

Резервированные каналы связи

Первый вариант

В системе передачи данных [1], показанной на Рис. 1, а, узлы сети связаны между собой основной и резервной магистралями, каждая из которых содержит четыре оптоволоконные линии. Резервная магистраль используется при отказе одной или нескольких линий основной магистрали. В этом случае отказавшие линии основной магистрали подменяются соответствующими линиями резервной магистрали. Все линии двунаправленные. Переключение линий осуществляется с помощью матричного коммутатора.

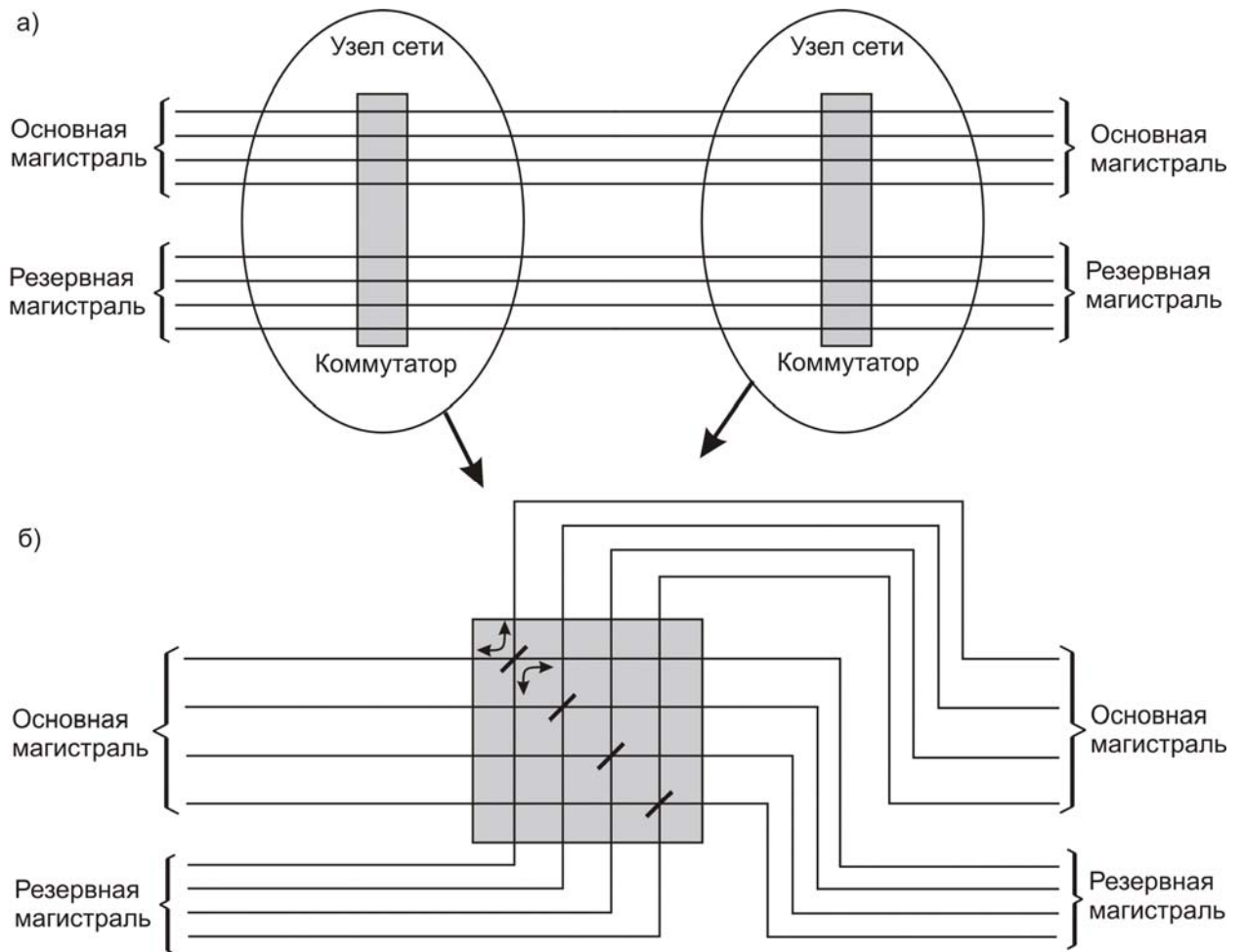


Рис. 1. Конфигурация резервированной системы передачи данных в отсутствие отказов линий

Коммутаторы обоих узлов сети одинаковы как по структуре, так и по настройке коммутационных матриц (Рис. 1, б). В каждом узле содержатся также иные устройства, например, оптические add-drop-мультиплексоры, но соответствующая аппаратура в данном примере не рассматривается.

В отсутствие отказов линий, в коммутаторе активизированы зеркала, расположенные на диагонали коммутационной матрицы. Так как все зеркала двусторонние, каждое из них транслирует в нужных направлениях сигналы по основной и резервной магистралям.

После обнаружения отказа одной из оптических линий основной магистрали коммутаторы узлов, между которыми произошёл отказ, перестраиваются таким образом, что отказавшая линия подменяется резервной (Рис. 2). Точнее, подмена оказывается обоюдной — отказ перемещается в резервную магистраль.

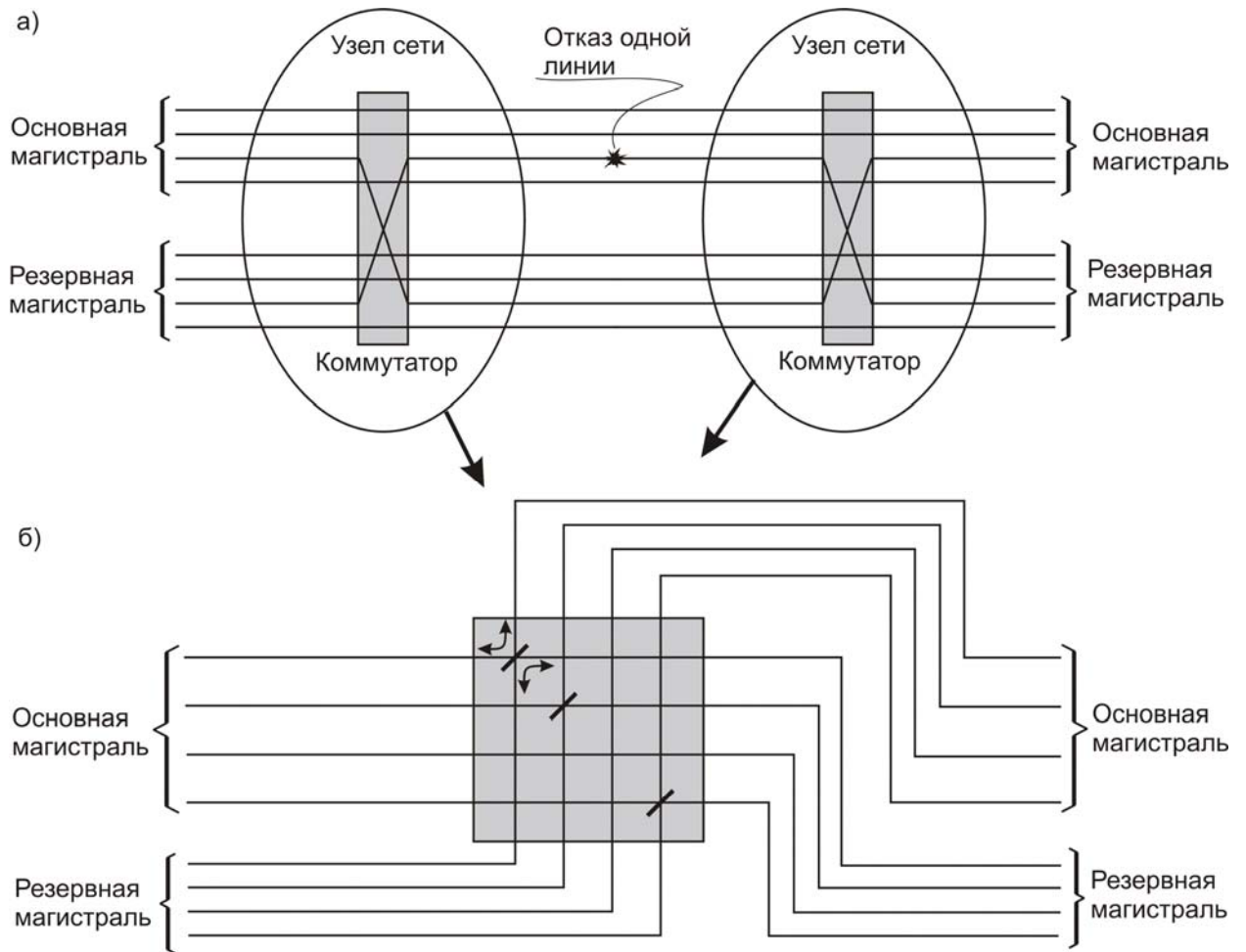


Рис. 2. Конфигурация резервированной системы передачи данных при отказе одной линии основной магистрали

При отказе основной магистрали как целого узлы сети настраиваются таким образом, что отрезки магистралей между узлами меняются местами (Рис. 3). Для такой настройки все зеркала коммутационной матрицы переводятся в неактивные состояния.

После восстановления работоспособности отказавших линий связи коммутаторы переходят в исходные состояния (Рис. 1). Для слежения за внешними сигналами в коммутационной матрице могут использоваться полупрозрачные зеркала [2].

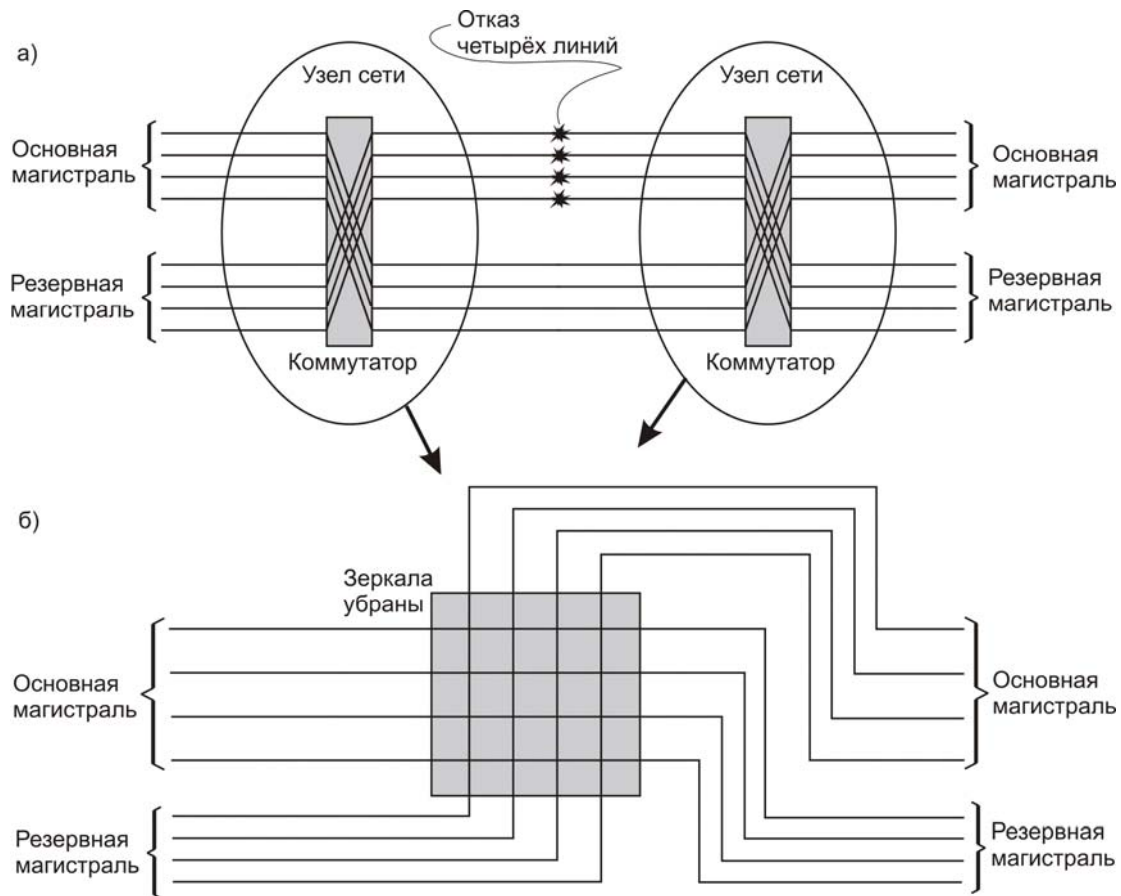


Рис. 3. Конфигурация резервированной системы передачи данных при отказе всех линии основной магистрали

Второй вариант

Так же, как и в первом варианте, в данном случае для повышения надёжности системы передачи данных предусмотрены основной и резервный каналы связи [3, 4] (Рис. 4).

Каждый канал содержит две оптоволоконные линии (L1, L2; L3, L4) для передачи сигналов в противоположных направлениях. Каналы могут конструктивно размещаться в одном или разных кабелях. Для переключения с основного канала на резервный (при обнаружении обрыва линии данных) и обратно (после её ремонта) используются оптические коммутаторы SW1 — SW4, каждый из которых имеет порты 1 — 4 и управляется соответствующим контроллером. Коммутаторы могут быть выполнены с использованием оптоэлектронных элементов или на основе подвижных микрзеркал [2].

Для регистрации критического снижения уровня или полного пропадания сигнала применены четыре датчика мощности A1 — A4. Эти датчики следят за наличием сигналов во входных портах 2 и 4 коммутатора SW1 и во входных портах 1 и 3 коммутатора SW3. Сигналы S1 — S4 могут формироваться с помощью несимметричных оптических разветвителей [2]. В сторону датчика может ответвляться, например, 1% энергии полезного сигнала.

В отсутствие неисправностей оптоволоконных линий L1 — L4 для двусторонней передачи данных используется основной канал, коммутаторы SW1 — SW4 передают световые потоки между портами 1 и 2; 3 и 4 (в горизонтальных направлениях), как показано на Рис. 4, а. Одновременно с передачей данных по основному каналу, по резервному каналу в обе стороны передаются тестовые сигналы. Такими сигналами могут быть непрерывные встречные световые потоки T и T* от лазерных диодов (диоды на рисунке не показаны). Пути распространения данных и тестовых сигналов показаны на рисунке соответственно сплошными и штриховыми линиями.

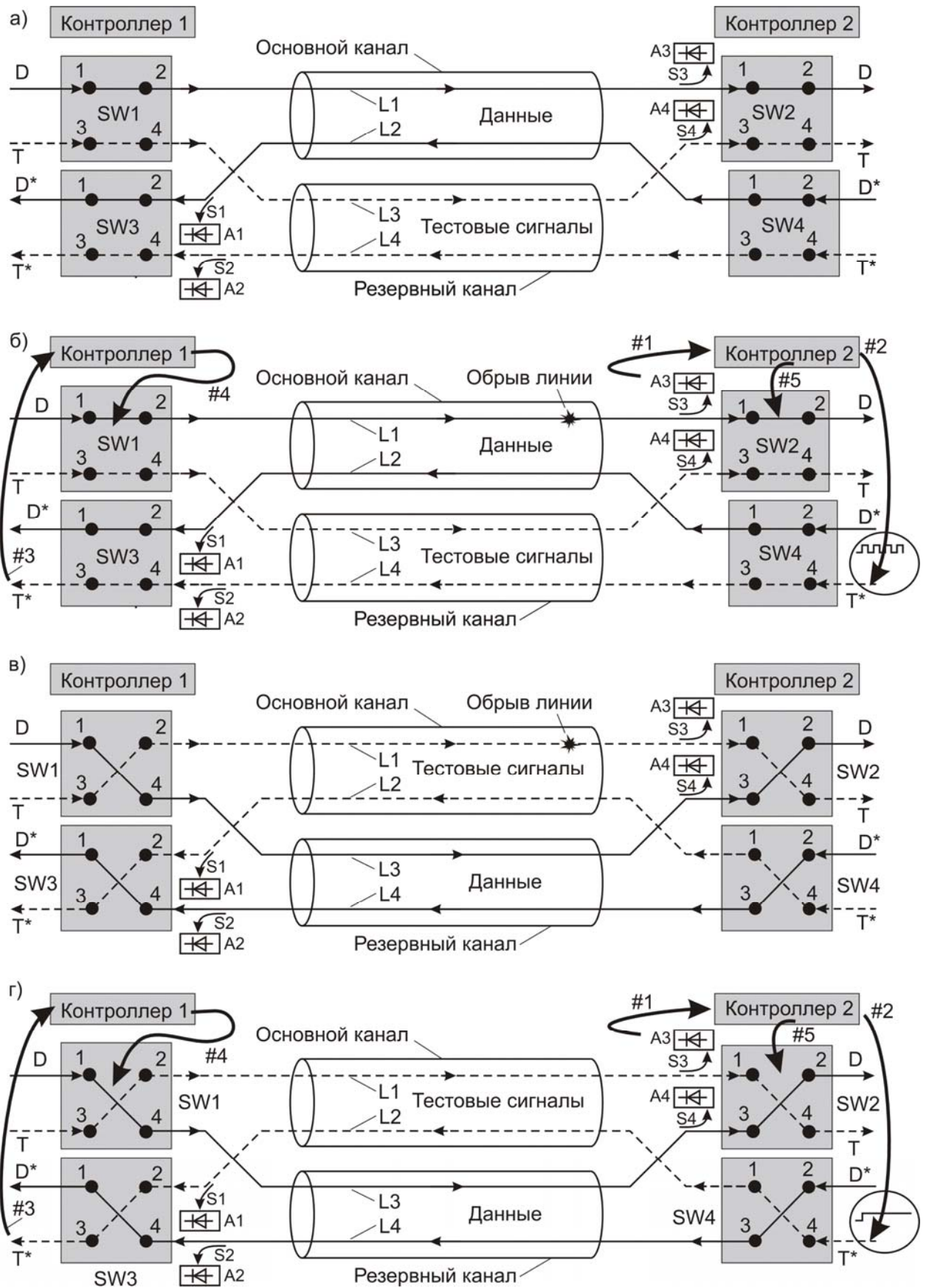


Рис. 4. Состояния резервированного оптического канала связи: *а* — в отсутствие неисправностей; *б* — в начале процесса адаптации к обрыву линии L1; *в* — после адаптации к обрыву линии L1; *г* — в начале процесса возврата в исходное состояние после устранения неисправности

При обрыве одной из линий L3 или L4 (или обеих линий одновременно) срабатывают датчики A4 или (и) A2. Сигналы от этих датчиков поступают в соответствующие контроллеры, которые оповещают ремонтные службы о неисправности резервного канала. После устранения неисправности система вновь функционирует в штатном режиме, тестовые сигналы T и T* вновь успешно передаются на противоположные стороны резервного канала связи.

Предположим теперь, что в некоторый момент произошёл обрыв линии L1 (Рис. 4, б.). В этом случае срабатывает датчик A3 и передаёт аварийный сигнал в контроллер 2. Это событие обозначено на рисунке стрелкой #1. Контроллер 2 убеждается в устойчивости аварийного сигнала и принимает решение о переключении системы передачи данных на резервный канал. При этом происходят следующие события.

1. Контроллер 2 переводит источник тестового сигнала T* (лазерный диод) из режима непрерывного свечения в режим выдачи периодического сигнала 010101... (обведён на рисунке кружком). Это событие обозначено на рисунке стрелкой #2. Такой (или иной) сигнал предназначен для оповещения контроллера 1 о том, что следует переключиться с основного канала на резервный.

2. Сигнал T1* = 010101... передаётся через коммутатор SW4, линию L4 и коммутатор SW3 по стрелке #3 в контроллер 1. Этот контроллер убеждается в стабильности полученного сигнала и воспринимает его как команду переключения системы передачи данных с основного канала на резервный.

3. Для выполнения этой команды контроллер 1 запускает механизм перевода коммутаторов SW1 и SW3 в кроссовый режим, при котором в каждом из них световые потоки проходят между портами 1 и 4; 2 и 3. Это событие обозначено на рисунке стрелкой #4.

4. Примерно в то же самое время контроллер 2 запускает аналогичный механизм перевода коммутаторов SW2 и SW4 в кроссовый режим (стрелка #5).

По окончании переходных процессов в коммутаторах SW1 — SW4 система передачи данных переходит в новое устойчивое состояние, показанное на Рис. 4, в. Как видно из рисунка, данные теперь передаются по резервному каналу, тестовый сигнал T* = 010101... — по линии L2 основного канала. Обрыв линии L1 препятствует передаче непрерывного тестового сигнала T в сторону датчика A3.

После ремонта линии L1 контроллер 2 обнаруживает сигнал на выходе датчика A3 (Рис. 4, з, стрелка #1) и возвращает лазерный диод в режим непрерывного излучения (стрелка #2). Видоизменённый тестовый сигнал T* проходит по цепи SW4 — L2 — SW3 и регистрируется контроллером 1 как команда перевода коммутаторов SW1 и SW3 в исходные состояния (стрелка #3).

Убедившись в стабильности новой ситуации, контроллер 1 приступает к выполнению команды (стрелка #4). Примерно в это же время контроллер 2 начинает выполнять аналогичные действия (стрелка #5). В конечном счете, система передачи данных возвращается в исходное состояние, показанное на Рис. 4, а.

Можно убедиться в том, что при одновременном обрыве линий L1 и L2 система передачи данных также успешно переключается на резервный канал. Действительно, в этом случае контроллеры 1 и 2 одновременно регистрируют обрывы соответствующих линий передачи данных и, кроме того, получают команды переключения на резервный режим от удалённых контроллеров, хотя эти команды являются избыточными — контроллеры и без их получения «знают» о необходимости перевода своих коммутаторов в кроссовый режим.

Третий вариант

В системе передачи данных [5], показанной на Рис. 5, а, использовано дублирование линий связи и автоматическое распознавание отказавшей линии, вместо которой используется резервная. После устранения неисправности происходит автоматический возврат в штатный режим.

Система передачи данных симметрична и содержит следующие элементы: контроллеры А и В, сплиттеры (разветвители) 1, 7, нормально-замкнутые оптические ключи (коммутаторы) 2, 3, 8, 9, оптические линии L1 — L4, датчики 4, 5, 10, 11 сигналов в этих линиях и двухпозиционные оптические ключи (коммутаторы) 6 и 12.

Сплиттеры 1, 7 и ответвители тестовых сигналов на входы датчиков 4, 5, 10, 11 (ответвители показаны в виде изогнутых стрелок) могут быть выполнены по схеме, приведенной в [2]. В сторону датчика может ответвляться, например, 1% энергии полезного сигнала. Сплиттеры 1 и 7 делят входной сигнал на две равные части. Ключи 2, 3, 6, 8, 9, 12 могут быть выполнены с использованием оптоэлектронных элементов или на основе подвижных микрзеркал [2]. Контроллеры А и В получают информацию от датчиков (по одному биту от каждого) и управляют ключами.

Далее рассмотрен пример последовательности состояний системы при её адаптации к обрыву линии L1 и обратный процесс — последовательность возврата в штатный режим после ремонта линии (Рис. 5, а — л). Для повышения наглядности рисунков из них исключены контроллеры с соответствующими связями и упрощены обозначения датчиков.

В отсутствие неисправностей (Рис. 5, а) ключи 6 и 12 соединяют выходные линии данных D и D* с основными линиями L1 и L3. Резервные линии L2 и L4 не задействованы, хотя в них через сплиттеры 1 и 7 и ключи 3, 9 передаётся такая же часть энергии входного сигнала, как и в основные линии. Все датчики подтверждают наличие оптических сигналов в соответствующих линиях.

При возникновении обрыва линии L1 (обрыв обозначен «кляксой» на Рис. 5, б) датчик 4 обнаруживает исчезновение сигнала и оповещает об этом контроллер В (на рисунке не показан). Контроллер В, в свою очередь, приступает к переводу ключа 6 в нижнее положение, при котором вместо основной линии L1 в системе будет временно использована резервная линия L2. Эти процессы обозначены стрелкой #1.

После перевода ключа 6 в нижнее состояние (Рис. 5, в) контроллер В выдаёт команду размыкания ключа 8, чтобы оповестить контроллер А о случившейся аварии (стрелка #2).

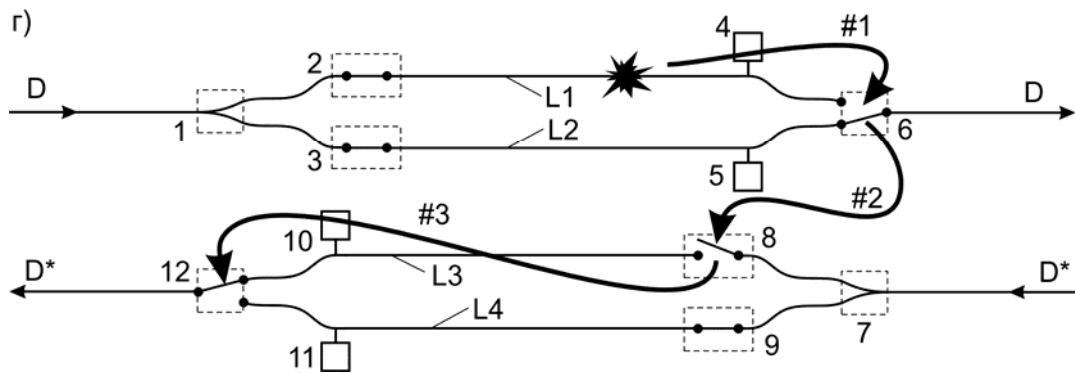
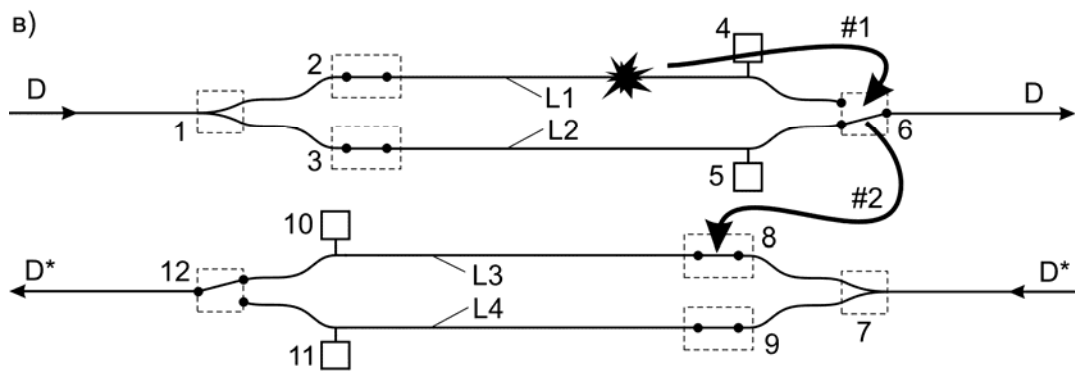
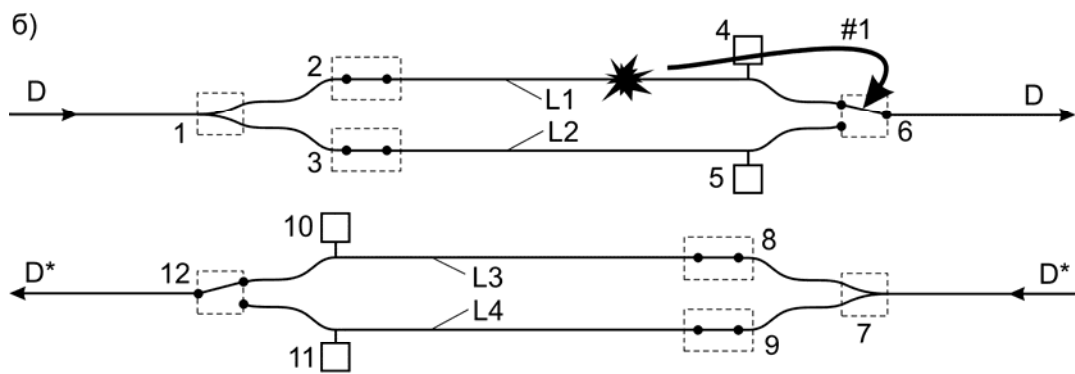
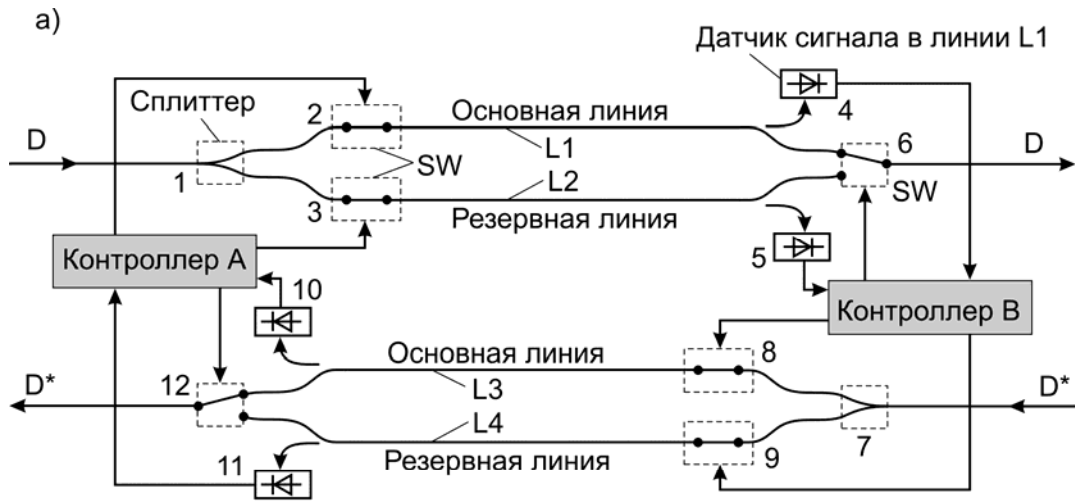
После размыкания ключа 8 (Рис. 5, г) датчик 10 обнаруживает потерю сигнала и сообщает об этом контроллеру А. Этот контроллер реагирует на данное событие выдачей команды перевода ключа 12 в нижнее положение (стрелка #3). Вслед за выполнением этой команды контроллер А приступает к периодическому размыканию-замыканию ключа 2 (Рис. 5, д, стрелка #4) с частотой, например, равной 1 Гц.

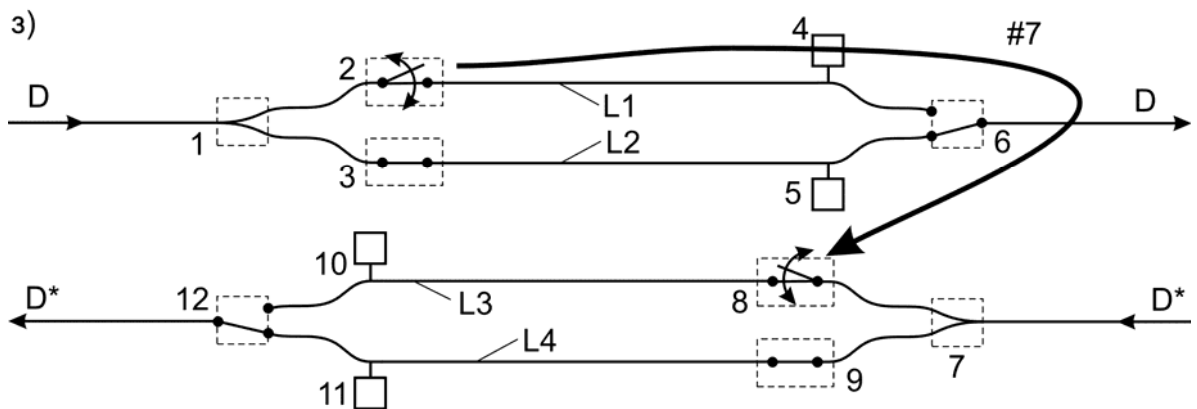
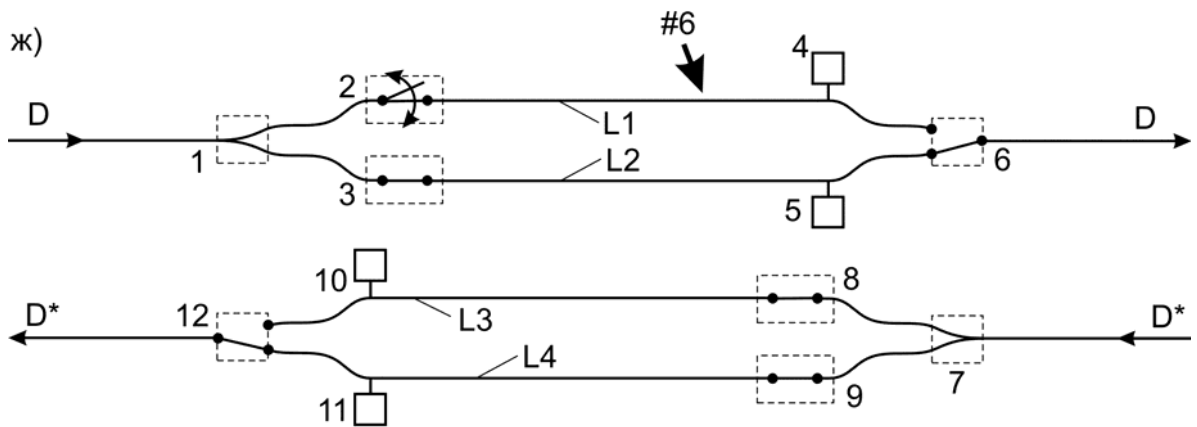
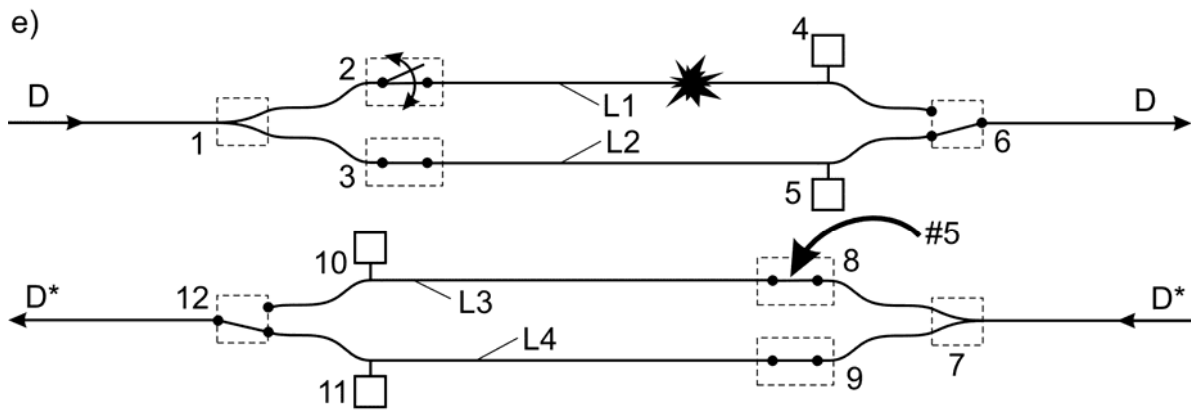
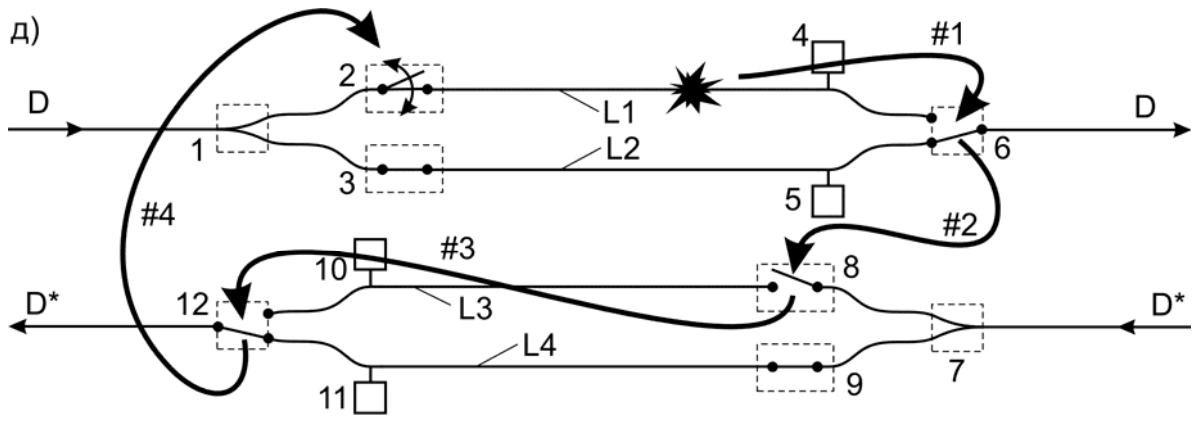
Через некоторое время, определяемое программной задержкой контроллера В, ключ 8 замыкается (Рис. 5, е, стрелка #5). На этом процесс адаптации к неисправности завершается. В системе передачи данных произошёл переход на резервные линии L2 и L4.

В некоторый момент в результате ремонта неисправность устраняется (Рис. 5, ж, стрелка #6). Далее развивается процесс возврата системы передачи данных в штатный режим работы. Он состоит в следующем.

Датчик 4 обнаруживает прерывистый сигнал данных (пачки импульсов, разделённые паузами) в линии L1. Контроллер 2 реагирует на это событие периодическим выключением-включением ключа 8 (Рис. 5, з, стрелка #7). Прерывистый сигнал данных в виде аналогичных пачек импульсов через датчик 10 передаётся в контроллер А, который переводит ключ 2 в устойчивое замкнутое положение (Рис. 5, и, стрелка #8).

Непрерывный сигнал данных через датчик 4 передаётся в контроллер В, который переводит ключ 8 в устойчивое замкнутое состояние (Рис. 5, к, стрелка #9). Это событие регистрируется датчиком 10, контроллер А переводит ключ 12 в верхнее положение (Рис. 5, л, стрелка #10). Примерно в это же время после программной задержки контроллер В также переводит ключ 6 в верхнее положение (Рис. 5, л, стрелка #11). На этом процесс восстановления исходного состояния системы завершается.





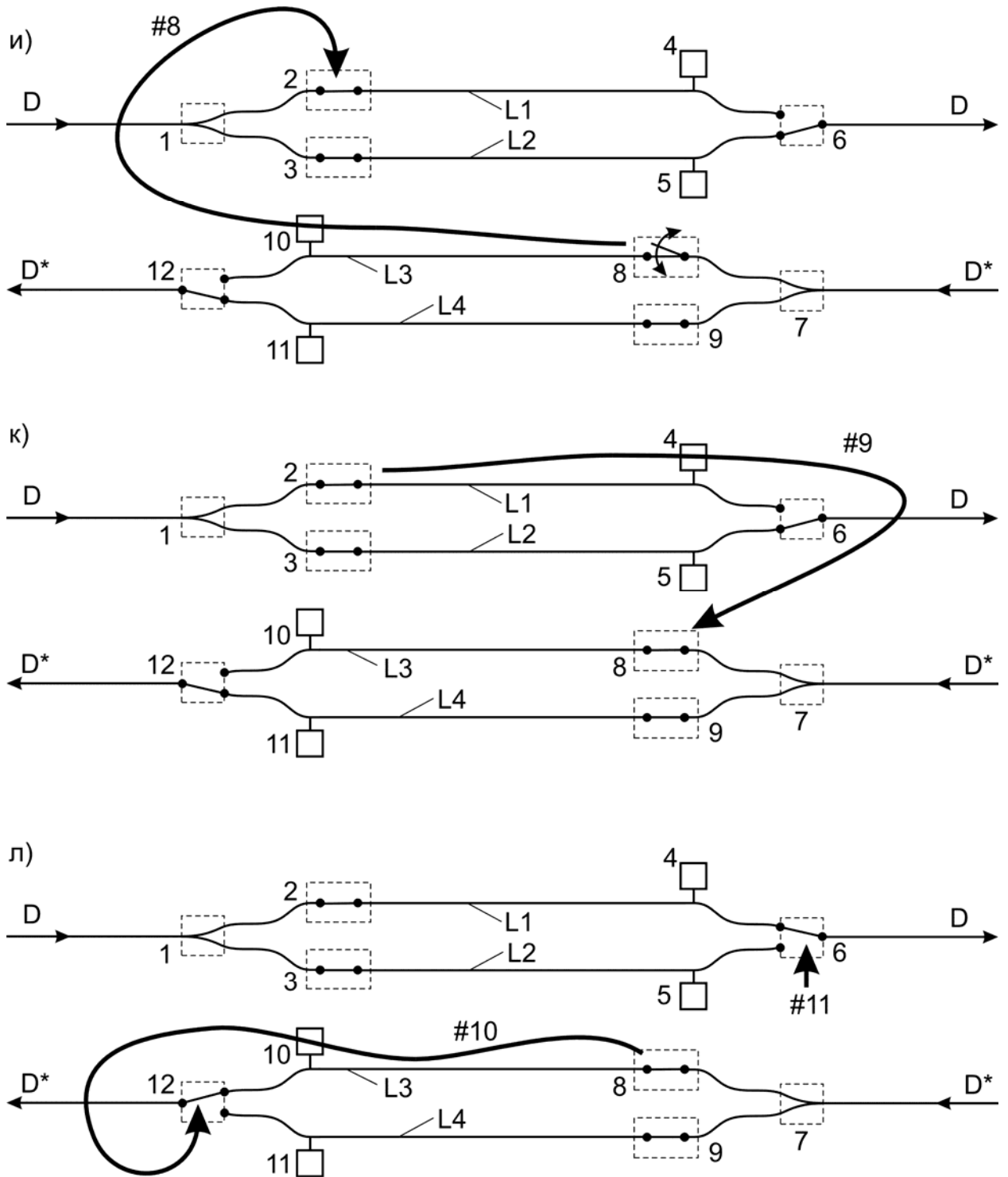


Рис. 5. Состояния системы передачи данных: а — в отсутствие неисправностей; б — е — в процессе адаптации к обрыву линии L1; ж — л — в процессе возврата в исходное состояние после устранения неисправности

Четвёртый вариант

В системе передачи данных [6], показанной на Рис. 6, а, в отличие от предыдущей, содержащей четыре однонаправленные линии, использованы две двунаправленные линии — основная и резервная.

Система симметрична и содержит следующие элементы: контроллеры А и В, приёмопередатчики 1 и 2, двухпозиционные оптические ключи (коммутаторы) 3 и 4, сплитте-

ры 5 и 6, ответвители 7 — 10, датчики 11 — 14 сигналов в линиях, а также сумматоры 15 и 16.

Сплиттеры 5, 6 и ответвители 7 — 10 тестовых сигналов на входы датчиков 11— 14 (ответвляемые сигналы показаны в виде изогнутых стрелок) могут быть выполнены по схеме, приведенной в [2]. В сторону датчика может ответвляться, например, 2% энергии полезного сигнала.

Сплиттеры 5 и 6 также делят входной сигнал на две неравные части. Как показано на Рис. 6, б, из этих сплиттеров по горизонтали (в резервную линию) передаётся 80% световой энергии, оставшиеся 20% ответвляются и тестируют основную линию в период ожидания устранения её неисправности.

Ключи 3 и 4 могут быть выполнены с использованием оптоэлектронных элементов или на основе подвижных микрзеркал [2]. Контроллеры А и В получают информацию от датчиков (по одному биту от каждого) и управляют ключами.

Далее рассмотрена адаптация системы к обрыву основной линии и обратный процесс — возврат в штатный режим после ремонта линии.

В отсутствие неисправностей (Рис. 6, а) ключи 3 и 4 соединяют входы — выходы приёмопередатчиков 1 и 2 с основной линией. Резервная линия не задействована. Датчики 11 и 13 подтверждают наличие оптических сигналов данных противоположных направлений с длинами волн λ_1 и λ_2 . Датчики 12 и 14 регистрируют отсутствие сигналов в резервной линии.

При возникновении обрыва основной линии (обрыв обозначен «кляксой» на Рис. 6, б) датчики 11 и 13 регистрируют исчезновение сигналов данных соответствующих направлений и оповещают об этом контроллеры А и В. Оба контроллера практически одновременно переводят ключи 3 и 4 в нижние положения, при которых вместо основной линии в системе будет временно использована резервная линия. Эти процессы условно показаны двумя утолщёнными стрелками.

В установившемся режиме в сторону обрыва основной линии с обеих сторон передаются сигналы данных с интенсивностью 20 %. По резервной линии осуществляется дуплексная передача данных сигналами с интенсивностью 80 % на несущих λ_1 и λ_2 .

После устранения обрыва линии срабатывают датчики 11 и 13, контроллеры практически одновременно переводят ключи 3 и 4 в верхние положения, так что система передачи данных возвращается в рассмотренное ранее исходное состояние.

Далее рассмотрены два варианта преобразованных систем [6], отличающихся от только что рассмотренной (Рис. 6) используемой элементной базой. Нумерация элементов и их функции соответствуют ранее описанным, если это не оговорено особо.

В схеме, показанной на Рис. 7, исключена часть элементов и связей между ними (сравните со схемой на Рис. 6). При этом сплиттер 5 в зависимости от управляющего сигнала из контроллера А функционирует либо как двухпозиционный оптический ключ (коммутатор) 4 (Рис. 7, а), либо как разделитель мощности входного оптического сигнала в соотношении 80% к 20% (Рис. 7, б).

При нормальной работе системы (Рис. 7, а) для передачи данных используется только основная линия. Сплиттер 5 передаёт весь входящий слева световой поток данных с длиной волны λ_1 в основную линию, т. е. работает так же, как и включённый симметрично ему ключ 4. Сигнал с длиной волны λ_2 проходит из основной линии через сплиттер 5 в приёмопередатчик 1.

Обрыв основной линии (Рис. 7, б) регистрируется датчиком 13. Контроллер 2 переводит ключ 4 в нижнее положение. Затем датчик 11 регистрирует исчезновение сигнала с длиной волны λ_2 , контроллер А переводит сплиттер 5 в упомянутый ранее режим разделения мощности входного оптического сигнала в соотношении 80% к 20%. Это обеспечивает передачу данных по резервной линии и тестирование основной.

Благодаря наличию тестирующего сигнала данных восстановление работоспособности основной линии регистрируется датчиком 13. Контроллер В переводит ключ 4 в

верхнее положение, после этого датчик 11 регистрирует появление сигнала данных в основной линии, контроллер А возвращает сплиттер 5 в режим ключа. В результате система передачи данных вновь работает в штатном режиме.

Схема, показанная на Рис. 8, отличается от только что рассмотренной (Рис. 7) тем, что двухпозиционный ключ 4 заменён парой 4* ключей типа «замкнуто — разомкнуто». В исходном состоянии (Рис. 8, а) первый ключ $i - j$ замкнут, второй ключ $k - f$ разомкнут. Одновременное использование основной и резервной линий для передачи данных недопустимо, так как оно приводит к интерференции сигналов, поступающих из разных линий.

После адаптации к неисправности основной линии состояние пары ключей 4* изменяется на противоположное (Рис. 8, б). В остальном функционирование этой схемы, по существу, совпадает с описанным ранее.

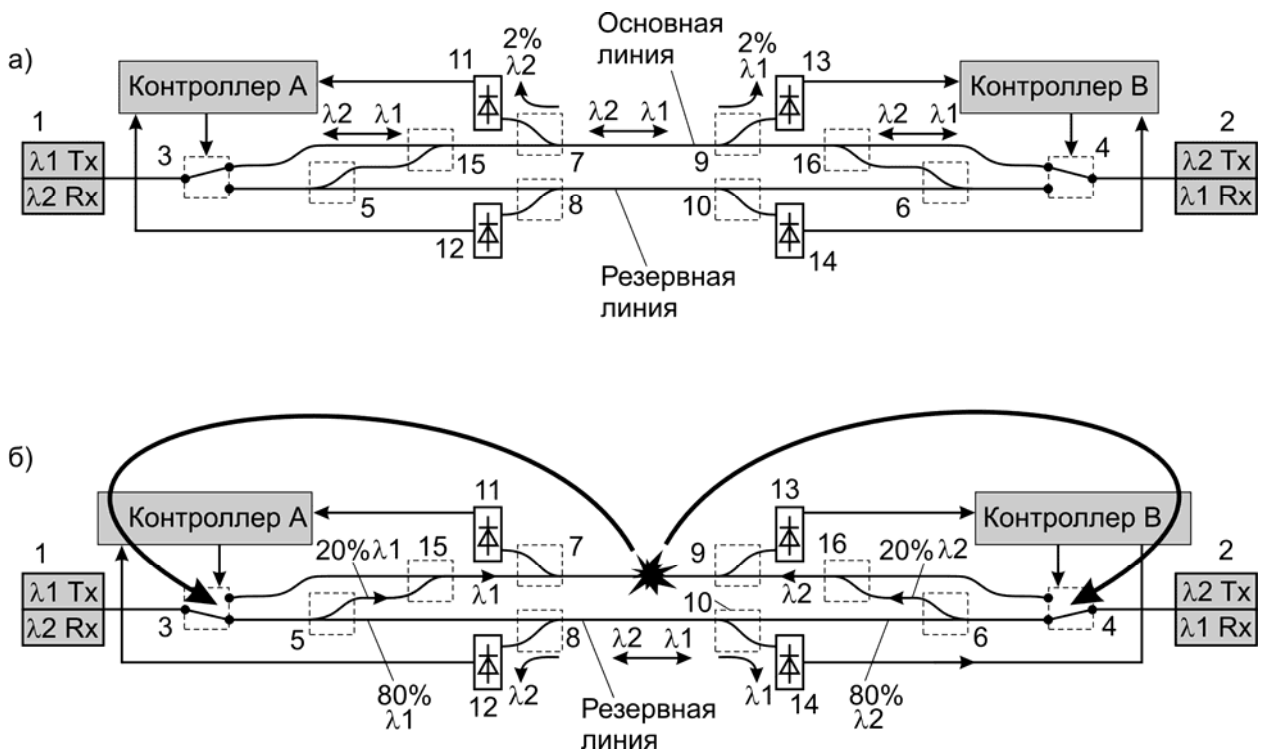


Рис. 6. Состояния системы передачи данных: а — в отсутствие неисправностей; б — после адаптации к обрыву основной линии

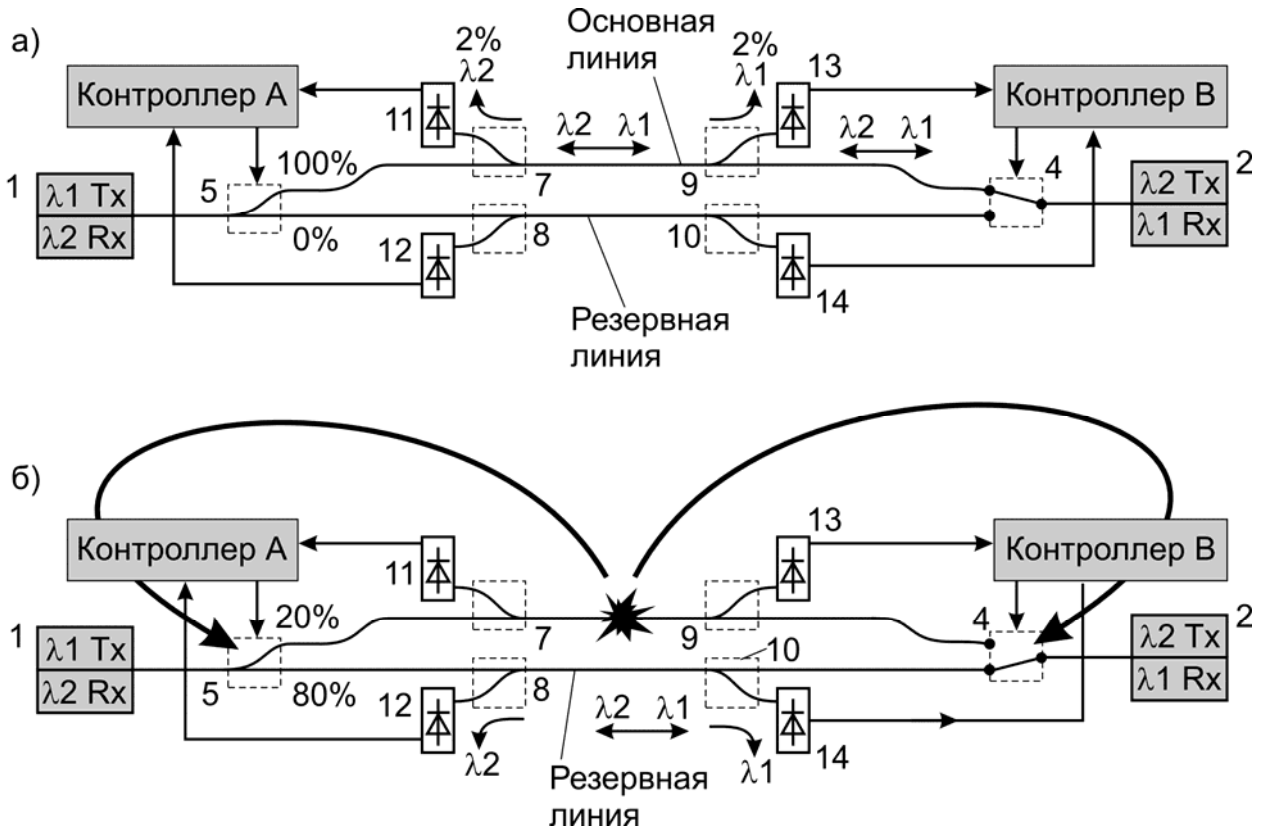


Рис. 7. Преобразованная система, первый вариант

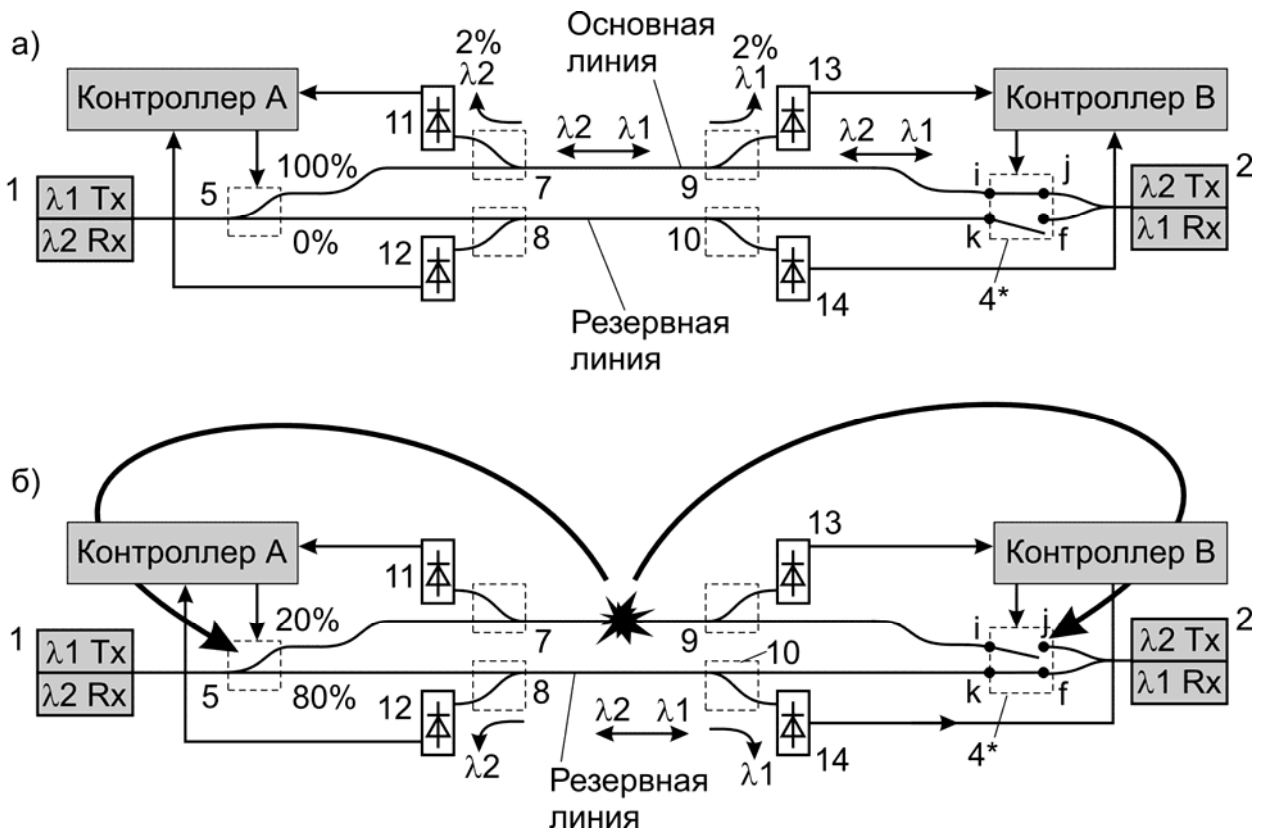


Рис. 8. Преобразованная система, второй вариант

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. США № 6.937.783 В2 <http://www.uspto.gov>.
2. Шевкопляс Б.В. Элементы схемотехники оптоволоконных систем. Инженерные решения. — М.: ИП РадиоСофт, 2011. — 756 с., ил.
3. Пат. США № 7.457.537 В2 <http://www.uspto.gov>.
4. Пат. США № 6.396.602 В1 <http://www.uspto.gov>.
5. Пат. заявка США 2009/0103915 А1 <http://www.uspto.gov>.
6. Пат. США № 7.289.728 В2 <http://www.uspto.gov>.