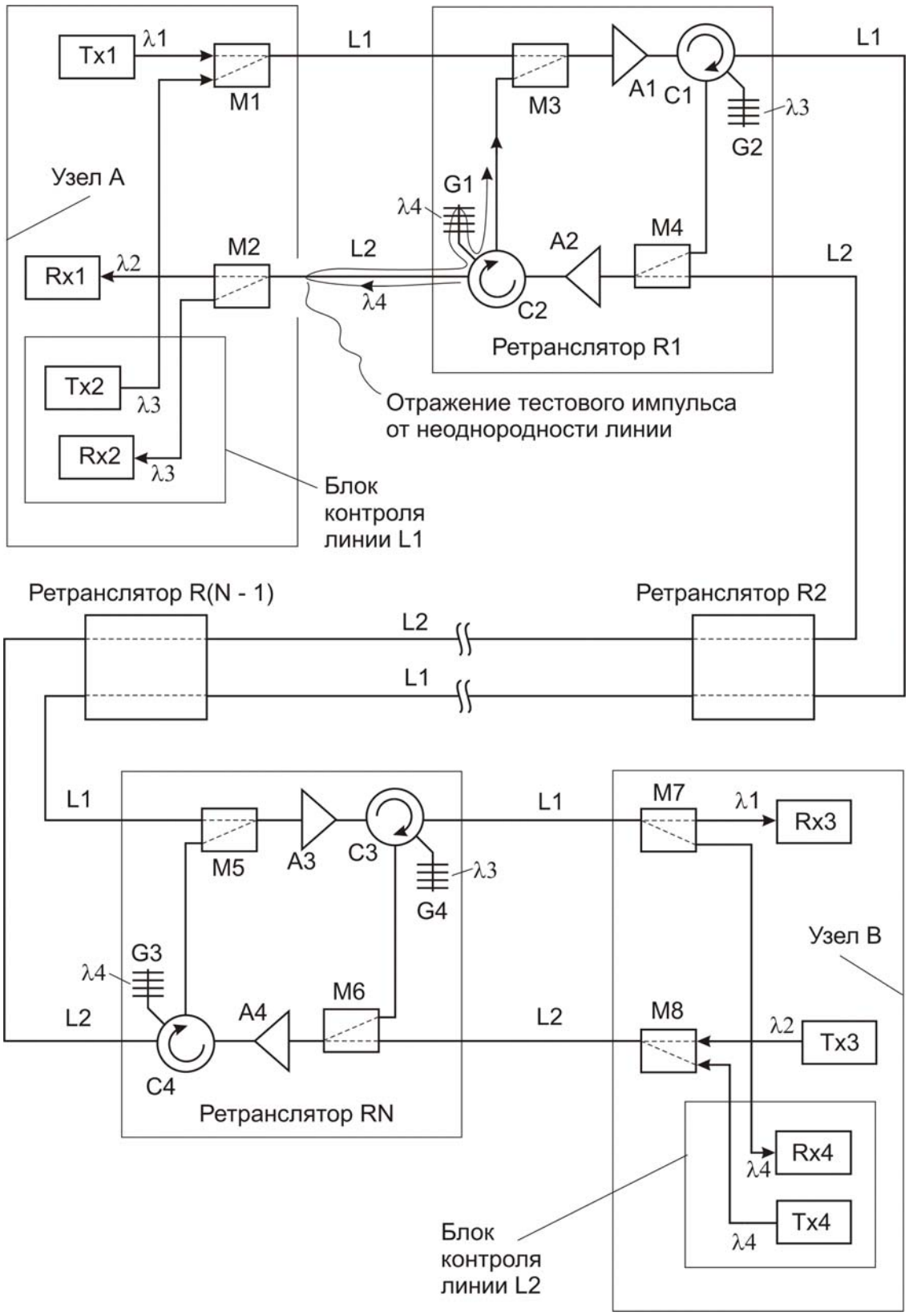

Рис. 2. 437 Система передачи данных с контролем оптических линий

Мониторинг линий L1 и L2 осуществляется по одному и тому же принципу. Рассмотрим, например, мониторинг линии L2.

В некоторый момент передатчик Tx4 блока контроля линии L2 формирует тестовый оптический импульс с длиной волны λ4, который через мультиплексор M8 поступает в линию L2 и смешивается с полезными данными, передаваемыми из узла B в узел A. Далее эта смесь сигналов распространяется по участку уже рассмотренного пути:

M6 → A4 → C4 → L2 → R(N – 1) → L2 → R2→ L2 → M4 → A2 → C2 → L2
и достигает разъёма узла А. Этот разъём, как предполагаем, неполностью исправен — он отражает часть поступающего на него из линии L2 светового потока. В частности, отражается часть энергии тестового импульса.

Отражённый тестовый импульс, как показано стрелкой, по линии L2 возвращается в оптический циркулятор C2 и передаётся им в фильтр G1. Так как фильтр настроен на длину волны тестового импульса (λ4), то этот импульс вновь возвращается в циркулятор C2 и передаётся им в мультиплексор M3, где он смешивается с потоком полезных данных, следующим из узла А в узел В.

Возврат отражённого тестового импульса также происходит по участку ранее рассмотренного пути:
A1 → C1 → L1 → R2 → L1 → R(N – 1) → L1 → M5 → A3 → C3 → L1 → M7.

Мультиплексор M7 разделяет входной сигнал по длинам волн, поэтому отражённый тестовый импульс поступает в приёмник Rx4 и анализируется блоком контроля сопоставлением с исходным импульсом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. США № 6.456.634 B1 http://www.uspto.gov.
2. Пат. заявка США 2001/0021044 A1 http://www.uspto.gov.
3. Шевкопляс Б.В. Элементы схемотехники оптоволоконных систем. Инженерные решения.— М.: ИП РадиоСофт, 2011. — 760 с., ил.