Сети с архитектурой «точка — много точек», последовательный и незамкнутой кольцевой варианты

Рассмотренные способы передачи данных [1] применимы также и к другим вариантам построения сетей с архитектурой типа «точка — много точек».

Так, в схеме, приведенной на Рис. 1, *а* [2], узлы сети растянуты в линию, сплиттер распался на ряд элементарных разветвителей — сумматоров оптических сигналов. Такая структура внешне напоминает «Общую шину», но принципиально отличается от неё тем, что узлы сети неравноправны, среди них есть один ведущий и группа ведомых. Ведомые узлы не имеют возможности передавать данные непосредственно друг другу — такие передачи осуществляются только при участии посредника — ведущего узла.

В данном примере использованы сигналы с длинами волн λ– и λ+. Для опроса всей группы из N ведомых устройств с использованием мультиплексирования с временным разделением каналов (технология TDM) необходимы N/2 или (N + 1)/2 таймслотов соответственно для чётных и нечётных N.

Отметим, что в этой и подобных схемах можно использовать идею, предложенную в [3]. Она заключается в том, что по результатам предварительного тестирования ведущий узел накапливает информацию об оптимальном способе модуляции сигнала при обмене данными с каждым ведомым узлом. Критерии оптимальности — максимально достижимая скорость передачи данных при хорошем соотношении Сигнал — шум. В рабочем режиме в зависимости от адреса ведомого устройства выбирается тот или иной заранее выбранный способ модуляции.

Если в схеме, приведенной на Рис. 1, *а*, к ведущему узлу подключить также и дальний узел цепи из ведомых и добавить в каждый узел передающий и приёмный порты для передачи данных в противоположных направлениях, то получим структуру, показанную Рис. 1, *б* [2, 4]. Она внешне напоминает кольцо, но из-за отмеченной выше неравноправности узлов представляет собой петлю (разомкнутое кольцо). Далее, однако, для краткости эта и последующие схожие с ней структуры именуются кольцевыми.

Ведущий узел в большинстве случаев принадлежит сети более высокого уровня (на рисунке не показана) и обеспечивает доступ к ней со стороны ведомых узлов.

Основное достоинство структуры, показанной Рис. 1, *б*, — защищённость от отказов линий связи. Рассмотрим эту структуру подробнее.

Ведущий узел содержит два одинаковых порта. Каждый порт ведущего узла содержит передатчик Tx, приёмник данных Rx и приёмник MON сигнала мониторинга передатчика Tx соседнего порта.

При нормальной работе сети ведущий узел посылает одинаковые данные через оба передатчика Tx. Эти данные проходят через соответствующие разделители двунаправленных сигналов по направлениям и поступают во внешнее кольцо сети. Далее эти сигналы распространяются во встречных направлениях, их энергия частично ответвляется в каждый ведомый узел через соответствующий концентратор.

Концентратор принимает сигнал из линии связи и разделяет его на две части, не обязательно одинаковые. Так, в начале петли, близ соответствующего передатчика Tx ведущего узла, меньшая часть энергии может ответвляться в ведомые узлы, и, следовательно, б***о***льшая её часть передаётся по петле в сторону удалённых от этого передатчика ведомых узлов. На дальней стороне петли энергия перераспределяется в пользу ведомых узлов. Таким образом, в любой ситуации одна часть энергии продолжает распространение по петле, вторая ответвляется в очередной ведомый узел.

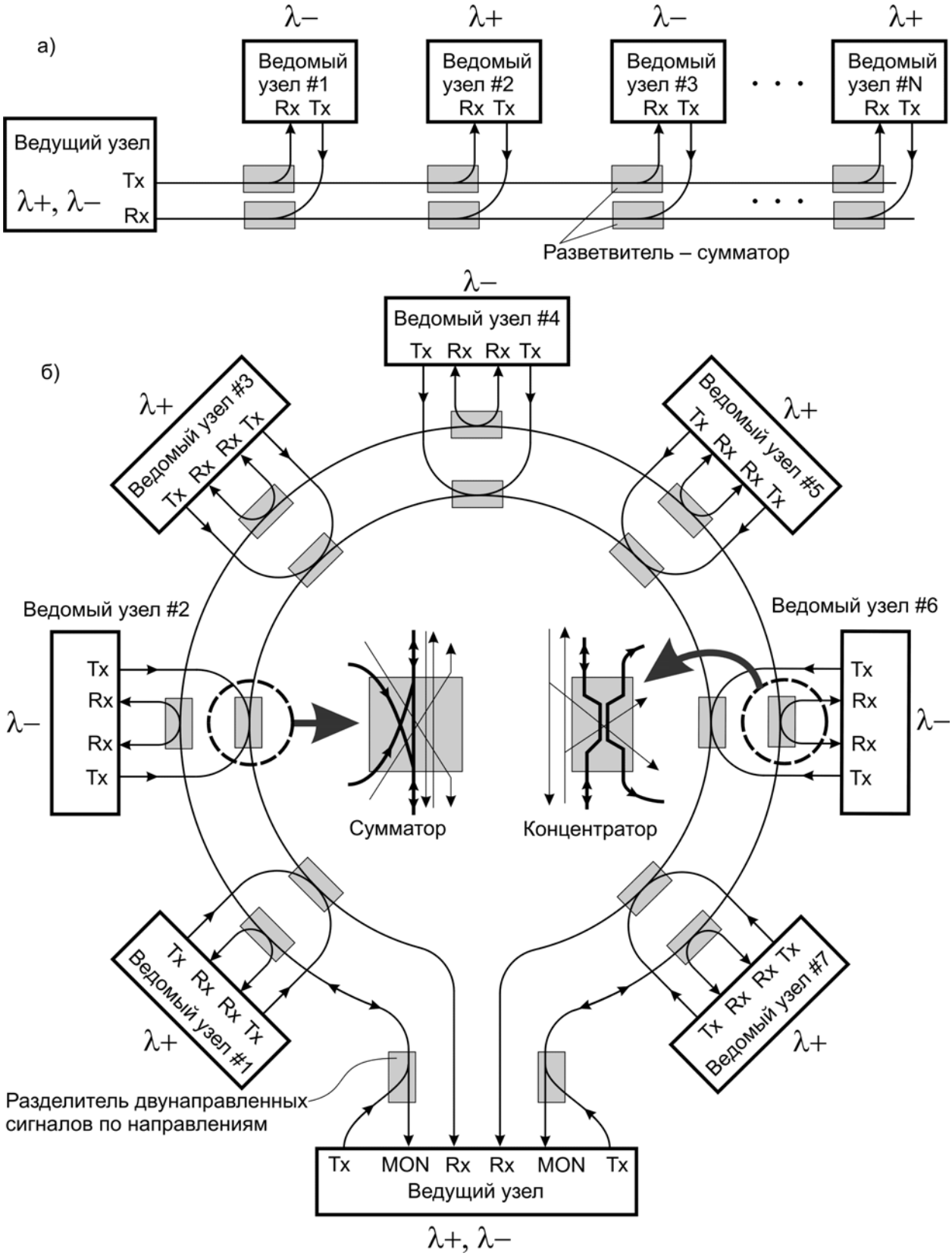

Рис. 1. Кольцевая сеть с защитой от отказов линий связи, первый вариант

Итак, каждый ведомый узел получает на входы Rx пары одинаковых кадров. Один из кадров, вероятнее всего, поступает в ведомый узел раньше другого, но это не имеет принципиального значения. Встречные сигналы Tx в конечном счёте возвращаются по внешнему и внутреннему кольцам в ведущий узел через соответствующие разделители двунаправленных сигналов по направлениям. Они проходят через приёмники MON и ана-

лизируются сравнением с заведомо правильной версией кадра. Разделители двунаправленных сигналов по направлениям могут быть выполнены по схеме, приведенной в [1].

Как и в рассмотренных ранее решениях [1], при опросе ведомых узлов в режиме TDM ведущий узел посылает всем им широковещательную команду Старт. В ответ на эту команду каждый ведомый узел запускает свои внутренние часы и в отведённый ему промежуток времени (таймслот) передаёт ведущему узлу одновременно два одинаковых кадра. Эти кадры распространяются по внутреннему кольцу сети во встречных направлениях. Для передачи сигналов во внутреннее кольцо использованы сумматоры оптических сигналов.

Сумматор транслирует сигнал по кольцу в обоих направлениях. К этому сигналу, возможно, добавляется сигнал с другой длиной волны, так как в данном примере в каждом таймслоте одновременно передаются до двух кадров на несущих длинах волн λ– и λ+.

На Рис. 1, *б* показано, что для выдачи сигналов из ведомого узла во внутреннее кольцо в сумматоре применены перекрёстные связи. Это значительно уменьшает взаимную паразитную подсветку выходов синхронно работающих передатчиков Tx одного и того же ведомого узла, что могло бы привести к их нестабильной работе. Кроме того, конструкция сумматора такова, что сигнал, распространяющийся по внутреннему кольцу, практически не ответвляется в сторону передатчиков Tx ведомого узла. Идеи построения подобных конструкций были описаны в [1].

Ведущий узел может также индивидуально обращаться к любому ведомому по его адресу, который указывается в кадре. В частности, ведущий узел может «попросить» выбранный ведомый узел выдать ведущему некоторые данные сразу же по окончании кадра с такой «просьбой».

Вернёмся к схеме, показанной на Рис. 1, *б*. Пара пакетов, переданная ведомым узлом (узлами), поступает одновременно или почти одновременно на входы Rx ведущего узла. Этот узел использует любой из них (предполагаем, что оба пакета безошибочны) для дальнейшей обработки.

В данной сети обнаруживаются ошибки, связанные с неисправностями линии связи. Разрыв кольца приводит к исчезновению одного из сигналов, поступающих на входы MON мониторинга передатчиков Tx, или (и) к поступлению на разные входы Rx ведущего узла не парных, а одиночных кадров от ведомых узлов. При этом работа сети не нарушается, так как в отсутствие дополнительных неисправностей можно работать и с одиночными экземплярами кадров от ведомых узлов. Передаваемые из ведущего узла кадры попрежнему генерируются в двух экземплярах. Это позволяет доставить кадр всем ведомым узлам, несмотря на обрыв кабеля.

В схеме, приведенной на Рис. 2, двунаправленные связи заменены однонаправленными. При этом число волокон в кабелях увеличилось от двух до четырёх, но упростились конструкции соединительных элементов, уменьшен их вклад в затухание сигналов. Поэтому соответственно увеличен диаметр кольцевой структуры. В дополнение к этому, ведущий узел имеет возможность сигналами Y по собственной инициативе проверять целостность кольцевых линий передачи сигналов передатчиков Tx ведомых узлов.

В схеме, представленной на Рис. 3, число волокон в кабелях уменьшено до одного благодаря тому, что все связи выполнены двунаправленными. Для передачи данных из ведущего узла к ведомым использован сигнал с длиной волны λ1, для передачи данных в обратном направлении — сигнал с длиной волны λ2.

Сигналы с длиной волны λ1 формируются ведущим узлом и распространяются по петле во встречных направлениях, частично ответвляясь в каждый ведомый узел. Сигналы с длиной волны λ2 формируются ведомыми узлами и распространяются только по петле во встречных направлениях, не отклоняясь в ответвления.

Соединительные элементы здесь более сложны — они дополнительно содержат фильтры F для разветвления сигналов с длиной волны λ1 и трансляции по кольцу (но не в

ответвления от него) сигналов с длиной волны λ2. Из-за большего затухания сигнала в соединительных элементах диаметр кольцевой структуры уменьшается.

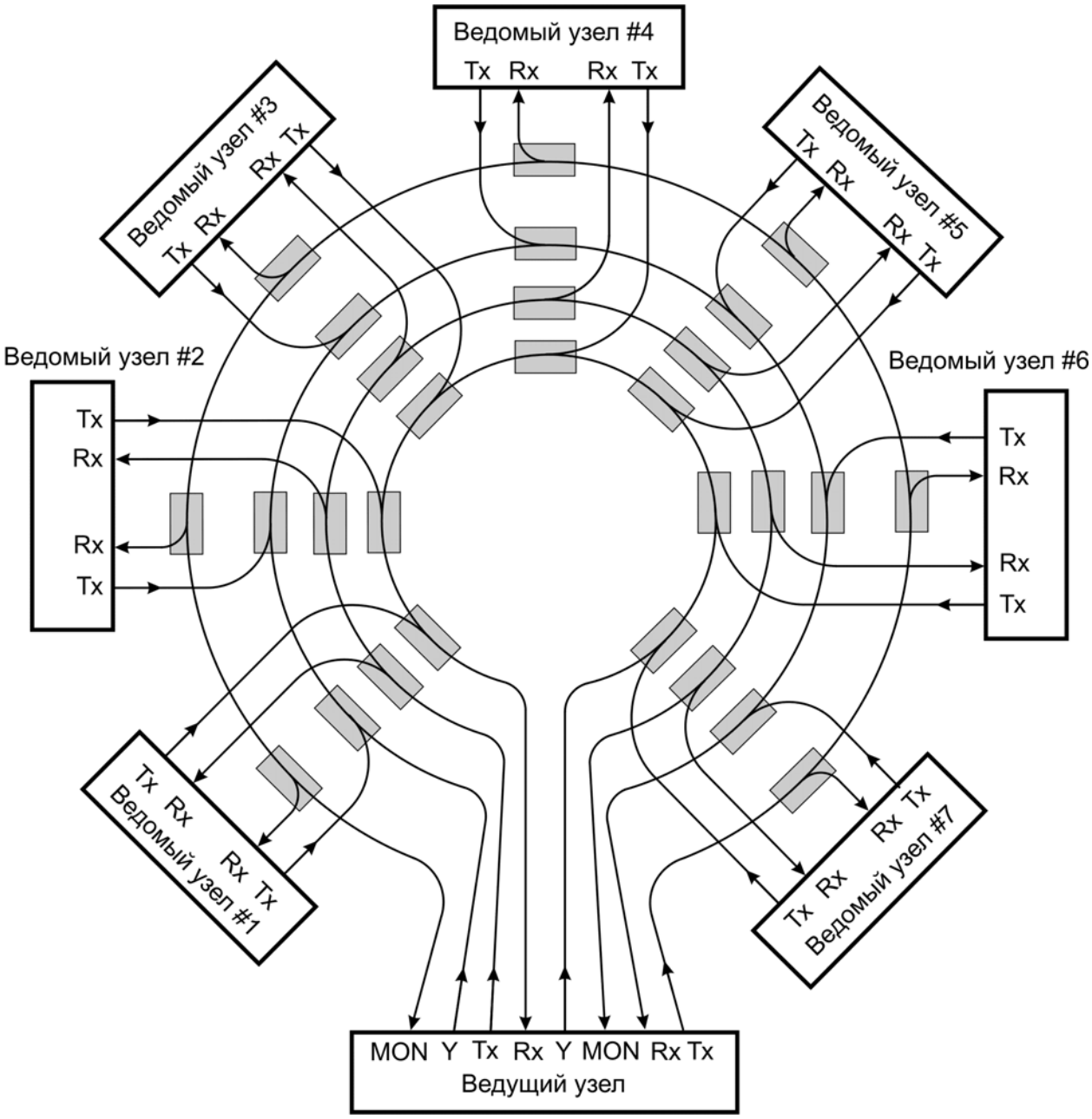

Рис. 2. Кольцевая сеть с защитой от отказов линий связи, второй вариант

Дополнительные возможности передачи данных по сети иллюстрируются схемой, показанной на Рис. 4. В данном примере за основу принята ранее рассмотренная схема (Рис. 1, *б*). Для передачи и приёма данных ведущим и ведомыми узлами используется сигналы с длиной волны λ1 и их разделением во времени, как было описано ранее. Дополнительные возможности заключаются в том, что в сеть введён передатчик сигналов с длиной волны λ2, например, для передачи одному или нескольким абонентам телевизионных программ.

Сигнал от этого передатчика через соответствующий сумматор S вводится во внешнее кольцо структуры и распространяется по нему, частично ответвляясь в каждый ведомый узел. Ведомые узлы, однако, не воспринимают его, так как они нечувствительны к сигналам с длиной волны λ2. Для приёма сигнала с этой длиной волны введён фильтр F, выход которого соединён с входом приёмника телевизионных программ, размещённого

вблизи узла #4. Такие же фильтры и приёмники могут подключаться и рядом с остальными узлами сети.

Дополнительный канал связи между ведущим и одним или несколькими ведомыми узлами можно выполнить двунаправленным, как показано на Рис. 5. В данном случае основная схема (кольцевая структура), как и в предыдущем примере (Рис. 4), функционирует с использованием сигналов с длиной волны λ1. В дополнительном канале для передачи данных со стороны, приближенной к ведущему узлу, использованы сигналы с длинами волн λ2 — λ4, а для приёма данных — сигналы с длинами волн λ5 — λ7. В зависимости от тарифного плана, выбранного пользователем узла #4, ему предоставляется та или иная полоса пропускания дополнительного канала связи. В данном примере она определяется сигналами с длинами волн λ2, λ3 и λ5, λ7 соответственно для приёма и передачи данных.

В схеме, приведенной на Рис. 6, однонаправленные входные и выходные сигналы дополнительного канала связи как со стороны ведущего, так и со стороны ведомых узлов проходят через мультиплексоры-демультиплексоры и присутствуют во внешнем кольце в виде группы двунаправленных сигналов. Основной канал связи, как и в предыдущих примерах, функционирует с использованием сигналов с длиной волны λ1.

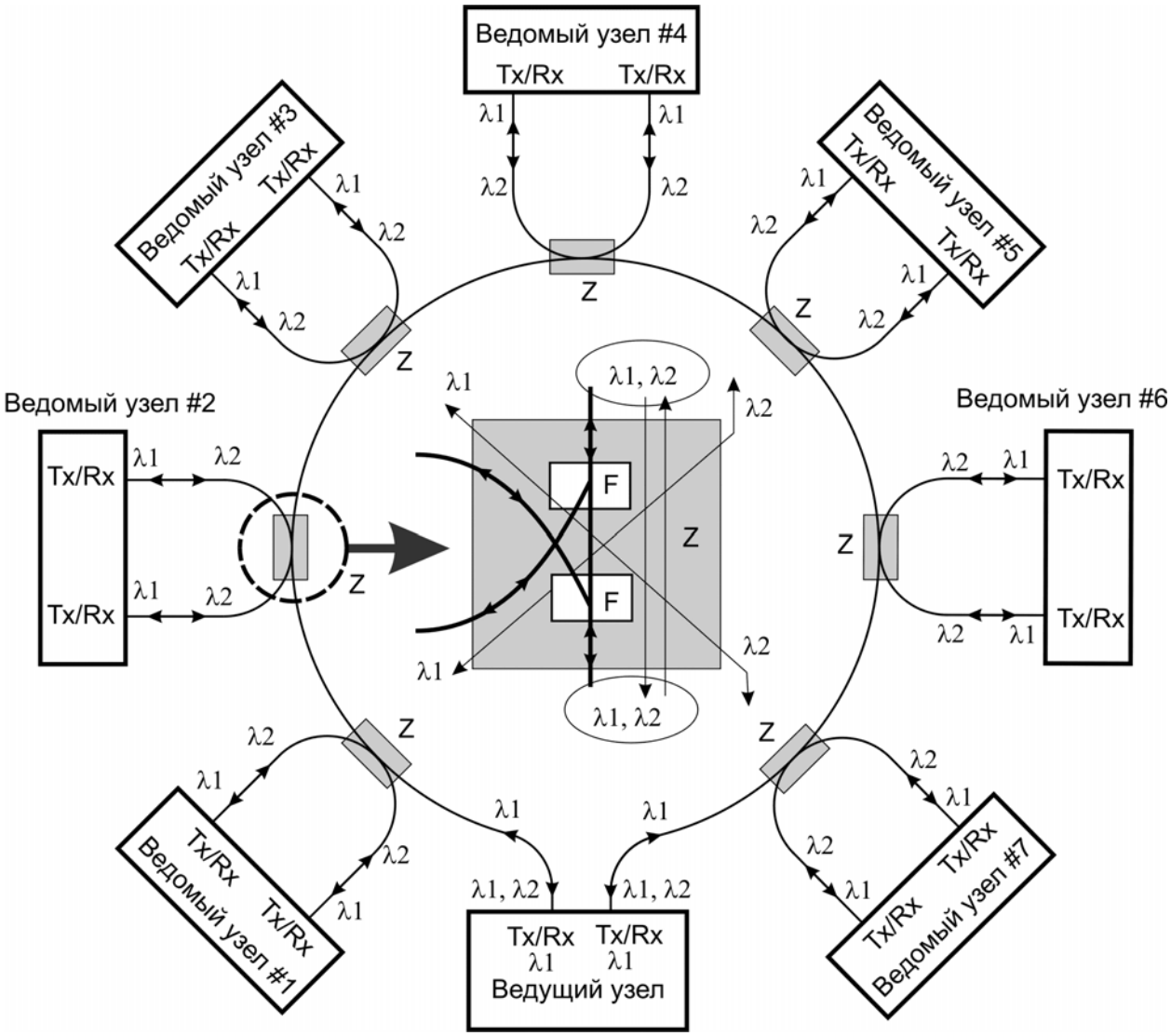

Рис. 3. Кольцевая сеть с защитой от отказов линий связи, третий вариант

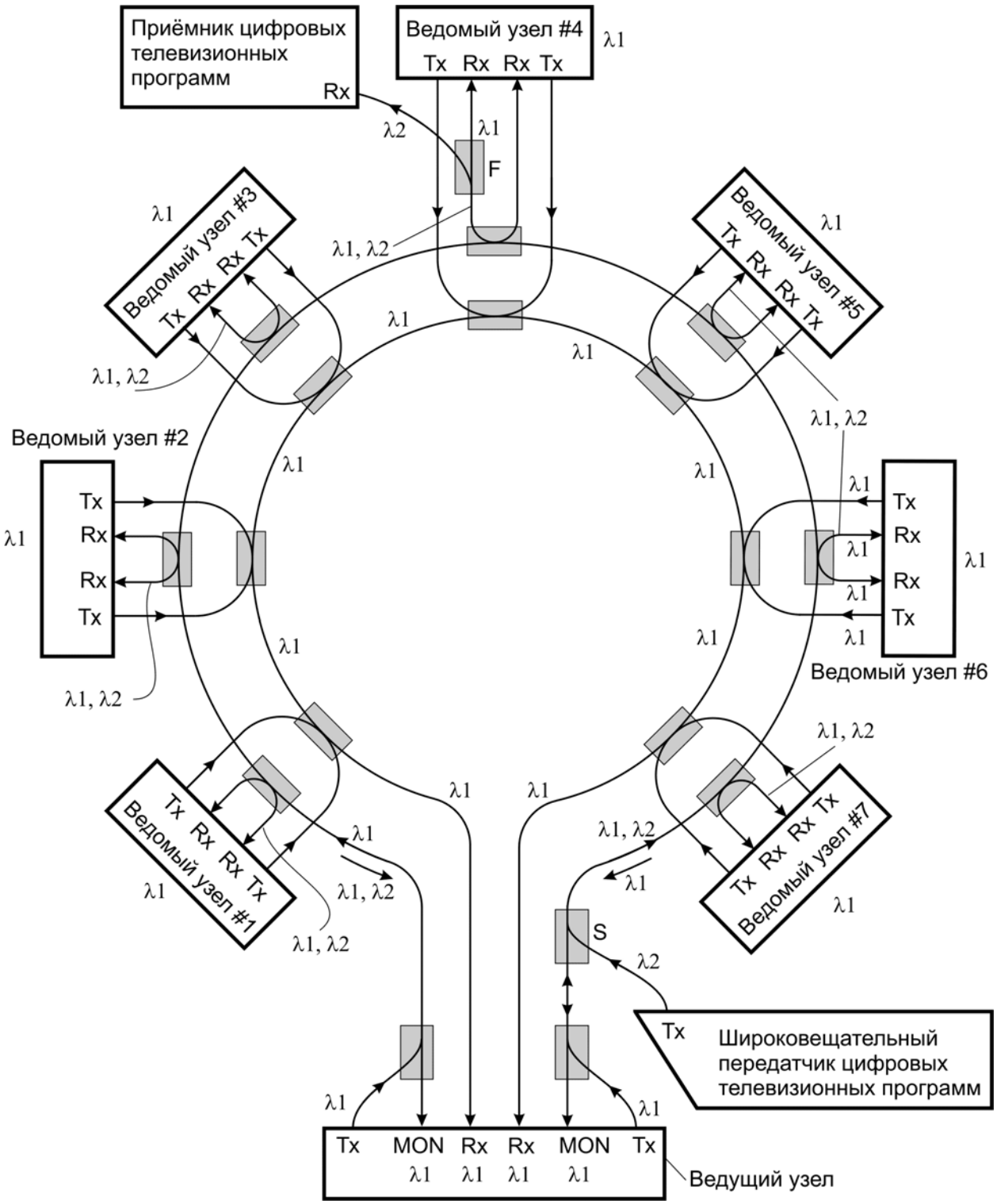

Рис. 4. Кольцевая сеть с защитой от отказов линий связи, четвёртый вариант

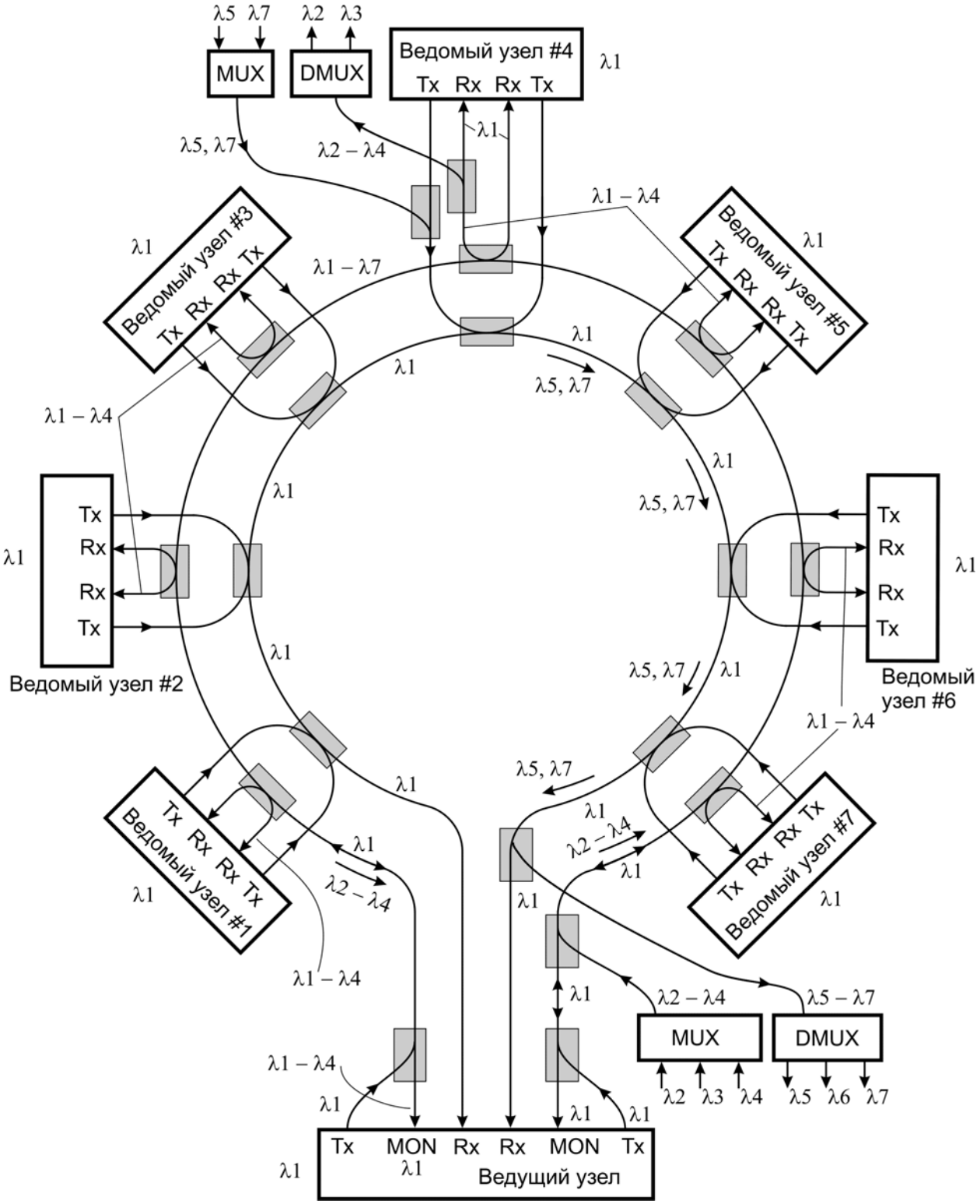

Рис. 5. Кольцевая сеть с защитой от отказов линий связи, пятый вариант

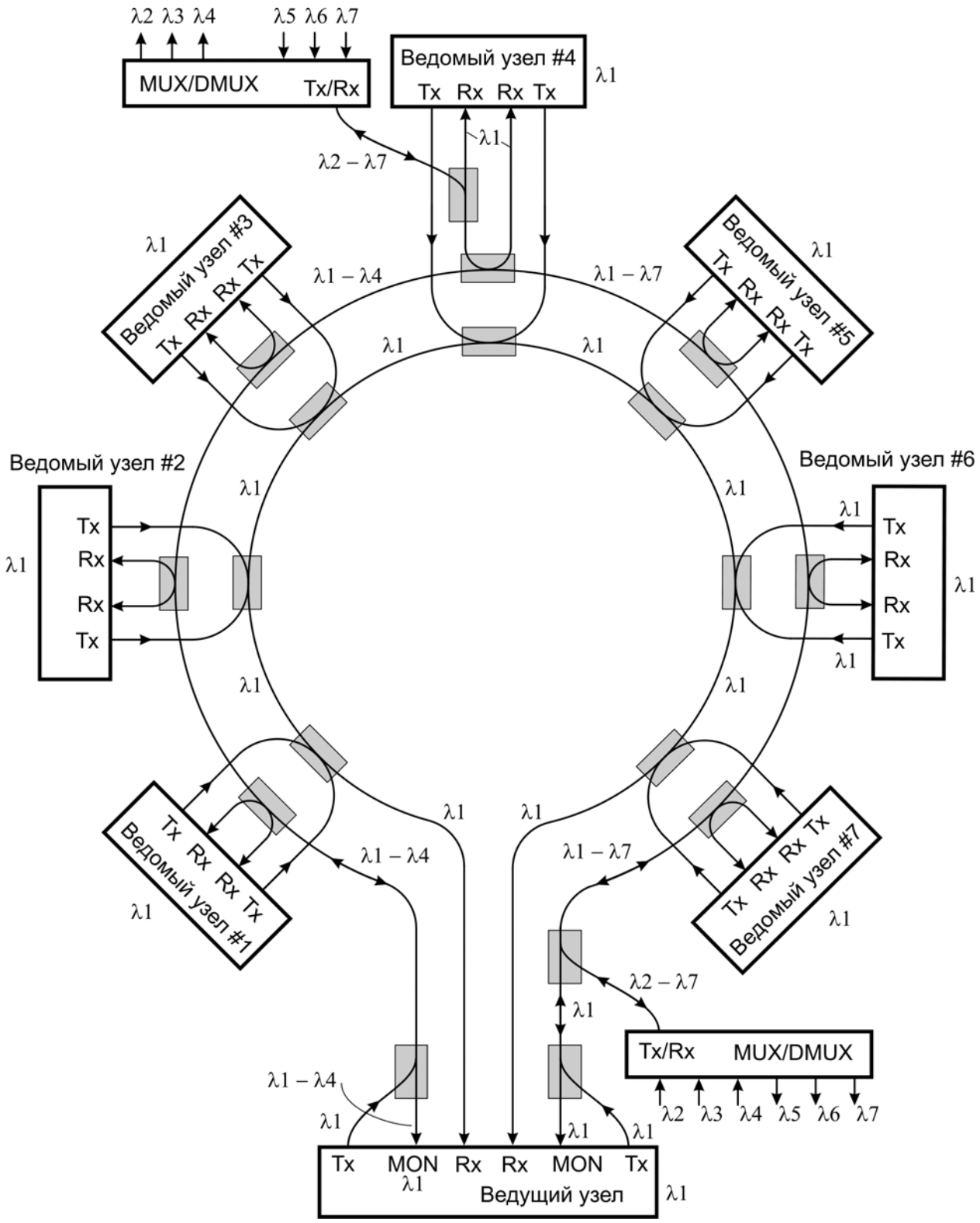

Рис. 6. Кольцевая сеть с защитой от отказов линий связи, шестой вариант

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шевкопляс Б.В. Элементы схемотехники оптоволоконных систем. Инженерные решения.— М.: ИП РадиоСофт, 2011. — 760 с., ил.*
2. *Пат. США № 7.272.321 B1 http://www.uspto.gov.*
3. *Пат. США № 7.277.648 B2 http://www.uspto.gov.*
4. *Пат. США № 7.386.236 B1 http://www.uspto.gov.*