Техника безопасности зрения: автоматическое выключение оптического сигнала при обрыве кабеля

При обрыве оптического волокна, по которому передаются сигналы достаточно высокой мощности, существует опасность ожогов при попадании светового луча из места обрыва на сетчатку глаза человека или на кожу.

Согласно стандартам IEC 60825-1, -2 международной электротехнической комиссии, предусмотрена защита сервисного персонала от упомянутого воздействия света. В частности, при использовании оптических усилителей класса 3B с уровнем мощности выходного сигнала в пределах 50 — 500 мВт и длиной волны, принадлежащей окну 1550 нм, обрыв оптического волокна должен автоматически сопровождаться уменьшением мощности оптического сигнала ниже 10 мВт (10 дБм). При этом уменьшение мощности должно выполняться за время, меньшее 1 с [1].

Далее рассмотрены варианты построения систем автоматического выключения оптического сигнала при обрыве кабеля (рис. 1 — 4).

Первый вариант

В системе передачи данных между устройствами A и B (рис. 1) использованы ретрансляторы R1 — R6. Для передачи данных из устройства A в устройство B используется цепь последовательно включённых усилителей A (1 — 6). Для передачи данных в противоположном направлении используется усилители 7 — 12. Все ретрансляторы содержат одинаковые блоки управления C1 — C6.

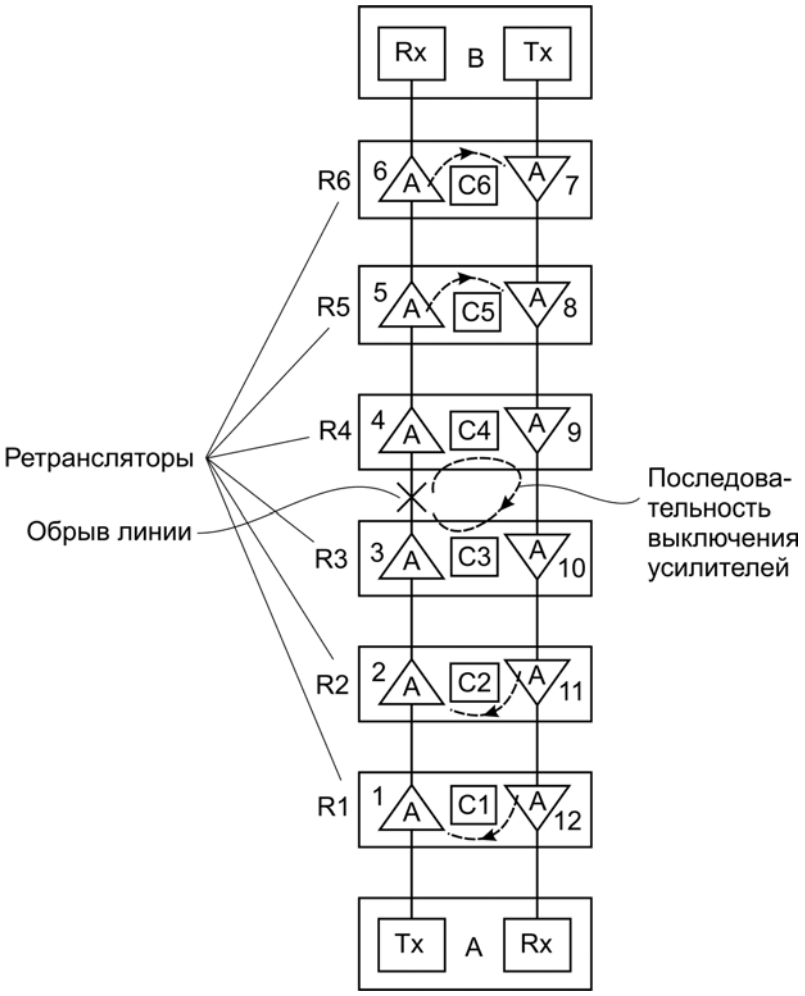

Рис. 1. Система передачи данных

Ретранслятор (рис. 2) содержит блок управления на основе процессора 26, соединённого с фотоприёмниками 27, 28, лазерными диодами 29, 30 и ключами 32, 32. Усилители 4 и 9 выполнены в виде оптических волокон 24 и 25, легированных эрбием [4]. Лазерные диоды 29 и 30 служат для накачки усилителей энергией, которая передаётся через однонаправленные ответвители 22 и 23. Ответвители 20 и 21 передают незначительную часть энергии (например, 2 %) входного сигнала в соответствующие фотоприёмники для контроля состояния сигналов в линиях. Нормально-замкнутые ключи SW 31 и 32 соединяют выходы усилителей с выходами ретранслятора.

При обрыве линии (обрыв обозначен символом «×» на рис. 1) блок управления С4 обнаруживает пропадание сигнала на входе усилителя 4. Так как сигнал отсутствует в течение времени, превышающего, например, 40 мс, блок управления расценивает это событие как обрыв линии или отключение одного из устройств в цепи А — В.

В этом случае блок управления 26 выключает лазерные диоды 29, 30 накачки усилителей 24, 25 и размыкает ключи 31, 32. Аналогичные процессы (обозначены на рис. 1 штриховыми стрелками) последовательно развиваются во всех ретрансляторах, в частности, в ретрансляторе R3 выключается ключ 31, что и требуется. Теперь свет не поступает в место обрыва оптического волокна. Время выключения при этом значительно меньше предельного (равного 1 с).

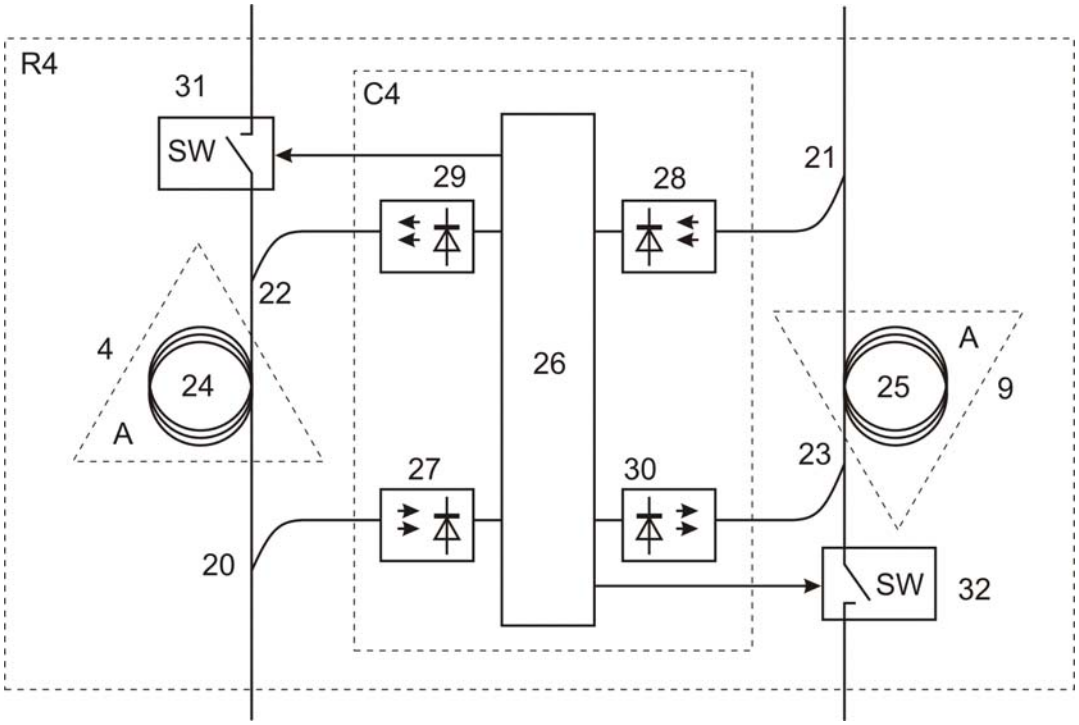

Рис. 2. Структура ретранслятора (на примере ретранслятора R4)

Таким образом, в результате обрыва кабеля автоматически отключаются все ретрансляторы R1 — R6. Устройства А и В также прекращают выдачу данных в канал связи между ними.

После устранения неисправности администратор сети вручную инициирует восстановление её первоначального состояния. С одного из устройств (А или В) начинается передача сигнала, ближайший ретранслятор обнаруживает его появление и переходит в рабочее состояние по соответствующему направлению, затем следующий ретранслятор обнаруживает появление сигнала и т. д. В конечном счете, все ретрансляторы переходят в рабочие состояния сначала по одному, а затем и по другому направлению передачи.

Следует отметить, что в «эрбиевых» усилителях, работающих на холостом ходу (при наличии излучения накачки, но в отсутствие сигнала данных), наблюдается чрезмерная концентрация возбуждённых атомов эрбия. При этом первые импульсы сигнала данных (после паузы) усиливаются в десятки раз больше последующих из-за повышенной

вероятности взаимодействия фотонов, несущих данные, с возбуждёнными атомами эрбия. Чрезмерно мощные световые импульсы могут пагубно влиять на разъёмные соединения и приёмники сигналов. Поэтому в процессе восстановления функционирования цепи из ретрансляторов необходимо предусмотреть защиту от таких ситуаций.

Например, обнаружив устойчивый сигнал данных на входе усилителя 4, процессор 26 замыкает ключ 31 и включает лазерный диод 29 накачки этого усилителя (это правильная последовательность событий). Но если по аналогии одновременно с этим замкнуть ключ 32 и включить лазерный диод 30 накачки усилителя 9 (неправильные действия), то в нём начнётся упомянутое чрезмерное увеличение концентрации активизированных атомов эрбия, так как сигнал данных пока отсутствует. При последующем поступлении сигнала данных недопустимо мощные световые импульсы будут распространяться в сторону устройства А.

Чтобы избежать этого, замыкание ключа 32 и включение лазерного диода 30 должно осуществляться только после обнаружения устойчивого сигнала данных на входе усилителя 9.

Второй вариант

Узел сети или ретранслятор (рис. 3, [2]) принимает входной сигнал DIN, усиливает его и в виде сигнала DOUT передаёт на выход в оптическое волокно. В случае обрыва волокна передача сигнала прекращается (необходимость такой реакции на обрыв была обоснована в начале статьи).

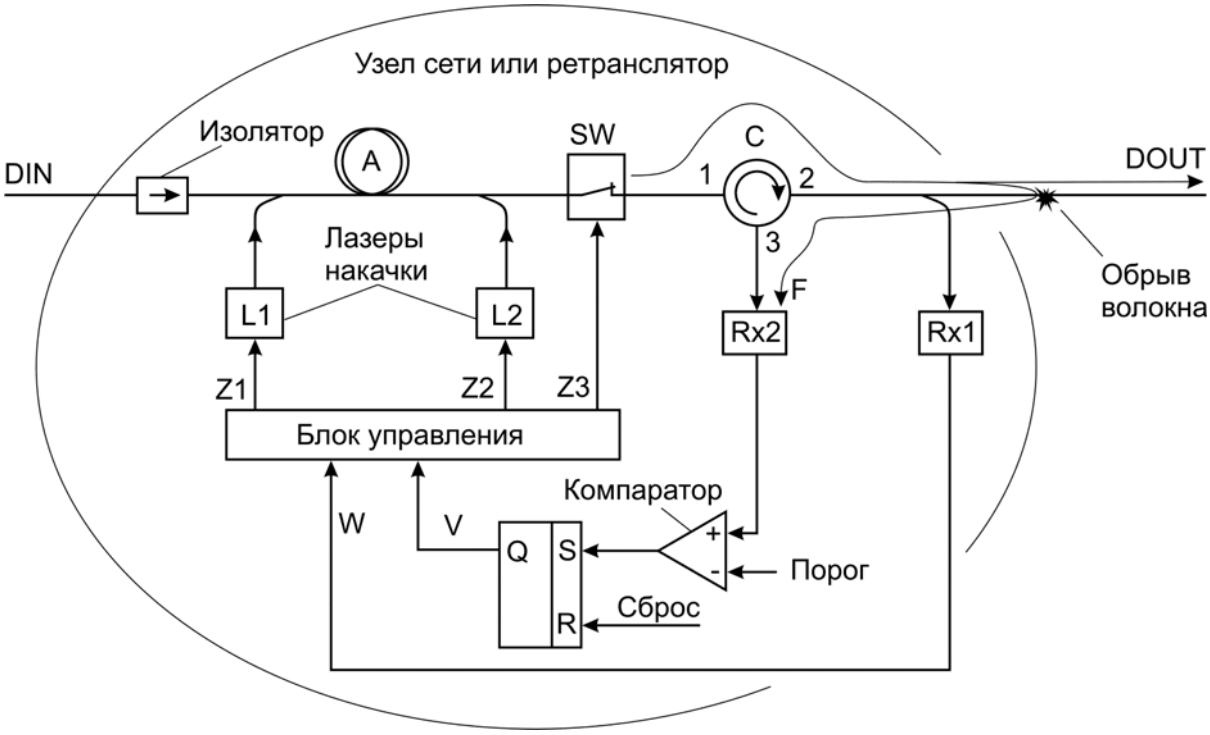

Рис. 3. Схема автоматической блокировки сигнала при обрыве оптического волокна

Узел содержит изолятор (элемент с односторонней проводимостью света, см. [4]), усилитель А на основе легированного эрбием оптического волокна, лазеры L1 и L2 накачки энергии в усилитель через оптические соединители, нормально-замкнутый оптический ключ (коммутатор) SW, оптический циркулятор С, приёмник Rx1, подключённый к выходному оптическому волокну через ответвитель с коэффициентом ответвления 1 %, приёмник Rx2, компаратор, триггер и блок управления на основе микропроцессора.

В отсутствие обрыва оптического волокна входной сигнал DIN проходит через изолятор, усилитель А, ключ SW, порты 1 и 2 циркулятора С и в виде сигнала DOUT по-

ступает через оптическое волокно в следующий узел сети или ретранслятор. Сигнал W обратной связи с выхода приёмника Rx1 передаётся в блок управления, который следит за его поддержанием на заданном уровне и при необходимости сигналами Z1 и Z2 увеличивает или уменьшает энергию излучения лазеров L1 и L2, увеличивая или уменьшая коэффициент усиления усилителя A.

При возникновении обрыва оптического волокна отражённый сигнал F возвращается в порт 2 циркулятора и передаётся им через порт 3 в приёмник Rx2 и затем на вход компаратора. Порог срабатывания компаратора превышает уровень шума на выходе приёмника Rx2, но достаточно низок для обнаружения слабого отражённого сигнала F. При срабатывании компаратора триггер устанавливается в единицу, в блок управления поступает сигнал V = 1.

В ответ на этот сигнал блок управления выключает лазеры L1, L2 и размыкает ключ SW. Компаратор возвращается в исходное состояние, триггер остаётся в состоянии V = 1. После устранения обрыва и при наличии входного сигнала DIN на триггер подаётся импульсный сигнал Сброс. Этот сигнал формируется вручную оператором сети. Блок управления по сигналу V = 0 замыкает ключ SW и затем плавно вводит лазеры накачки в штатный режим работы.

Третий вариант

В данном примере задача отключения передатчиков при обрыве линий решается применительно к сети доступа к общему ресурсу, фрагмент которой показан на рис. 4 [3]. Сеть содержит периферийные узлы 1 — N, соединённые через промежуточный узел с центральным узлом, который, в свою очередь, подключён к общему ресурсу. (Общий ресурс и центральный узел на рисунке не показаны.).

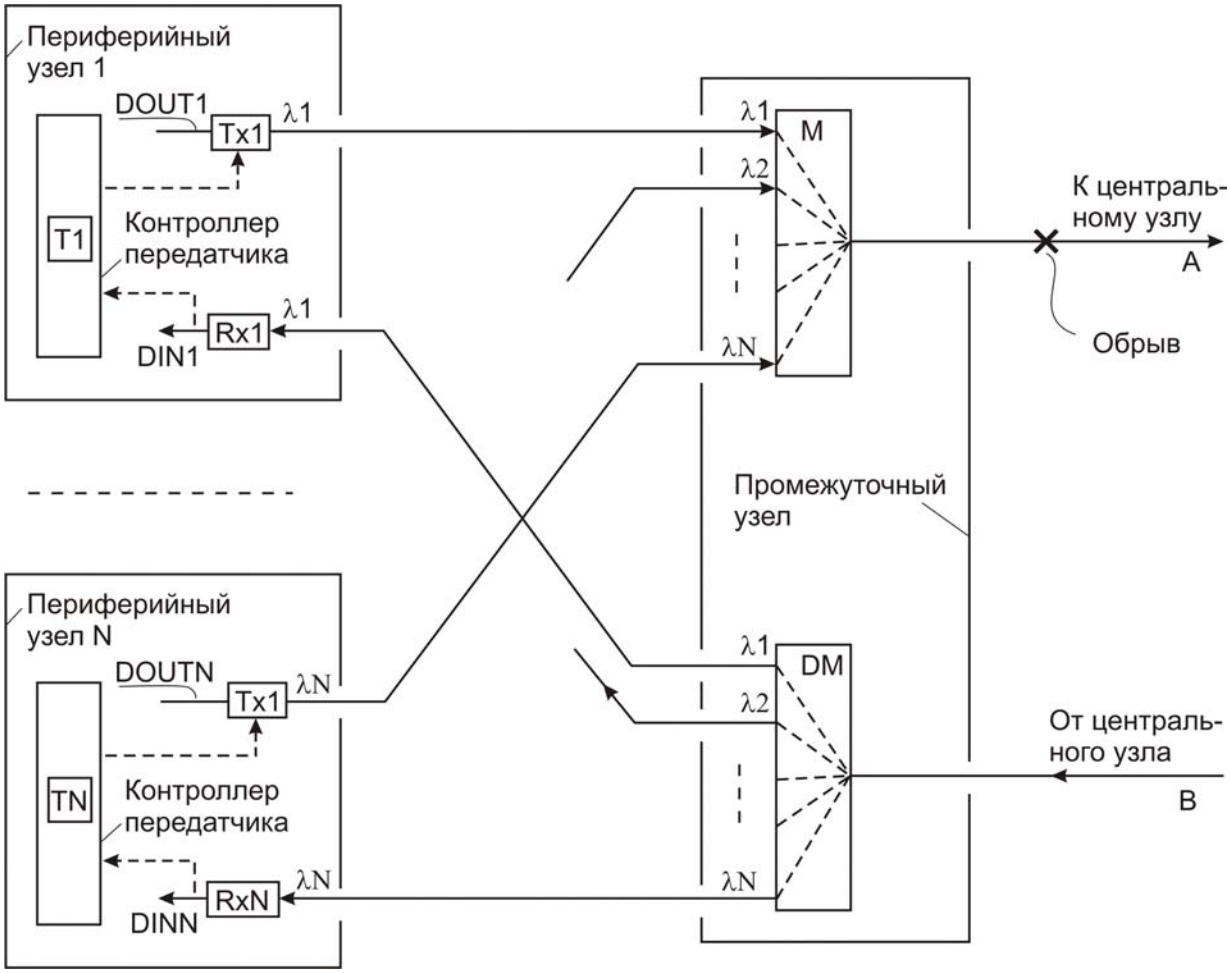

Рис. 4. Фрагмент сети доступа к общему ресурсу

Каждому периферийному узлу j выделена индивидуальная длина волны λj. На этой волне передаются выходные данные DOUTj и принимаются входные — DINj. Для каждого направления передачи выделено отдельное оптическое волокно. Сигналы с выходов передатчиков Txj разных периферийных узлов объединяются в единый поток WDM-мультиплексором M и посылаются в сторону центрального узла по линии A. Этот суммарный поток обладает относительно высокой мощностью и представляет опасность в случае попадания на сетчатку глаза или на кожу человека. Если число составляющих потока невелико, то суммарная световая мощность в линии A не достигает опасного уровня.

Аналогично, мультиплексированный поток данных от центрального узла по оптическому волокну B поступает на вход WDM-демультиплексора DM и разделяется им на N потоков, каждый из которых передаётся приёмнику Rxj соответствующего узла j. Конструкции мультиплексора M и демультиплексора DM могут быть одинаковыми.

В каждом периферийном узле j содержится контроллер передатчика — микропроцессорное устройство, выполняющее следующие основные функции.

Во-первых, контроллер при обнаружении устойчивого пропадания сигнала на входе приёмника Rxj выключает передатчик Txj. Такое может произойти при обрыве одного из оптических волокон сети. Для определённости предположим, что возник обрыв оптического волокна A. Пропадание сигнала на входе приёмника Rxj в этом случае вызвано тем, что центральный узел не получает сигнала по линии A и в ответ прекращает выдачу сигнала в линию B.

Во-вторых, контроллер автоматически восстанавливает работу своего периферийного узла после устранения неисправности. Для этого используется соответствующий таймер Tj. Этот таймер формирует «пробные» импульсы запуска передатчика длительностью 1 с через случайные интервалы времени в диапазоне, 0 — 300 с. После включения передатчика контроллер следит за ответной реакцией центрального узла. Если обрыв не устранён, ответной реакции нет. Тогда контроллер в случайные интервалы времени продолжает попытки передачи сигналов по линии A.

В конечном счете, после ремонта линии контроллер обнаруживает устойчивый принимаемый сигнал и переходит к нормальной работе.

Отметим, что при обрыве линии A все периферийные узлы ведут её мониторинг, как было описано. Однако посылаемые в линию пробные импульсы имеют малую мощность и формируются вразнобой. Поэтому суммарная световая мощность в линии A не достигает опасного уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. США № 7.039.313 B2 http://www.uspto.gov.
1. Пат. США № 6.317.255 B1 http://www.uspto.gov.
3. Пат. США № 7.672.592 B2 http://www.uspto.gov.
4. Шевкопляс Б.В. Элементы схемотехники оптоволоконных систем. Инженерные решения.— М.: ИП РадиоСофт, 2011. — 756 с., ил.