

## Замена индивидуальных передатчиков ведомых узлов одинаковыми отражающими оптическими усилителями RSOA

Приведенные здесь схемы сетей доступа к общему ресурсу [1 — 4] в общих чертах подобны рассмотренным в [5]. Их упрощение во многом определяется применением отражающих полупроводниковых оптических усилителей RSOA (Reflective Semiconductor Optical Amplifier) в качестве передатчиков с автоматической настройкой на нужную длину волны.

Сеть, показанная на Рис. 1, *а*, содержит ведущий, промежуточный и ведомые узлы. Для двустороннего обмена данными между ними используются пары однонаправленных оптических волокон. Каждому ведомому узлу #1 — #N выделена одна длина волны, как для приёма, так и для передачи данных.

Ведущий узел содержит передающий и приёмный блоки на основе одинаковых WDM мультиплексоров — демультиплексоров MX1 и MX2 (для краткости далее именуемых мультиплексорами). Каждый из этих блоков имеет N каналов по числу ведомых узлов.

В каждом нисходящем канале («ведущий — ведомый») передающего блока в качестве источника модулированного светового сигнала применён лазерный диод типа DFB-LD (Distributed Feedback-Laser Diode), хотя может использоваться и иной излучающий элемент. Передача данных в разных каналах осуществляется с использованием индивидуальных длин волн  $\lambda_1$  —  $\lambda_N$ . В каждом канале ведущего узла на модулирующий вход лазерного диода подан сигнал данных в коде «Манчестер». Этот код формируется суммированием по модулю два (логическим элементом Исключающее ИЛИ (XOR)) сигнала данных в коде NRZ и сопровождающего эти данные сигнала синхронизации CLK, как показано на Рис. 1, *б* [6]. Скорость передачи данных по каждому нисходящему каналу составляет 1,25 Гбит/с.

В каждом канале приёмного блока ведущего узла имеется приёмник Rx1 — RxN сигнала от соответствующего ведомого узла #1 — #N. Передача данных в разных каналах восходящего потока (в сторону ведущего узла) осуществляется в коде NRZ с использованием индивидуальных длин волн  $\lambda_1$  —  $\lambda_N$ . Скорость передачи данных по каждому восходящему каналу в данном примере составляет 155 Мбит/с.

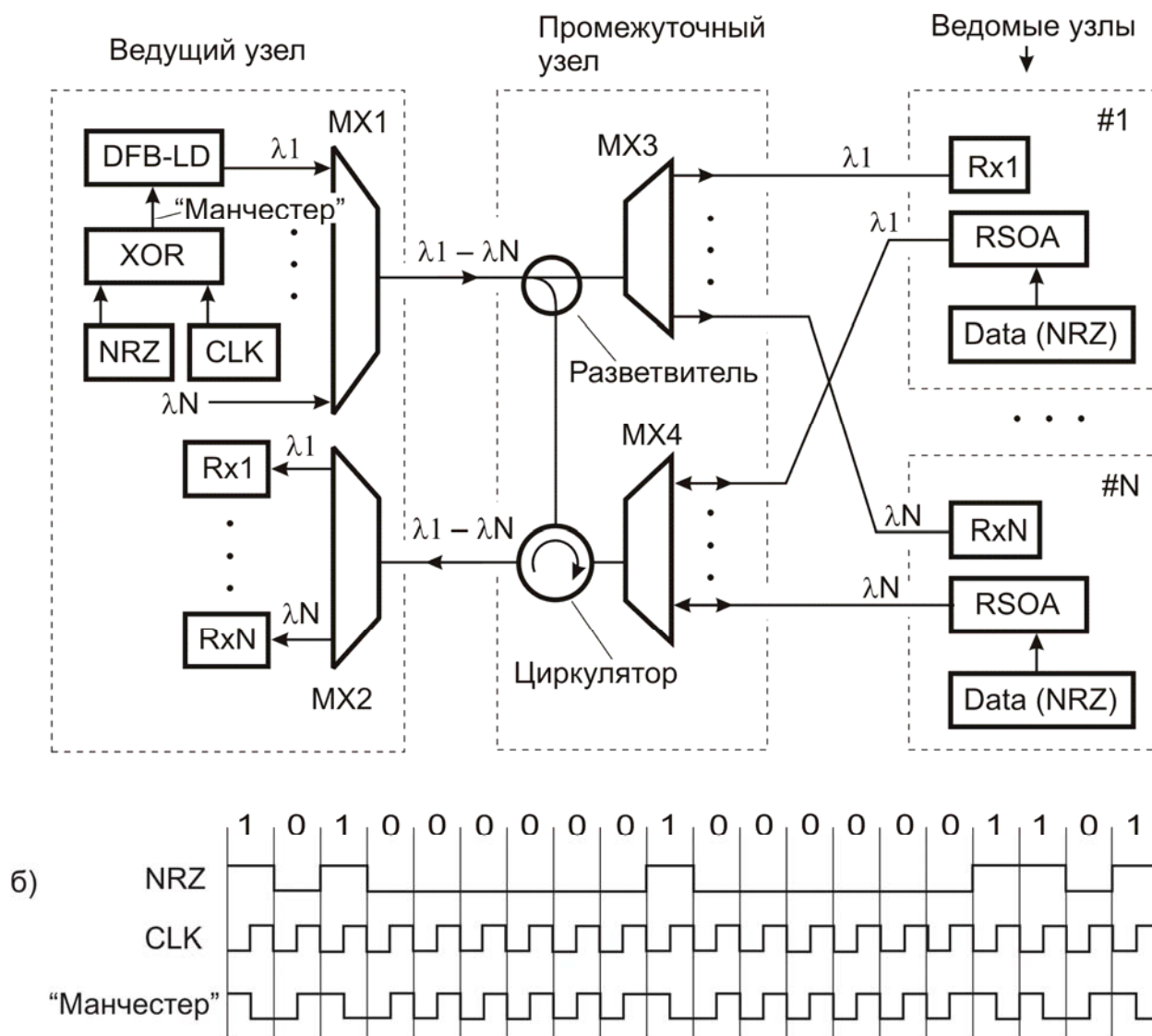


Рис. 1. Структура сети, первый вариант (а) и временная диаграмма (б) формирования кода «Манчестер»

Промежуточный узел удалён как от ведущего, так и от ведомых. Он содержит мультиплексоры MX3 и MX4, аналогичные мультиплексорам MX1 и MX2, разветвитель и циркулятор. Циркулятор разделяет потоки данных по нужным направлениям.

Каждый ведомый узел (#1 — #N) содержит приёмник (Rx1 — RxN), источник данных в коде NRZ и отражающий полупроводниковый оптический усилитель RSOA. Этот усилитель используется в качестве передатчика данных из ведомого узла ведущему.

Главная особенность приведенных здесь структур (Рис. 1 — Рис. 6) состоит в том, что во всех ведомых узлах вместо индивидуальных передатчиков, жёстко настроенных на определённую длину волны, использованы одинаковые оптические усилители RSOA, что дешевле и более удобно в эксплуатации. Каждый оптический усилитель автоматически настраивается на индивидуальную длину волны под действием навязанного извне встречного излучения от соответствующего лазерного диода DFB-LD (или иного источника света) ведущего узла. Пример конструкции усилителя RSOA приведен в [5].

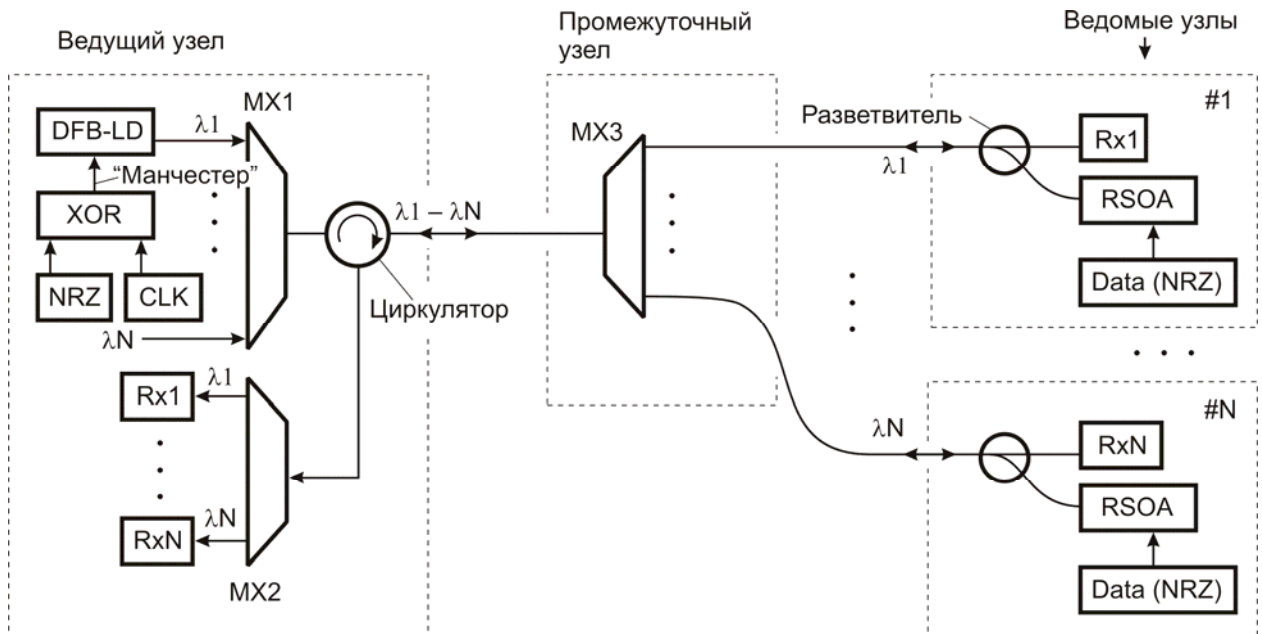


Рис. 2. Структура сети, второй вариант

В общем случае, в сети, показанной на Рис. 1, а, благодаря максимальной степени распараллеливания передач, могут одновременно существовать  $2N$  потоков данных:  $N$  нисходящих и  $N$  восходящих. В восходящих потоках данные представлены в коде NRZ, в нисходящих — в коде «Манчестер»; последнее в данном случае существенно. Поясним сказанное.

Дело в том, что каждый нисходящий поток помимо переноса данных по цепи «выход ведущего узла — разветвитель — мультиплексор MX3 — приёмник ведомого узла» навязывает соответствующему передатчику — усилителю RSOA — длину волны, на которой ведомому узлу следует передавать данные ведущему. Для этого используется путь: «нижний выход разветвителя — циркулятор — мультиплексор MX4 — усилитель RSOA соответствующего ведомого узла».

Иными словами, после прохождения сигнала нисходящего потока через разветвитель одна его часть, поступающая на мультиплексор MX3, используется для переноса данных, а другая, поступающая на мультиплексор MX4, — для постоянного «обучения» усилителей RSOA работе на нужных длинах волн и для их частичного энергоснабжения. Усилители RSOA получают электропитание от источников тока (порядка 100 мА; эти источники на рисунке не показаны).

Для стабильной работы усилителя RSOA необходим относительно мощный и практически равномерный (без больших пауз) приток внешней энергии в его оптический порт со стороны мультиплексора MX4. В этом случае активная область усилителя постоянно находится в режиме насыщения. Переход из насыщения в линейную область недопустим, так как параметры выходного сигнала усилителя становятся нестабильными и содержат следы сигнала нисходящего потока. Равномерность притока энергии в данном решении как раз и обеспечивается использованием кода «Манчестер» (Рис. 1, б), который, в отличие от традиционно используемых кодов NRZ или RZ, не содержит пауз длительностью более одного битового интервала.

Экспериментально установлено, что применение кода «Манчестер» вместо кода NRZ увеличивает дальность связи не менее чем в два раза (65 км вместо 30 [2]).

Итак, усилители RSOA ведомых узлов излучают световые сигналы с длинами волн  $\lambda_1$  —  $\lambda_N$ , в которых отсутствуют следы модуляции кодом «Манчестер». Эти сигналы теперь модулированы данными ведомых узлов в коде NRZ. Восходящие потоки данных суммируются мультиплексором MX4, передаются через циркулятор в линию и распреде-

ляются мультиплексором MX2 между соответствующими приёмниками Rx1 — RxN ведущего узла.

Схема, приведенная на Рис. 2, отличается от предыдущей тем, что в ней используются двунаправленные оптические линии связи. Однако в некоторых случаях целесообразно вернуться к однонаправленному варианту перемещением циркулятора в промежуточный узел ([4], Рис. 3). Тогда суммарная энергия, передаваемая встречными мультиплексированными сигналами на участке между ведущим и промежуточным узлами, распределится между двумя оптическими волокнами A и B. Это, в свою очередь, уменьшит риск возникновения в материале оптического волокна нелинейных эффектов. Они могут возникать в достаточно протяжённом оптическом волокне при чрезмерно интенсивном (более 100 мВт) потоке передаваемого через него света.

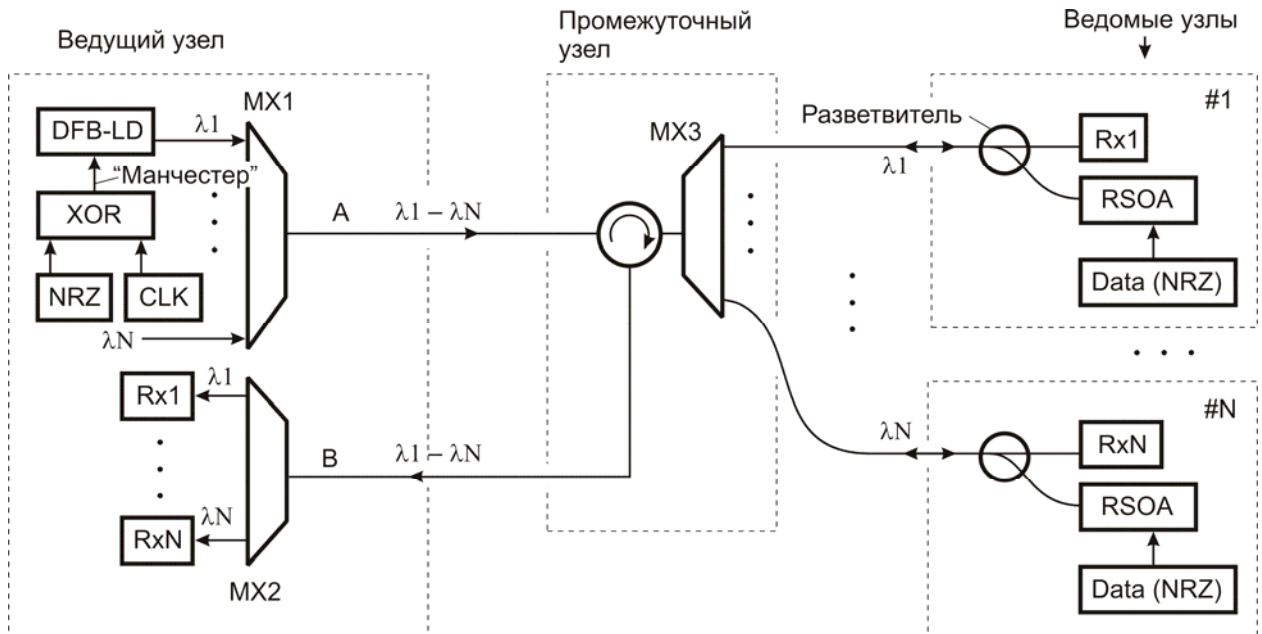


Рис. 3. Структура сети, третий вариант

В схеме, приведенной на Рис. 4 [4], по сравнению с предыдущей дополнительно содержатся усилитель и сплиттеры (разветвители — сумматоры) сигналов. При этом на одной и той же длине волны работают несколько ведомых узлов. Эти узлы передают данные ведущему узлу поочередно с использованием технологии TDM (см., например, [5]). В данном случае каждый усилитель RSOA получает только  $(1/M)$ -ю часть энергии нисходящего сигнала с выхода мультиплексора MX3, поэтому этот сигнал предварительно усиливается на выходе ведущего узла.

Схема, показанная на Рис. 5 [4], отличается от предыдущей тем, что для передачи данных между ведущим и промежуточным узлами вместо двух однонаправленных линий используется одна двунаправленная.

В схеме, приведенной на Рис. 6 [3], усилители RSOA применены в качестве передатчиков как в ведущем, так и в ведомых узлах. Широкополосные источники света BLS (Broadband Light Source) через сумматоры S, мультиплексоры MX1, MX2 и разветвители передают сигналы с нужными длинами волн в усилители RSOA для их «обучения» и частичного энергоснабжения, как было описано ранее. Нужные длины волн извлекаются из широкополосных сигналов мультиплексорами MX1 и MX2, остальные длины волн теряются. В качестве источников широкополосных сигналов могут использоваться усилители на основе легированных эрбием оптических волокон, полупроводниковые усилители, светодиоды или другие элементы.

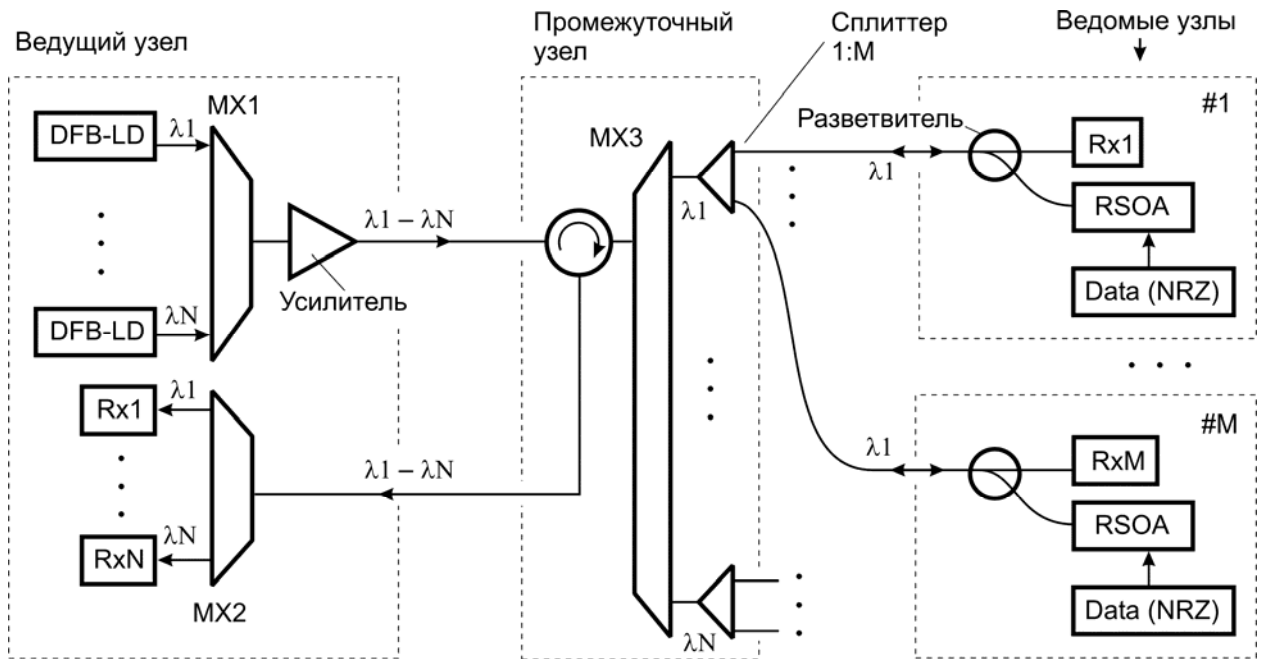


Рис. 4. Структура сети, четвёртый вариант

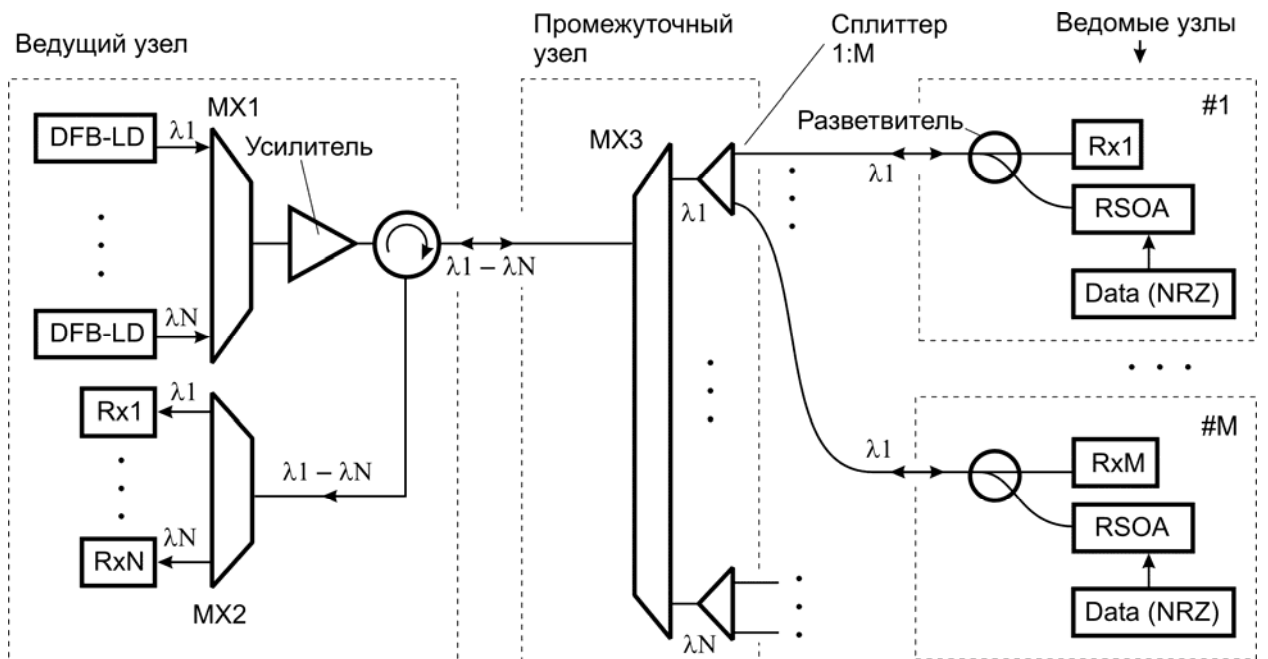


Рис. 5. Структура сети, пятый вариант

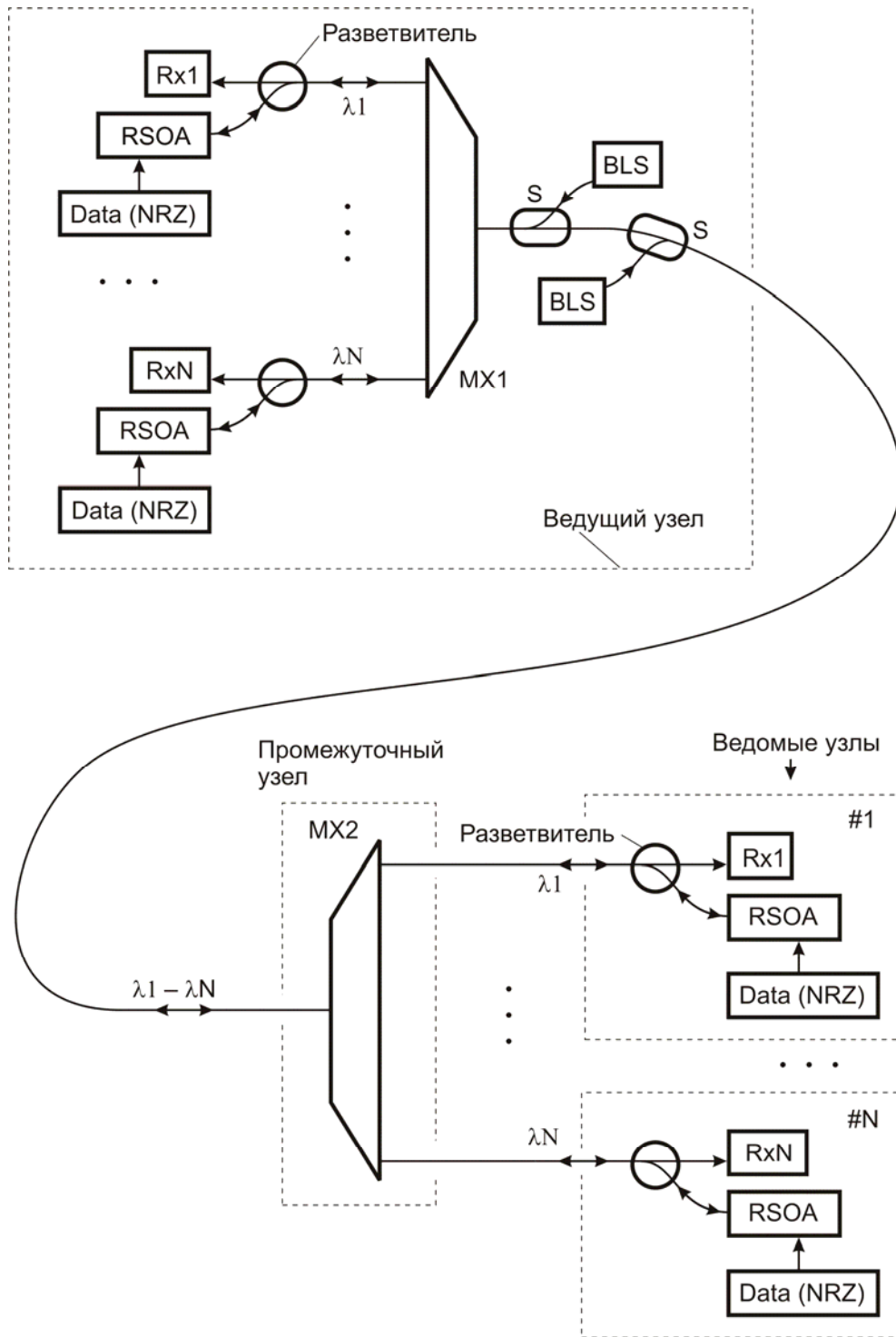


Рис. 6. Структура сети, шестой вариант

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. заявка США 2008/0187314 A1 <http://www.uspto.gov>.
2. S. Y. Kim, S. B. Jun, Y. Takushima, E. S. Son, and Y. C. Chung. Enhanced performance of RSOA-based WDM PON by using Manchester coding. *JOURNAL OF OPTICAL NETWORKING* Vol. 6, No. 6 / June 2007, p. 624 — 630  
<http://optolab.kaist.ac.kr/publication/ij101.pdf>.
3. Пат. США № 7.110.168 B2 <http://www.uspto.gov>.
4. Пат. США № 7.738.167 B2 <http://www.uspto.gov>.
5. Шевкопляс Б.В. Элементы схемотехники оптоволоконных систем. Инженерные решения. — М.: ИП РадиоСофт, 2011. — 760 с., ил.
6. С.М.Сухман, А.В.Бернов, Б.В.Шевкопляс. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. — М.: Эко-Трендз, 2003. Электронная версия книги: [http://lit.lib.ru/s/shewkopljias\\_b\\_w/](http://lit.lib.ru/s/shewkopljias_b_w/).