

Всегда ли оправдано применение add-drop-мультиплексоров в сетях с кольцевой структурой?

Рассмотрим два варианта построения сетей с кольцевой структурой. Вопреки общепринятым решениям, в них отсутствуют add-drop-мультиплексоры. Их заменяют менее сложные устройства, способные обмениваться данными с меньшими задержками и большей степенью параллелизма.

Теперь всё по порядку.

Напомним, как функционирует обычная сеть, например, типа SDH. В примере, приведенном на рис. 1, а, она содержит узлы NE1 — NE4 и построена на основе двух концентрических колец из оптического волокна. Внешнее кольцо WR — рабочее, внутреннее PR — запасное.

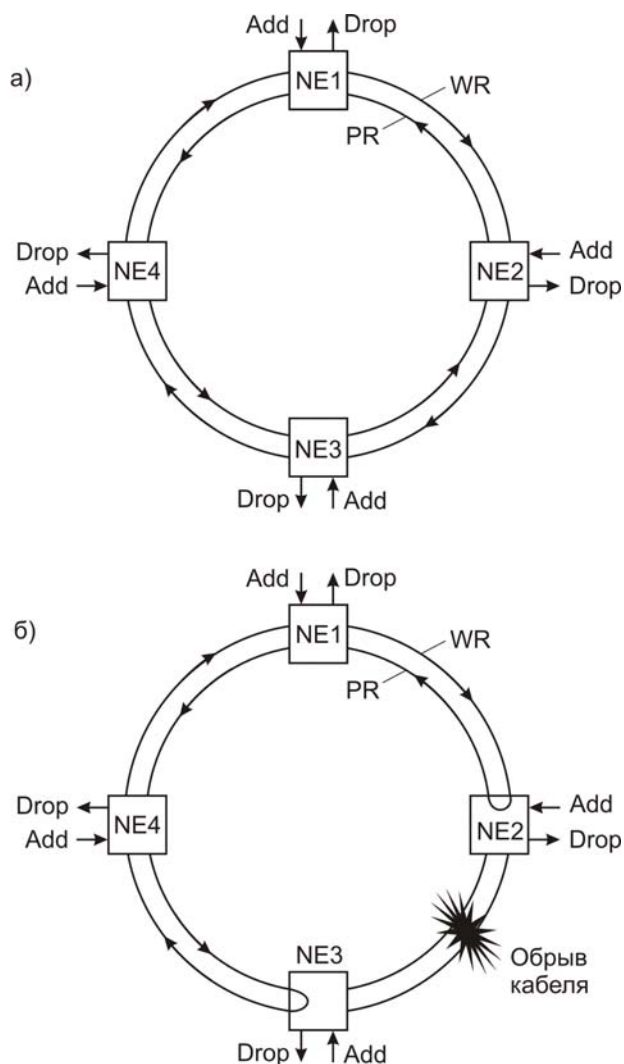


рис. 1. «Классическая» сеть с кольцевой структурой: а — в отсутствие неисправностей; б — после обрыва кабеля

В кольце WR данные передаются в направлении по часовой стрелке, а в кольце PR — против часовой стрелки, при этом кольцо PR включается в работу только в случае обнаружения неисправности, как показано на рис. 1, б.

Каждый узел сети выделяет из проходящего через него потока данных те, которые адресованы ему (функция drop) и на освободившиеся позиции помещает свои данные (функция add). Данные, не имеющие отношения к узлу, транслируются сквозь него к следующему.

Несмотря на простоту такого алгоритма работы узла, его аппаратная структура достаточно сложна, особенно при использовании технологий мультиплексирования по длине

волны, таких как WDM, DWDM и других. В частности, например, узлы должны содержать передатчики, работающие на разных длинах волн. Такие передатчики относительно сложны и дороги.

Другой недостаток сети состоит в том, что для передачи данных, например, из узла NE1 в узел NE4 (рис. 1, *a*) приходится их транслировать через узлы NE2 и NE3, поскольку кратчайший путь недостижим из-за пассивного состояния запасного кольца PR. Кроме того, в такой сети нет должного параллелизма, а именно, нет возможности передачи разных или одинаковых данных одновременно нескольким или всем узлам.

Имеются и прочие недостатки, например, связанные с необходимостью введения средств запрета повторного пробега сигналов по кольцу.

Все эти недостатки устранены в структуре, предложенной в [1] (рис. 2).

Прежде всего, отметим, что на этом рисунке показаны элементы сети, часть которых должна быть выключена при её настройке, как будет показано далее. Иными словами, здесь отражены потенциальные возможности соединений между узлами; в каждой конкретной ситуации задействуются только «нужные» элементы и соединения.

Сеть построена на основе N концентрических оптоволоконных колец — по числу её узлов (в данном примере $N = 4$). Для обмена данными используются оптические сигналы с N длинами волн, в данном примере, сигналы с длинами волн $\lambda_1 — \lambda_4$. Каждый узел принимает данные из «своего» кольца, точнее, из его разреза. Сигналы с обеих сторон разрезанного кольца поступают на входы сумматора s и далее на фильтр F , который разделяет суммарный сигнал на три составляющие из множества сигналов с длинами волн $\lambda_1 — \lambda_4$.

Эти сигналы воспринимаются трёхканальным приёмником Rx и индивидуально обрабатываются узлом. Логика работы сети после её настройки такова, что сигнал с одной и той же длиной волны не может поступать сразу на обе стороны разрезанного кольца.

Каждый узел содержит также несколько передатчиков, работающих на одной и той же длине волны. Имеется возможность одновременной индивидуальной выдачи из некоторого узла одинаковых или разных данных во все кольца, кроме своего. После настройки сети половина общего числа передатчиков отключаются, включёнными остаются только те, которые позволяют передавать данные между узлами сети по кратчайшим расстояниям.

В примере, приведенном на рис. 2, *б*, показаны ключи SW для передачи оптических сигналов в разные кольца, а в каждом кольце — по разным направлениям (по часовой или против часовой стрелки). Так, верхний ключ SW направляет энергию верхнего оптического передатчика Tx во внутреннее кольцо сети в направлении против часовой стрелки и т. д. Управление ключами осуществляется процессором соответствующего узла (процессор на рисунке не показан).

Передаваемый пакет данных содержит в заголовке номер узла-приёмника. Номер узла-передатчика в пакете может отсутствовать, так как передатчик однозначно идентифицируется приёмником по длине волны, на которой шла передача.

Для восстановления уровня сигналов при их пробеге по кольцу применены однонаправленные и двунаправленные оптические усилители. После настройки параметров сети часть однонаправленных усилителей может быть отключена. Двунаправленные усилители также могут отключаться или переводиться в режим однонаправленного усиления сигналов. Отметим, что в выключенном состоянии оптический усилитель остаётся прозрачным в обоих направлениях.

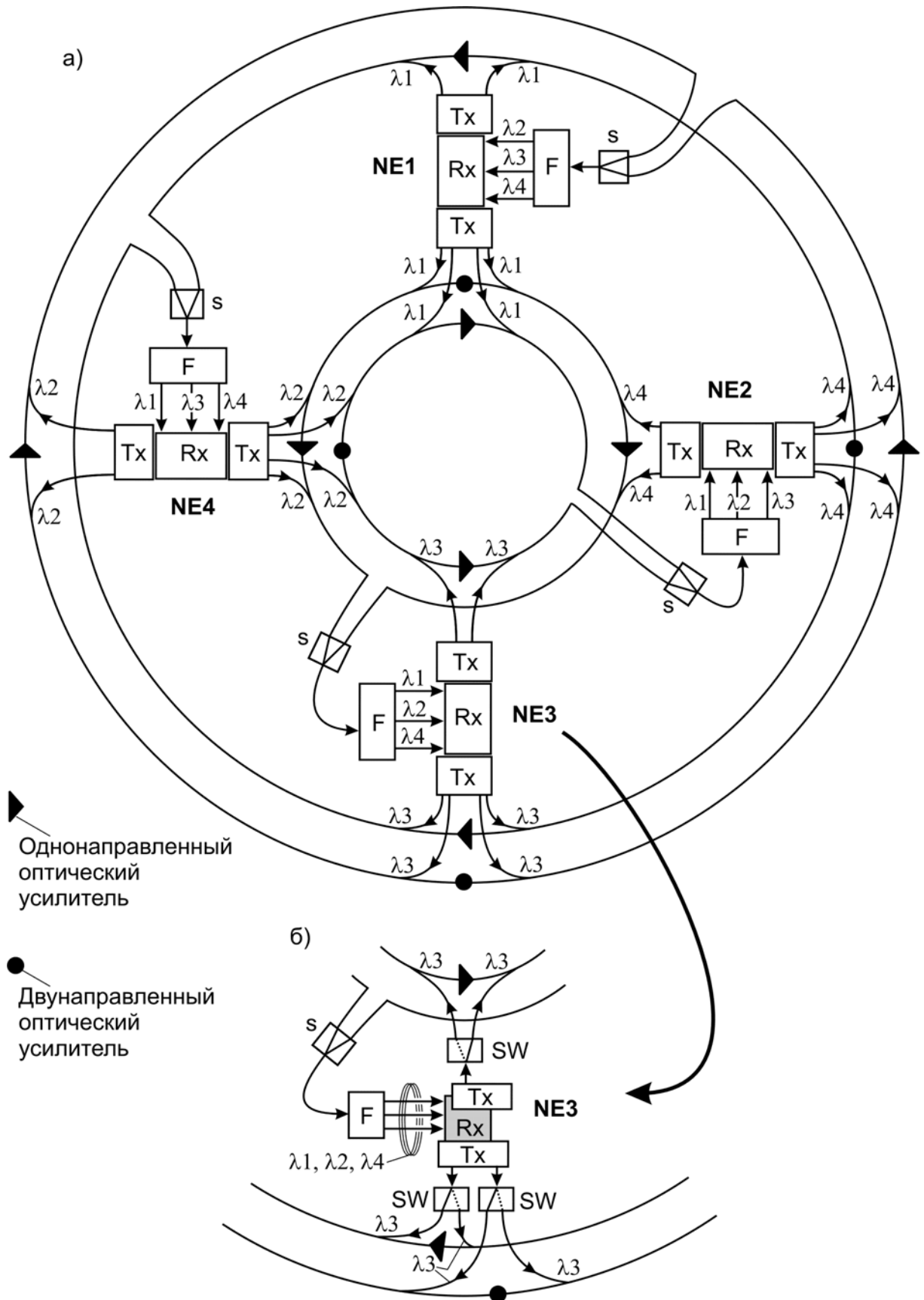


рис. 2. Предлагаемая структура кольцевой сети (первый вариант) до настройки параметров:
a — общая структура; *б* — развёрнутая схема узла NE3

В отсутствие неисправностей элементы сети настраиваются в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3. В данном случае «лишние» передатчики и оптические усили-

тели выключены. Выключенные передатчики на рисунке не показаны, выключенные усилители зачёркнуты.

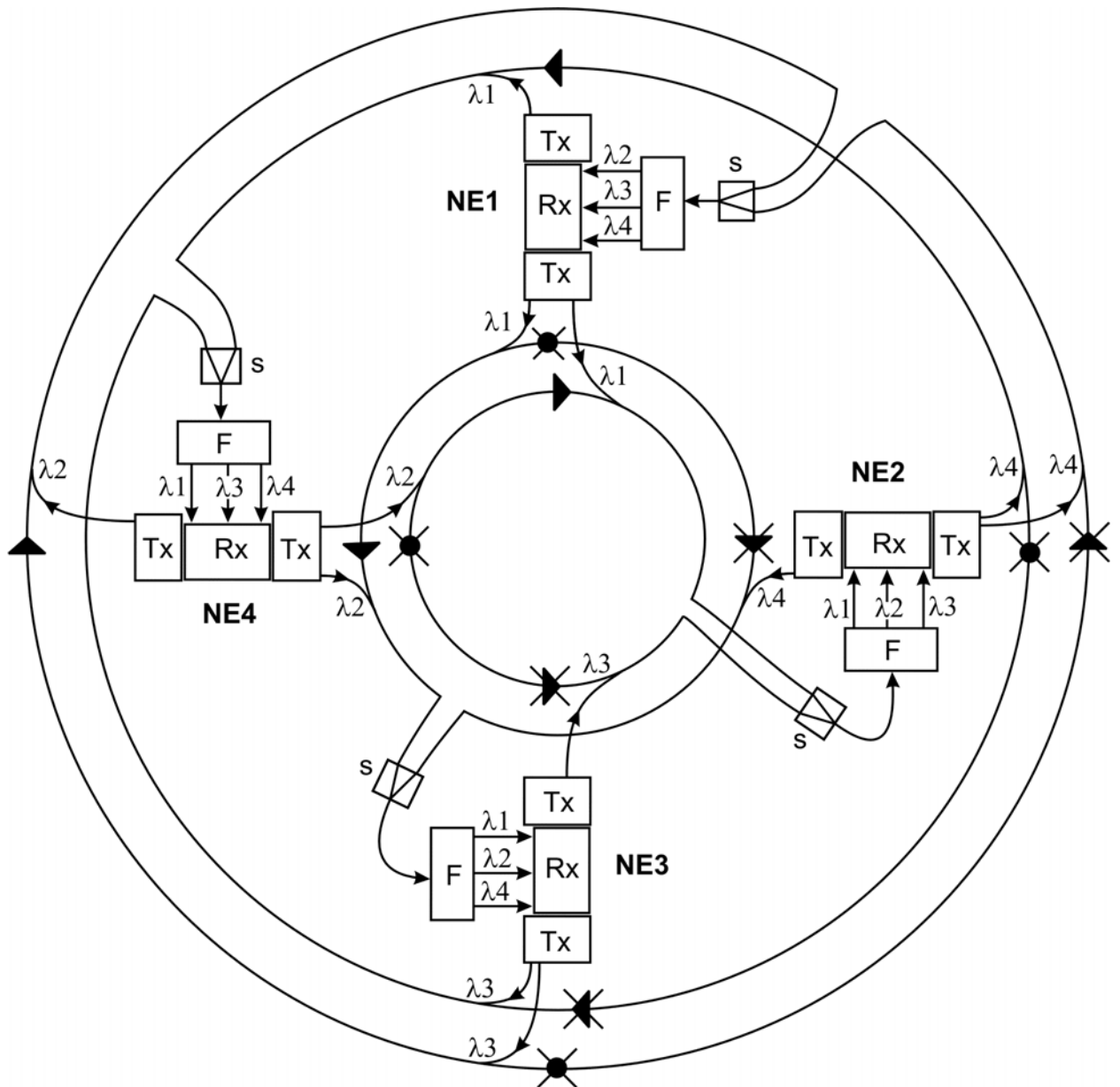


рис. 3. Предлагаемая структура кольцевой сети (первый вариант) после настройки параметров при работе в отсутствие неисправностей

Настройка сети такова, что данные передаются между соседними узлами только по кратчайшим путям. Так, передача данных из узла NE4 в узел NE1 осуществляется сигналом с длиной волны λ_2 , который распространяется по внешнему кольцу только по часовой стрелке. По этому же кольцу из узла NE2 в узел NE1 данные передаются с помощью сигнала с длиной волны λ_4 , но при этом направление передачи противоположное (только против часовой стрелки).

При равных по длине путях с помощью соответствующей настройки выбирается только один из них. Например, для передачи данных из узла NE1 в узел NE3 выбран путь по внутреннему кольцу в направлении против часовой стрелки, при этом восстановление уровня сигнала осуществляется однонаправленным оптическим усилителем узла NE4.

Чем вызвана необходимость выключения одного из передатчиков при выдаче данных в некоторое кольцо? Дело в том, что если оставить включёнными оба передатчика, то в результате одновременного прибытия одноимённых битов к месту разреза кольца, на выходе соответствующего сумматора s будет сформирован неправильный сигнал — ре-

зультат наложения двух сигналов, взаимно смещённых на неопределённый промежуток времени.

После обнаружения отказа, например, одновременного обрыва всех жил кабеля на трассе между узлами NE4 — NE1 (рис. 4) узлы сети адаптируются к нему изменением настроек передатчиков и режимов работы оптических усилителей.

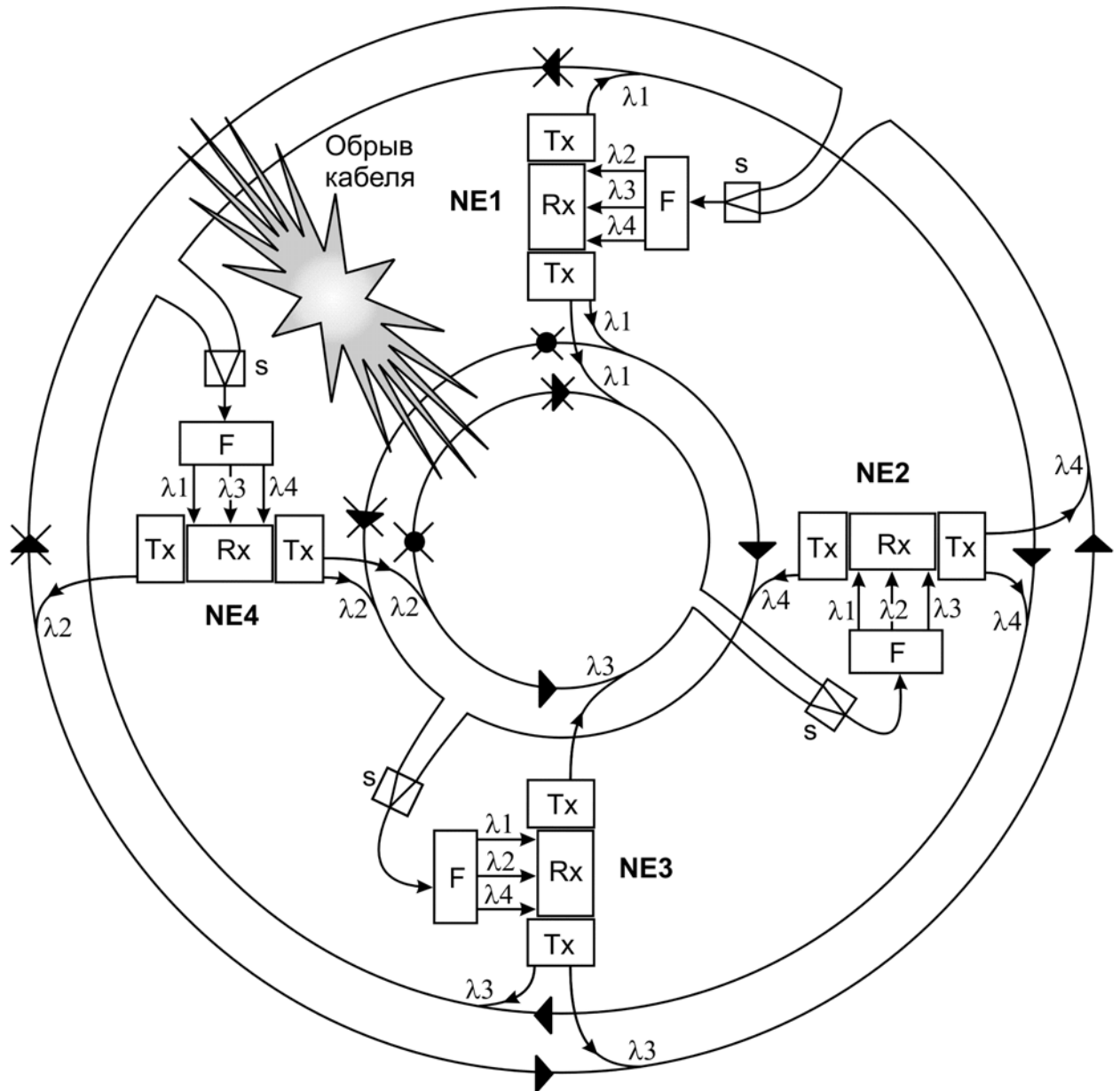


рис. 4. Предлагаемая структура кольцевой сети (первый вариант) после адаптации к обрыву кабеля между узлами NE1 и NE4.

В результате адаптации неисправность изолируется, все трассы передачи сигналов, оказавшиеся разорванными, прокладываются вновь в обход места разрыва и запоминаются. Например, данные из узла NE1 теперь передаются в узел NE4 не по короткой, а по длинной трассе в направлении: NE1 → NE2 → NE3 → NE4. На соответствующем кольце выключается однонаправленный усилитель узла NE1, включается ранее выключенный однонаправленный усилитель узла NE3, а двунаправленный усилитель узла NE2 переводится в режим однонаправленного усиления сигнала.

Во втором варианте структуры, предложенном в [1] (рис. 5), все передатчики узлов постоянно включены, выбор нужных сигналов в каждом узле осуществляется коммутатором на входе трёхканального приёмника Rx. Коммутаторы управляются процессорами (на

рисунке не показаны). Приведенная на рисунке настройка коммутаторов обеспечивает кратчайшие пути передачи сигналов между узлами.

После адаптации к неисправности (обрыву кабеля) новые настройки коммутаторов позволяют выбрать обходные пути передачи данных (рис. 6). При этом выключаются шесть оптических усилителей, которые ранее обслуживали отказавший сегмент кольцевой структуры.

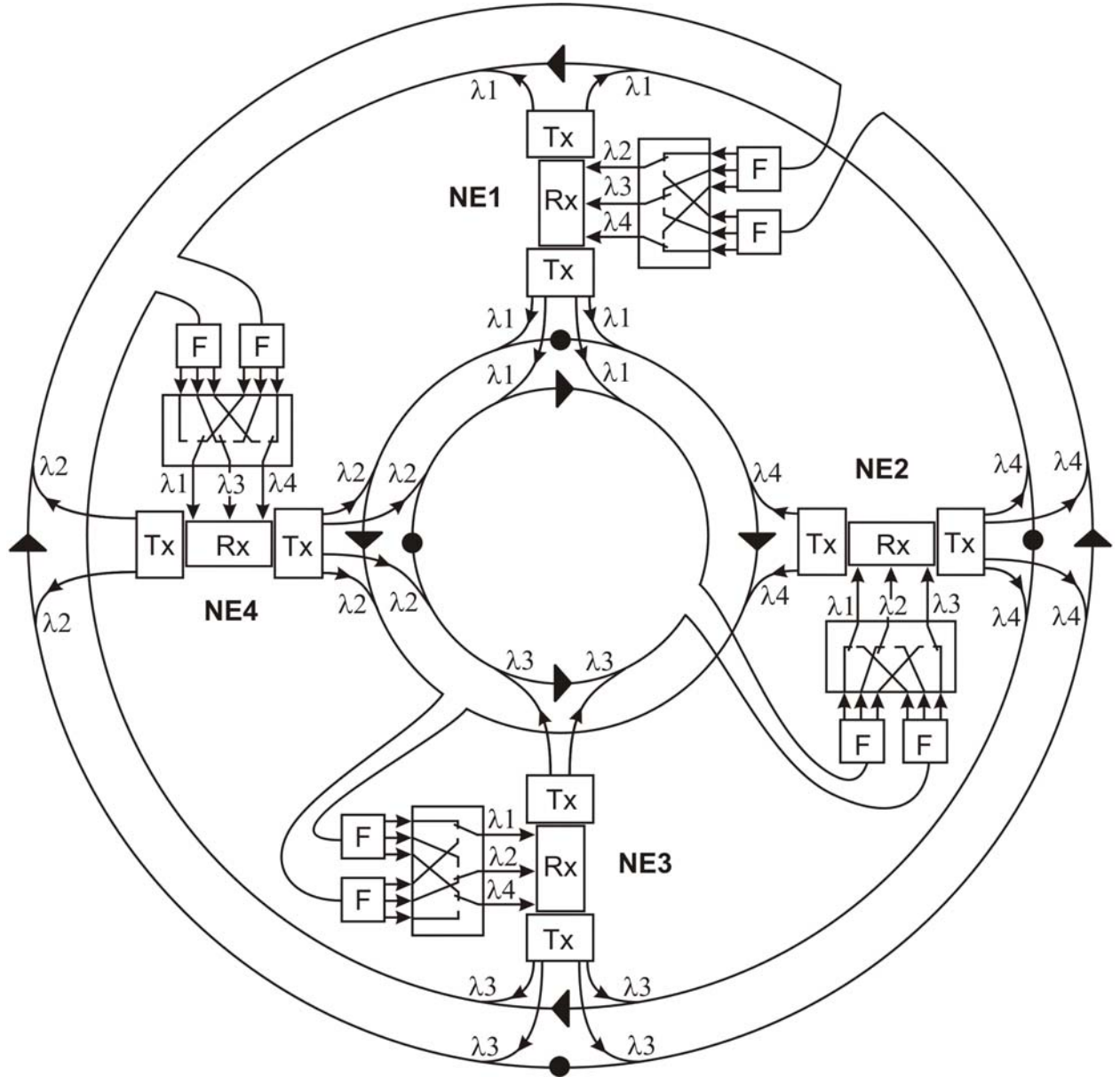


рис. 5. Предлагаемая структура кольцевой сети (второй вариант) в отсутствие отказов
настройка параметров выполнена

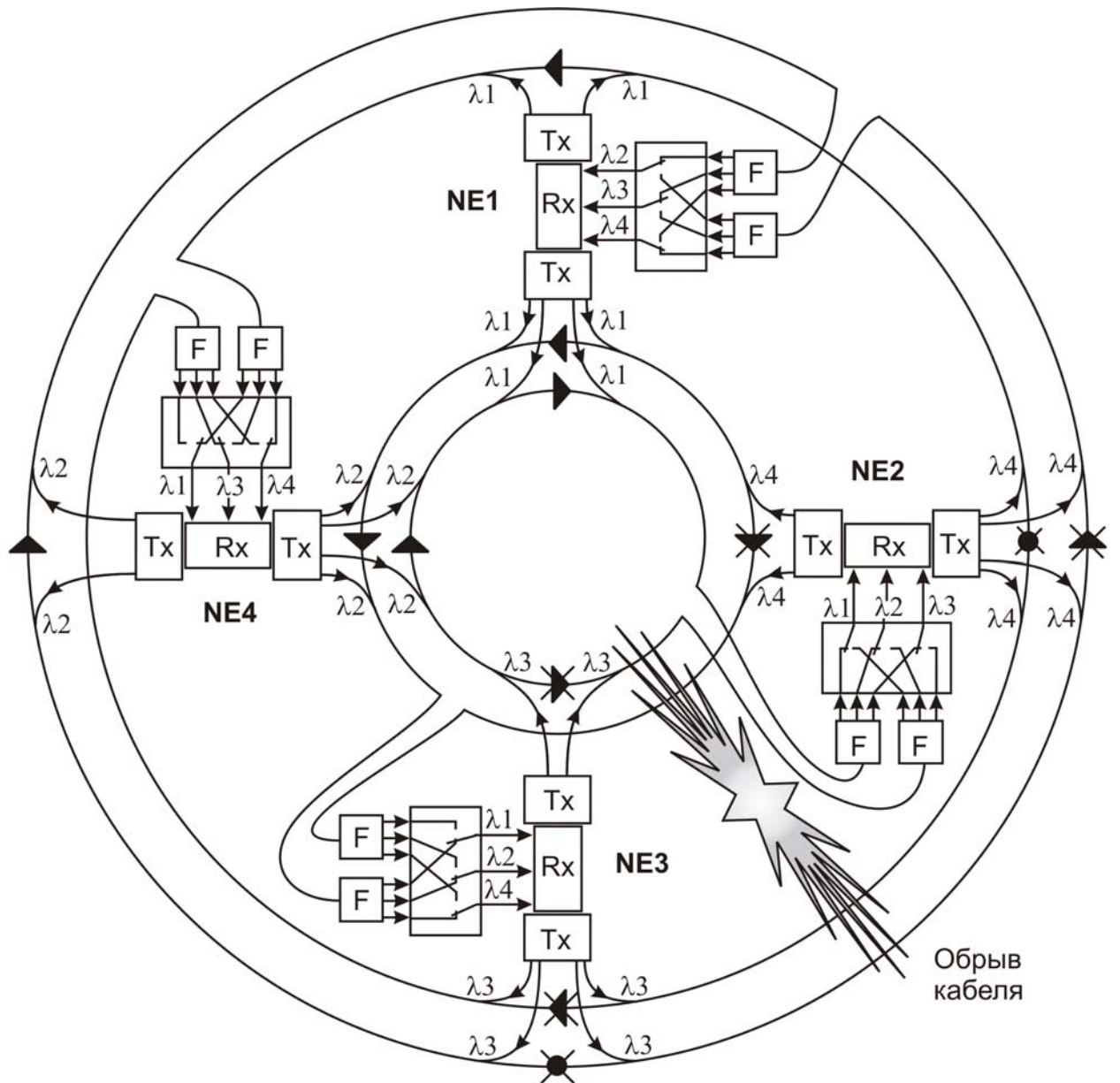


рис. 6. Предлагаемая структура кольцевой сети (второй вариант) после адаптации к обрыву кабеля между узлами NE2 и NE3

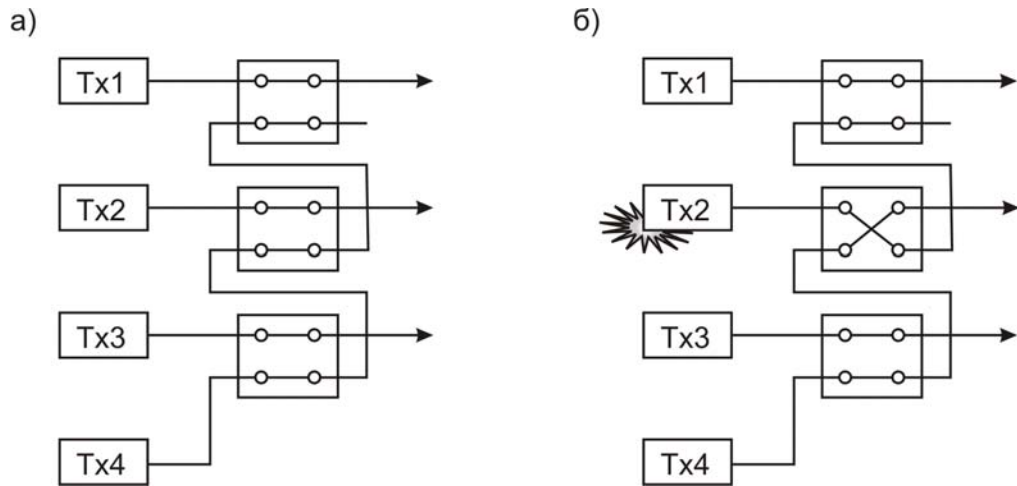


рис. 7. Резервированная группа передатчиков: *a* — в отсутствие отказов;
б — после адаптации к отказу передатчика Tx2

Для защиты от отказа передатчика можно применить схему, приведенную на рис. 7.

При нормальной работе сети сигналы с выходов передатчиков Tx1 — Tx3 поступают через соответствующие коммутаторы в кольцевую структуру. Резервный передатчик Tx4 выключен. После обнаружения отказа передатчика Tx2 структура его коммутатора перестраивается, и вместо отказавшего передатчика включается в работу резервный.

Преимущества рассмотренных решений достигнуты благодаря увеличению числа оптических волокон в кабелях. Но это не составляет особой проблемы — обычно при прокладке магистральных кабелей «на будущее» закладывается многократный запас оптических волокон, которым можно воспользоваться.

1. Пат. США № 6.868.234 В1 <http://www.uspto.gov>.