

УДК 004.7

Магеррамов В.А.¹, Гасанов М.Г.²

Азербайджанский Технический Университет, Баку, Азербайджан

¹mvg476@mail.ru, ²mhasanovnew@gmail.com

ОБ ОДНОМ ПРИНЦИПЕ КОММУТАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

В статье рассмотрен принцип построения многоканального и многофункционального оптических коммутаторов. Предложен принцип оптического коммутатора, расширяющего функциональные возможности оптической сети.

Ключевые слова: многоканальные и многофункциональные оптические коммутаторы, информационные потоки и волоконно-оптические сети.

Введение

Известно, что главным достоинством оптоволоконных сетей является их неограниченная пропускная способность. Практическая ценность этого свойства заключается в возможности многократного увеличения скорости передачи информации по оптоволоконным каналам связи в глобальном масштабе. И это делает исследования в области оптических сетей весьма актуальными и перспективными.

Сегодня область телекоммуникаций и передачи данных в основном характеризуется увеличением числа пользователей Internet, а также растущим взаимодействием международных операторов и увеличением объемов передаваемой информации. Помимо важной задачи совершенствования параметров и конструкций волоконно-оптических кабелей не менее остро стоит вопрос создания надежных коммутаторов оптических сигналов [1, 2], без которых невозможно построение многофункциональных и разветвленных оптических сетей.

В предлагаемой работе рассматривается один из возможных принципов создания многоканальных и многофункциональных оптических коммутаторов (либо кросс-коммутаторов) информационных потоков. Поскольку траектория распространения луча в оптических устройствах имеет взаимнообразный характер, при описании принципа функционирования предлагаемого оптического коммутатора в одном режиме работы будем понимать, что обратный режим работы данного оптического коммутатора легко осуществим разворотом всех потоков в противоположном направлении. Иначе говоря, оптические системы являются реверсивными и достаточно описать ход луча в одном направлении. Поэтому в рассмотренных далее коммутаторах все линии передачи сигналов могут быть двунаправленными и сигналы в обоих направлениях передаются световыми потоками с разными длинами волн.

Одним из перспективных технологических направлений последних времен является технология полностью оптической сети (*All-Optical Networks*), где все операции по преобразованию и формированию пользовательской информации выполняются без преобразования сигнала из оптической формы в электрическую и наоборот [3]. Исключение преобразований потока информации в электрическую форму позволяет существенно удешевить сеть, но возможностей оптических технологий пока еще недостаточно для создания полностью оптических сетей нужного масштаба. Поэтому практическое применение таких сетей ограничено фрагментами сети, между которыми пока выполняется электрическая регенерация сигнала. Тем не менее, работы в этом направлении интенсивно ведутся. Ныне выполняются разработки целого ряда как активных, так и пассивных квантовых и оптических элементов и устройств с высокостабильными параметрами. Среди пассивных элементов наиболее «ответственными» являются оптические коммутаторы.

Коммутатор на основе полупрозрачных зеркал

Напомним, что коммутаторы – одни из наиболее важных узлов систем передачи информации, построенных на основе иерархических структур. Без них практически невозможно осуществлять автоматическое управление перемещением оптических потоков данных и мониторинг разветвленной сети.

Коммутатором в обобщенном смысле обычно называют устройство, позволяющее передать мгновенно и с минимальными искажениями исходный сигнал, поступивший на один из нескольких входов, на один из нескольких выходов в соответствии с заданным алгоритмом переключения. Соответственно под оптическими коммутаторами подразумеваются коммутаторы, осуществляющие коммутацию сигналов, представленных в виде оптического излучения.

В огромном разнообразии применяемых в технике устройств, осуществляющих функцию коммутации оптических сигналов, большой интерес представляют статические коммутаторы [4, 5]. Коммутаторы этого типа имеют низкую скорость установления маршрута передачи сигнала, так как при каждом таком изменении необходимо механически менять положение одного или нескольких зеркал на пути распространения световых потоков. Однако в отсутствие изменений маршрута подобные коммутаторы обладают максимальной скоростью передачи данных (сигнал передается со скоростью света), независимостью от формата данных и длины волны светового потока. С другой стороны, коммутаторы на основе подвижных зеркал обладают низкой стоимостью.

Как известно [4], общая структурная схема статического коммутатора, показанного на рисунке 1, состоит из «собственного коммутатора» SW и связанного с ним блока управления. Оптические сигналы, поступающие на входы $Vx1 \div VxM$ по M независимым каналам, передаются на оптические выходы $Vyx1 \div VyxM$ в соответствии с соединениями, структура которых задана блоком управления. В случае, показанном на рисунке 1, число входов M совпадает с числом выходов.

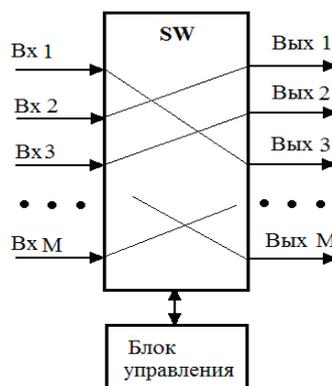


Рис. 1. Общая структурная схема статического коммутатора $M \times M$

Как отмечено в [4], особенность статических коммутаторов состоит в том, что соединения задаются блоком управления на относительно длительный промежуток времени и могут изменяться, например, в связи с подключением к системе ранее не задействованных устройств, перераспределением трафика в зависимости от времени суток, при отказе внешней оптоволоконной линии связи и при переключении на резервную линию с временем переключения не более 50 мс.

В качестве примера рассмотрим принцип построения и функционирования коммутатора, состоящего из трех входов и трех выходов, представленного на рисунке 2.

Отметим, что на основе ниже рассмотренного принципа построения и функционирования возможно построить коммутатор, состоящий из M входов и M выходов. При этом на выходе $M \times M$ коммутатора может быть создано $(M^2 - 1) \cdot M$ комбинаций (при $M = 3$ на выходе возможно создание 24 комбинаций) входных потоков, а также изменено прохождение оптических потоков и в обратном направлении, как было выше отмечено.

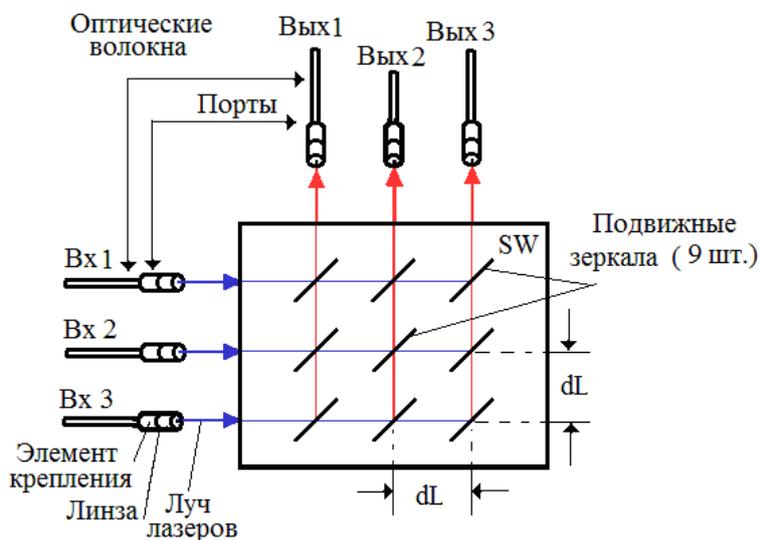


Рис. 2. Схема оптического коммутатора SW на основе подвижных зеркал

Как видно из рисунка 2, коммутатор передает оптические сигналы из трех входных портов Вх 1 – Вх 3 в три выходных порта Вых 1 – Вых 3. В данном упрощенном примере коммутатор содержит матрицу из 9 подвижных полупрозрачных зеркал, расположенных на пересечениях трех строк и трех столбцов. Шаг размещения полупрозрачных зеркал в матрице обозначен через dL , и он зависит от габаритных размеров исполнительных органов (линейного привода возвратно-поступательного движения) зеркал. Каждое полупрозрачное зеркало может находиться в двух устойчивых состояниях. Одно из состояний полупрозрачных зеркал является исходным или пассивным (утопленным), при котором полупрозрачное зеркало не пересекает путь оптического потока и в схеме коммутатора показывается прерывистыми линиями. Второе состояние полупрозрачных зеркал является приподнятым состоянием или активным (вертикальным), при котором полупрозрачное зеркало будет пересекать путь оптического потока и разделять его на два взаимно-перпендикулярных потока с одинаковыми мощностями (интенсивностью). Переход в активное состояние полупрозрачных зеркал осуществляется с помощью привода линейных перемещений. В схеме коммутатора активное положение показывается в виде сплошных линий.

Очевидно, что скорость перехода полупрозрачного зеркала из одного состояния в другое определяет быстродействие оптического коммутатора. Как видно из рисунка 2 (где, кстати, состояние всех полупрозрачных зеркал показано как активное), каждый порт дополнительно может содержать элементы крепления оптического волокна к корпусу коммутатора и линзе, которая корректирует пространственное расхождение луча лазера при его распространении.

Варианты реализации

Следует отметить, что разрезы оптического коммутатора, показанные на рисунке 2, по строке или столбцу будут иметь одинаковый вид. Поэтому один из возможных вариантов внешнего вида оптического коммутатора показан на рисунке 3.

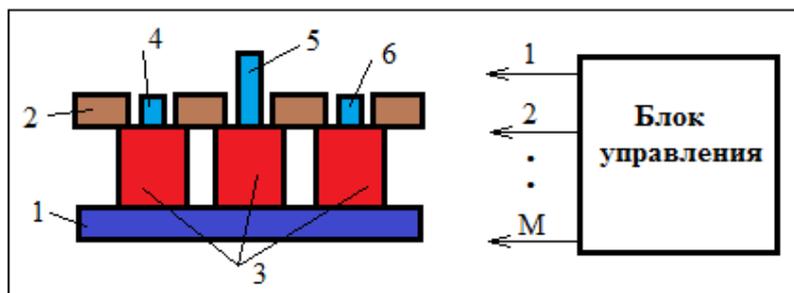


Рис. 3. Разрез коммутатора

1 – основание, 2 – верхняя крышка, 3 – приводы линейного перемещения, 4 – первое, 5 – второе, 6 – третье полупрозрачные зеркала

Как видно из рисунка 3, коммутатор состоит из блока управления, основания – 1, верхней крышки – 2, линейных приводов возвратно-поступательного движения – 3, полупрозрачных зеркал – 4, 5, 6. Все полупрозрачные зеркала жестко закреплены на подвижной части привода.

Рабочая поверхность всех полупрозрачных зеркал 4, 5 и 6 покрыта слоем с требуемым коэффициентом отражения и пропускания оптического потока. На рисунке 3 полупрозрачные зеркала 4 и 6 находятся в пассивном (утопленном), а полупрозрачное зеркало 5 в активном (вертикальном) состоянии.

Рабочее положение зеркал задается управляющим напряжением блока управления, определяемым состоянием сети.

Как видно из рисунка 3, оптический коммутатор имеет достаточно простую конструкцию и его размеры определяются размером привода линейных перемещений.

При реализации коммутатора в качестве привода в коммутаторе могут быть использованы электромагнитные (рис. 4), системы с плоскими подпружиненными (рис. 5) пластинами [6], пакетный и дифференциальный [7] пьезодвигатели (рис. 6), пьезоэлектрические дефлекторы, реверсивные приводы [8–10] и другие микроэлектромеханические и пьезокерамические приводы [11, 12].

Минимальные габариты миниатюрных линейных пьезоэлектрических приводов [13] составляют 1,55x1,55x6 мм, рабочий ход 3,3 мм с разрешением 50 нм и скоростью движения до 80 мм/с. Характеристики нынешних двигателей линейного перемещения достигают микронной и субмикронной точности [14]. Применением указанных линейных приводов возможно создание миниатюрных и полностью оптических коммутаторов высокой точности и скорости коммутации потоков данных.

Каждые приводы линейно-поступательного движения под действием сигналов с блока управления (на рис. 3 показан в виде квадратика) могут находиться в пассивном (утопленном) или активном (вертикальном) положении.

Как видно из рисунка 4 и рисунка 5, полупрозрачное зеркало при пассивном положении может пропустить оптический луч (рис. 4а и рис. 5а) либо отклонить под углом 90°, разделив его на два равных потока (рис. 4б и рис. 5б).

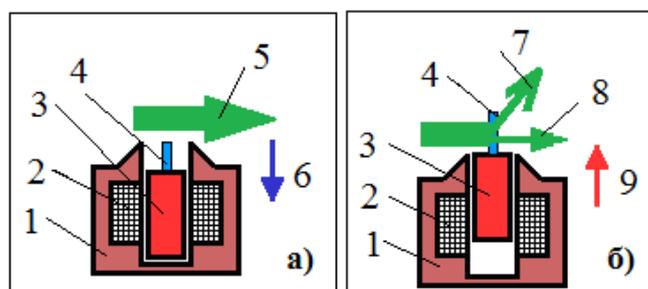


Рис. 4. Электромагнитный привод поступательного движения

Здесь 1 – основание привода, 2 – соленоид, 3 – якорь, 4 – полупрозрачное зеркало, 5 – оптический луч прямого прохождения, 6 – направление движения якоря (утопление полупрозрачного зеркала) вниз, 7 – отклоненный луч, 8 – луч, пройденный через полупрозрачное зеркало, 9 – направление движения якоря (поднятие полупрозрачного зеркала) вверх.

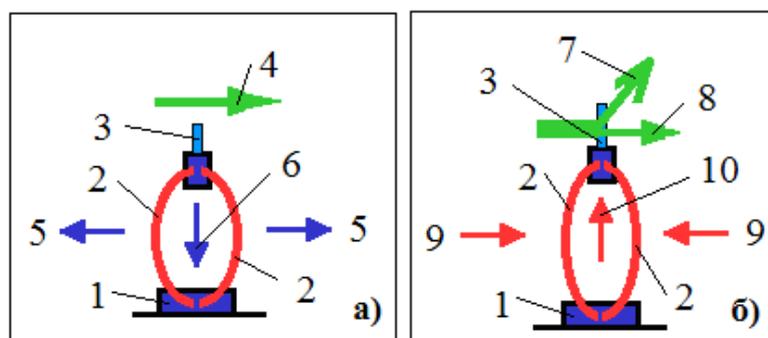


Рис. 5. Кинематика системы с плоскими подпружиненными пластинами

Здесь 1 – основание, 2 – подпружиненные пластины, 3 – полупрозрачное зеркало, 4 – оптический луч прямого прохождения, 5 – сила вытягивания пластин, 6 – направление уменьшения высоты системы (утопление полупрозрачного зеркала) вниз, 7 – отклоненный луч, 8 – луч, пройденный через полупрозрачное зеркало, 9 – сила сжатия пластин, 10 – направление увеличения высоты системы (подъем полупрозрачного зеркала) вверх.

Отличительной особенностью системы с плоскими подпружиненными пластинами (рис. 5) является то, что благодаря подпружиненности привода [15] при снятии воздействующего напряжения система возвращается в исходное (первоначальное) положение. В системе в качестве привода может быть использован как электромагнитный, так и пьезоэлектрический привод поступательного движения.

Пьезодвигатели линейных перемещений работают соответственно в субмикрометровом и микрометровом, секундном и минутном диапазонах. Их частотный диапазон ограничен областью до первого электромеханического резонанса.

Пакетная конструкция [7] строится на основе актуаторов пакетного типа. Они могут состоять из дисков, колец, цилиндров и т.д. На рисунке ба представлен простейший вариант конструкции такого двигателя. Пьезопакет 2 состоит из пьезодисков и силопередающих прокладок, которые устанавливаются в корпусе 1. Механический контакт штока 3 и корпуса 1 осуществляется через стальные центрирующие шарики 5. Тарелочная пружина 4 служит для обеспечения предварительного сжатия пакета. На рабочем элементе 3 жестко

закреплено полупрозрачное зеркало 6. Такой двигатель служит для линейных микроперемещений.

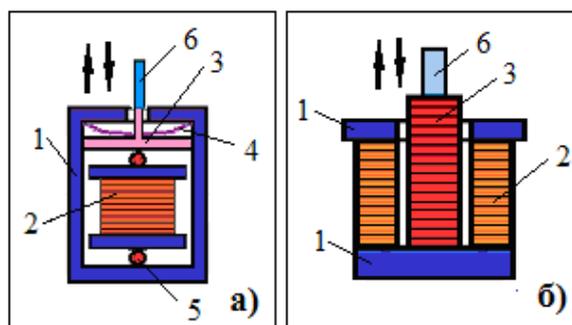


Рис. 6. Пакетный и дифференциальный пьезодвигатели поступательного движения

Здесь 1 – корпус, 2 – пьезопакет, 3 – рабочий элемент (шток), 4 – пружина, 5 – стальной шарик, 6 – полупрозрачное зеркало.

Частотный диапазон пакетного пьезодвигателя ограничен собственным электромеханическим резонансом, величина которого зависит от массы перемещаемого объекта, а диапазон перемещения от 2 до 50 мкм зависит от количества элементов и напряжения управления. На рисунке 6б представлена дифференциальная конструкция на элементах пакетного типа, которая применяется, когда необходимо компенсировать температурную погрешность (тепловое расширение рабочего элемента) и увеличить диапазон перемещений без существенного изменения величины управляющего напряжения и габаритов привода.

Такая конструкция может быть построена как на элементах пакетного типа, так и на биморфных элементах [7]. Рабочий элемент 3 состоит из пьезоэлементов, выполненных в виде шайб (дисков), а элемент 2 – из колец. Оба элемента крепятся к подвижному основанию 1. Свободный торец элемента 3 совершает рабочие перемещения, на нем жестко закреплено полупрозрачное зеркало 6. Управляющее напряжение подается одновременно на оба элемента, так, что элемент 2 – расширяется, а элемент 3 – сжимается.

Принцип функционирования коммутатора

Ниже рассмотрены некоторые примеры принципа функционирования оптических коммутаторов. Каждое зеркало может находиться в пассивном (утопленном) и (или) активном (вертикальном) положении. В дальнейшем на рисунках активные зеркала показаны в виде толстых сплошных линий, а пассивные – в виде тонких линий. Как было выше отмечено, рабочая поверхность всех полупрозрачных зеркал покрыта слоем с 50-процентным коэффициентом отражения и 50-процентным пропусканием оптического потока. В примере на рисунке 7а все лучи света разделяются на потоки с требуемой мощностью. Луч света λ_1 из порта Вх 1 отражается от полупрозрачного зеркала и поступает в порт Вых 2. Луч света λ_2 из порта Вх 2 передается в порт Вых 3. Наконец луч света λ_3 из порта Вх 3 поступает в порт Вых 1.

В примере на рис. 7б все лучи света аналогично разделяются на потоки с требуемой мощностью. Потоки λ_1 , λ_2 и λ_3 из Вх 1, Вх 2 и Вх 3 также проходят аналогичный путь согласно рисунку 7а, и дополнительно, в отличие от рисунка 7а, одновременно все потоки λ_1 , λ_2 и λ_3 передаются на Вых 4, Вых 5 и Вых 6 в виде λ_1 , λ_2 и λ_3 соответственно.

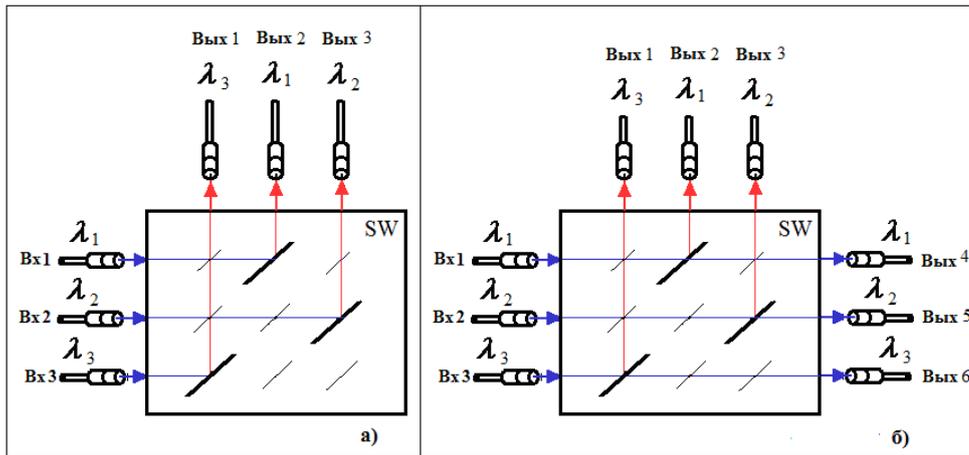


Рис. 7. Принцип функционирования оптического коммутатора-повторителя

В примере на рисунке 8а все лучи света разделяются на потоки с требуемыми мощностями.

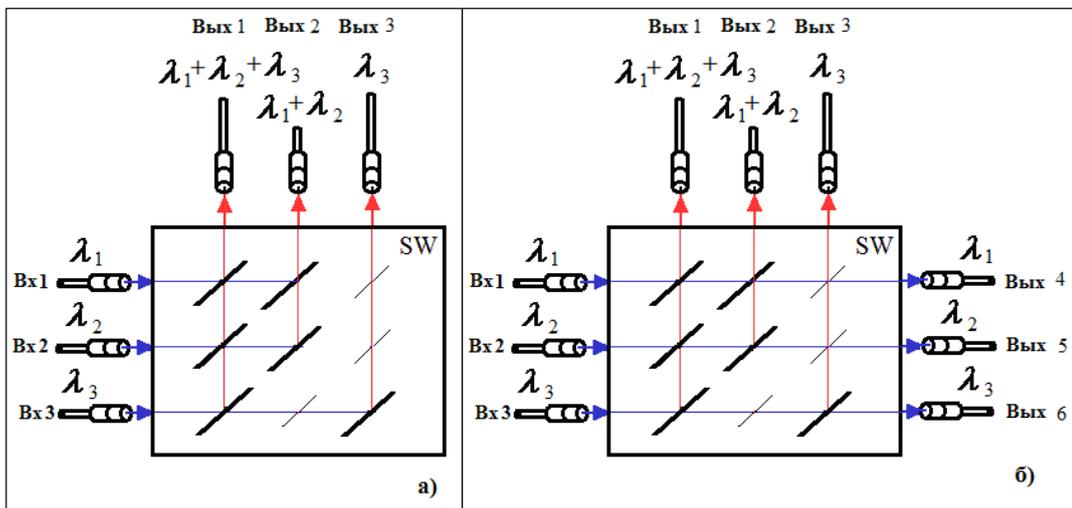


Рис. 8. Коммутация входных оптических сигналов

Первая часть потоков λ_1 , λ_2 и λ_3 из Vx 1, Vx 2 и Vx 3 соответственно отражается от своих полупрозрачных зеркал и суммируется в порте Вых 1 в виде $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$. Вторая часть потока λ_1 и λ_2 из Vx1 и Vx2, проходя через первое полупрозрачное зеркало и отражаясь от второго полупрозрачного зеркала, соответственно суммируется на Вых 2 в виде $\lambda_1 + \lambda_2$. Поток λ_3 из Vx 3, проходя первое и отражаясь от третьего полупрозрачного зеркала, передается на Вых 3 в виде λ_3 . В примере на рисунке 8б все лучи света аналогично разделяются на потоки с требуемыми мощностями. Также потоки λ_1 , λ_2 и λ_3 из Vx 1, Vx 2 и Vx 3 проходят аналогичный путь согласно рисунку 8а, и дополнительно, в отличие от рисунка 8а, одновременно все потоки λ_1 , λ_2 и λ_3 передаются на Вых 4, Вых 5 и Вых 6 в виде λ_1 , λ_2 и λ_3 соответственно. В примере на рисунке 9 показан оптический коммутатор, где все лучи одновременно могут проходить взаимно-встречно с волнами разной длины, разных комбинаций, и они заранее разделяются на потоки с требуемыми мощностями.

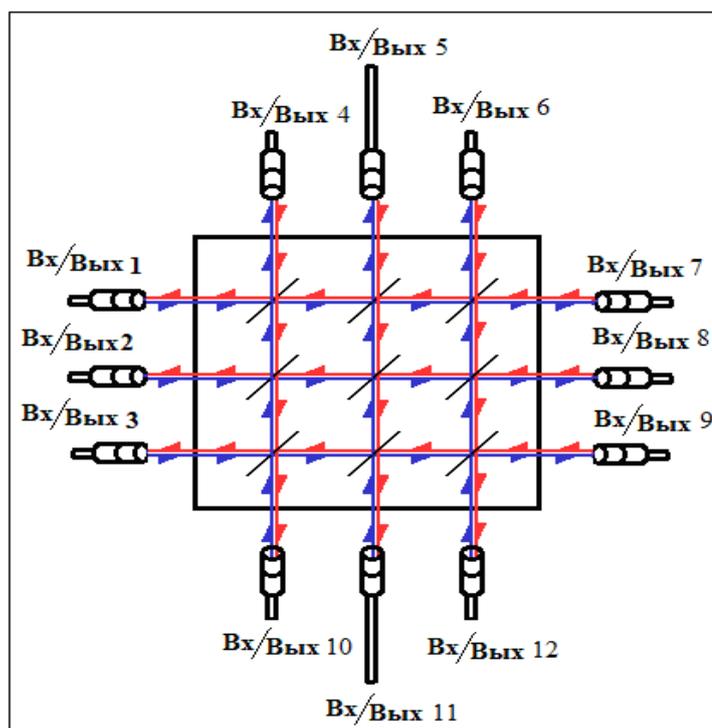


Рис. 9. Многофункциональный коммутатор

Как видно из рисунка 9, все порты одновременно являются как входящими, так и выходящими.

Заключение

Учитывая принцип функционирования оптических коммутаторов, описанных на рисунке 7 и рисунке 8, можно заключить, что на основании предложенной схемы возможно создать многофункциональный полностью оптический коммутатор (рис. 9). Таким образом предложен оригинальный принцип построения многоканального и многофункционального оптических коммутаторов и показано, что предложенный принцип расширяет функциональные возможности оптической сети.

Литература

1. Гайворовская Г.С., Рябцов А.В. Особенности применения оптических коммутаторов в современных информационных сетях // *Applicable Information Models*, ITNEA, 2011, no.22, pp.169–181.
2. Гайворовская Г.С., Рыбалов Б.А. Особенности коммутации оптических сигналов при использовании различных режимов переноса информации, 2015.
3. Берикашвили В.Ш., Нефедов В.И., Барский Д.Р. и др. Многоканальные волоконно-оптические телекоммуникационные сети и системы / *Материалы Международной научно-технической конференции*, 21–25 ноября 2016 г., Москва, МИРЭА, INTERMATIC – 2016, часть 5, стр.7–14.
4. Пат. США № 7.301.177 В2 www.uspto.gov.
5. Пат. США № 6.445.841 В1 www.uspto.gov.
6. Магеррамов В.А. Техника инфракрасных наблюдений космических объектов (Основы теории и расчета), Баку, «Элм», 1999, 336 с.
7. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений, СПб ГУ ИТМО, 2011, 131 с.

8. Гасанов М.Г. Эффективность пьезоэлектрического дефлектора светового луча в технике связи // Известия АзТУ, 2010, №2 (66), с.44–46.
9. Hasanov M.H., Maharramov V.A. Application of piezoelectric light beam deflector in optical commutators of fiber-optical communication networks // The international science-technical journal HEARD of the Azerbaijan Engineering Academy, 2017, vol.9, no.2, pp.116–121.
10. Гасанов М.Г., Вишнеvский В.С. Пьезоэлектрический реверсивный привод. Авт. свид. СССР №1827708. 1995 г.
11. Рябцов А.В. Пьезооптические сканирующие коммутаторы // Information Theories and Applications, 2013, vol.20, no.3, pp.295–299.
12. Леонов А.М. Пьезокерамический дефлектор света // Оптический журнал, 2010, том 77, №10, с.61–64.
13. Самарин А. Миниатюрные линейные пьезоэлектрические двигатели // Компоненты и технологии, 2006, №10, с.19–26.
14. Штых Д.В. Линейные перемещения с микронной и субмикронной точностью // Известия Самарского научного центра РАН, 2012, том 14, №1(2), с.649–652.
15. Исмаилов Т.К., Магеррамов В.А. Сканирующее устройство. Авт. свид. №1283698 А2 СССР, Б.И. 1987, №2. МКИ G02 B26/10.

UOT 004.7

Məhərrəmov Vaqif Ə.¹, Həsənov Mehman H.²

Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

¹mvg476@mail.ru, ²mhasanovnew@gmail.com

İnformasiya sellərinin kommutasiyasının bir prinsipi haqqında

Coxkanallı və coxfunksiyalı optik kommutatorların iş prinsiplərinə baxılmışdır. Optik şəbəkələnin funksional imkanlarını genişləndirməyə imkan verən optik kommutatorun iş prinsipi təqdim olunmuşdur.

Acar sözlər: coxkanallı və coxfunksiyalı optik kommutatorlar, informasiya seli, optik lifli şəbəkələr.

Vagif A. Maharramov¹, Mehman H. Hasanov²

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

¹mvg476@mail.ru, ²mhasanovnew@gmail.com

About the same switching principle information flows

The principle of constructing a multichannel and multifunctional optical switch is considered. It is shown that the proposed principle of an optical switch extends the functionality of an optical network.

Keywords: multichannel and multifunctional optical switches, information flows and fiber-optic networks.