

Метод параллельной коммутации оптических каналов

И.Н.Компанец, Т.А.Неевина, С.И.Компанец

Исследована возможность создания коммутаторов параллельного типа для коммутации $N \times N$ волноводных оптических каналов. Предложен метод, основанный на поразрядной коммутации каналов, и рассмотрен вариант его реализации с использованием фоторефрактивного эффекта в материале волновода. Метод смоделирован на примере коммутации 8×8 каналов при управлении их переключением с помощью перестраиваемой матрицы световых сигналов.

Ключевые слова: коммутация оптических сигналов, фоторефрактивный волновод, сборка – уплотнение каналов.

1. Введение

Современную вычислительную технику, системы связи, обработки сигналов и управления невозможно представить без применения оптических технологий. Это, с одной стороны, есть следствие стремительного развития волоконных и интегрально-оптических устройств, а с другой стороны, продиктовано требованиями увеличения информационной ёмкости каналов, скорости обработки сообщений и повышения надёжности коммуникационных систем.

Перспективным направлением является создание полностью оптических коммуникационных сетей [1], обеспечивающих на базе оптических технологий и оптоэлектронных компонентов максимальную параллельность и надёжность при реализации мультиплексирования, перегруппировки и других необходимых для коммутации функций.

Цель настоящей работы – создание простого и эффективного полностью оптического метода соединения $N \times N$ оптических каналов, основанного на поразрядной коммутации каналов и осуществляющего заданное их соединение одновременно для всех каналов, без прерывания и без пересечений оптических путей при минимизации латентного времени соединения каналов.

В статье описываются сам метод и один из вариантов его возможной реализации.

2. Метод параллельной коммутации $N \times N$ волноводных оптических каналов

Предлагаемый метод поразрядной параллельной (без пересечений) коммутации $N \times N$ оптических каналов поясняется схемой на рис.1 на примере восьмиканального (трёхразрядного) устройства.

И.Н.Компанец. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53;
e-mail: kompan@sci.lebedev.ru

Т.А.Неевина. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 115409 Москва, Каширское ш., 31

С.И.Компанец. Yamaha Motor CIS, LLS, Россия, 125252 Москва, Чапаевский пер., 14

Поступила в редакцию 30 октября 2012 г., после доработки – 13 ноября 2012 г.

На первом этапе выполняются операции удвоения каналов ($1'$) с разделением по 0 и 1 в старшем разряде адреса и операция уплотнения каналов ($2'$) в обоих плечах, т.е. сборка открываемых (сигнальных) каналов и удаление закрытых каналов (в них сигнал отсутствует). В результате в каждом плече остаются четыре сигнальных канала. На следующих этапах те же операции выполняются для последующих разрядов адресов. В результате на втором этапе ($1''$, $2''$) образуются четыре плеча с двумя сигнальными каналами в каждом плече, а на третьем этапе ($1'''$, $2'''$) – восемь плеч с одним сигнальным каналом в каждом плече, приводящим световой сигнал к выбранному адресу.

Понятно, что при числе каналов $N = 2^n$ за n этапов могут быть скоммутированы по заданным N адресам все N каналов. Для 16-, 32-, 64- и 128-разрядных коммутаторов число этапов составляет 4, 5, 6 и 7 соответственно. Из рис.1 также видно, что все соединения каналов предлагаемым способом выполняются параллельно в пределах каждого разряда адресов.

Удвоение числа всех каналов одновременно может легко выполняться оптическим расщепителем, а разделение их по 0 и 1 – линейкой модуляторов света. В качестве оптического расщепителя можно, например, использовать оптический куб (рис.2), составленный из двух призм $1'$. Здесь пара линеек модуляторов $2'$, одна из которых всегда является инвертором, т.е. задает не единичные, а нулевые разряды адресов, может быть выполнена на основе электрооптических кристаллов, например ниобата лития. Включая те или иные модуляторы, можно избирательно пропускать свет, осуществляя тем самым адресацию сигналов.

3. Моделирование процесса коммутации каналов с использованием фоторефрактивных волноводов

Основной проблемой реализации параллельного коммутатора предложенным методом является операция параллельной сборки – уплотнения каналов во всех плечах одновременно за счет удаления пропусков, т.е. каналов, свободных от информационного сигнала. Подбор волноводной среды, наиболее подходящей для реализации функции сборки, – одна из основных задач при создании параллельного коммутатора рассматриваемого типа. Ниже

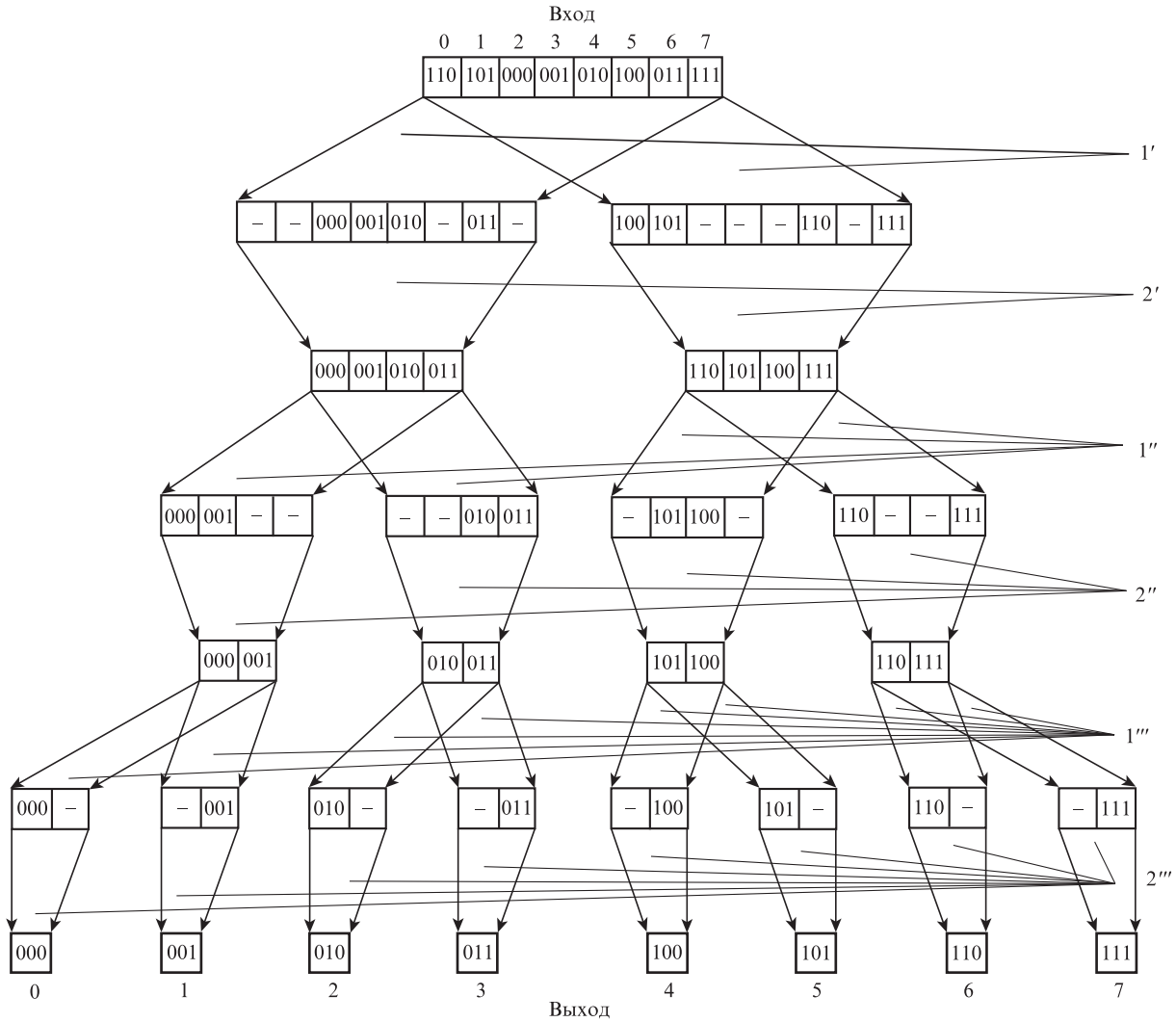


Рис.1. Схема $N \times N$ -коммутатора параллельного типа с восемью каналами.

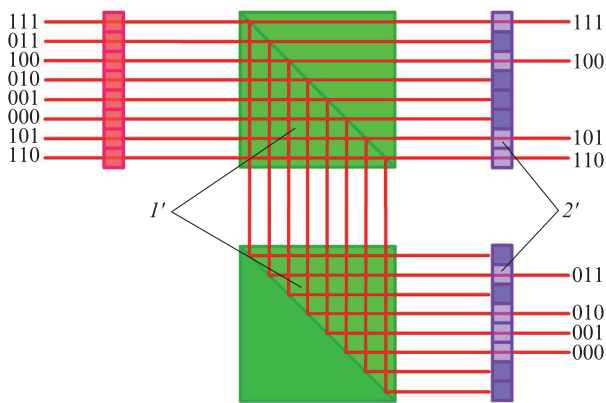


Рис.2. Пример реализации операции удвоения восьми информационных каналов с помощью оптических кубов $1'$ и адресации каналов на первом этапе (по старшему разряду) с помощью модуляторов света $2'$.

представлен результат моделирования коммутации 8×8 каналов в фоторефрактивных волноводах как в одной из таких сред.

Для управления переводом сигналов из волновода в волновод при сборке (уплотнении) каналов используется

перестраиваемая матрица световых сигналов с длиной волны излучения, к которому чувствительны переключаемые соединения волноводных каналов. Эти соединения определяются с помощью компьютера по входным и заданным адресам, и по результатам вычислений формируются световые пучки, пространственно согласованные с местами расположения переключаемых соединений волноводных каналов. Благодаря фоторефрактивному эффекту под действием световых пучков, поступающих от генерирующей их матрицы излучателей света (МИС) или от пространственно-временного модулятора света (ПВМС), изменяется коэффициент преломления материала соединений волноводов, что обеспечивает передачу информационного сигнала в нужный волновод.

На рис.3 приведена используемая в модели схема, поясняющая принцип чисто оптического управления переключением соседних волноводных каналов из фоторефрактивного материала для перекачки оптической мощности из одного канала в другой. Для примера показаны четыре канала, на вход которых подаются два информационных потока. В МИС 1 адресуются нужные ячейки, и выходящие из них оптические сигналы проходят через оптическую маску и/или голографический оптический элемент (ГОЭ, он необходим при использовании лазерного излучения) 2 , где приобретают нужную конфигурацию, и

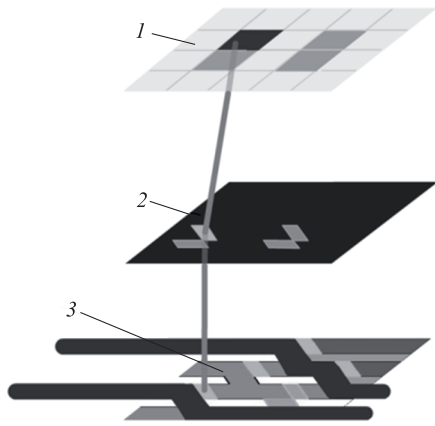


Рис.3. Схема реализации операции сборки каналов с применением фоторефрактивных волноводов:
 1 – МИС (или ПВМС); 2 – оптическая маска (или ГОЭ); 3 – фоторефрактивные волноводы.

далее поступают на те участки (соединения) фоторефрактивных волноводов 3, которые перенаправляют оптический информационный поток в задаваемом направлении.

Важно, что реализация оптического управления не требует, как в работе [2], элементов обратной связи и выполняется для всех разрядов одновременно, благодаря чему управление переключением каналов коммутатора существенно упрощается и процесс убыстряется.

Общая схема работы восьмиканального коммутатора, смоделированная для случая, когда коммутация кана-

лов завершена и по ним распространяется информационный световой поток, представлена на рис.4. В состав коммутатора входят оптические затворы 1, выполненные на основе модуляторов света, являющихся входными портами коммутатора; полупрозрачные кубы 2', 2'', 2''', составленные из двух призм; линейки модуляторов 3', 3'', 3''', используемых для адресации сигналов; фоторефрактивные волноводы 4', 4''. На рис.4 показаны также соединения фоторефрактивных волноводов 5', 5'', где под действием оптических сигналов 8', 8'' от МИС (или ПВМС) 6', 6'' изменяется коэффициент преломления материала, вследствие чего информационный оптический поток переходит в соседний открытый волновод и распространяется по нему. Для каждой комбинации световых пучков на вход МИС (или ПВМС) подаются различные, заранее запрограммированные комбинации управляющих сигналов. Оптические маски (или ГОЭ) 7', 7'' необходимы здесь для задания нужной конфигурации оптических сигналов на фотовозбуждаемом участке волновода. Входящие и выходящие коммутируемые потоки обозначены цифрами 9' и 9''.

Расчет показывает, что для 8-, 16-, 32-, 64- и 128-разрядных коммутаторов требуется соответственно 64, 352, 1664, 7296 и 30720 управляющих световых пучков, что достаточно просто реализуется на практике при использовании современных МИС или ПВМС.

В рассмотренном коммутаторе, без изменения его архитектуры, могут применяться разные оптические элементы. Например, оптическими расщепителями могут служить не только двухпризменные оптические кубы, но и полупрозрачные зеркала, ГОЭ и другие элементы того же

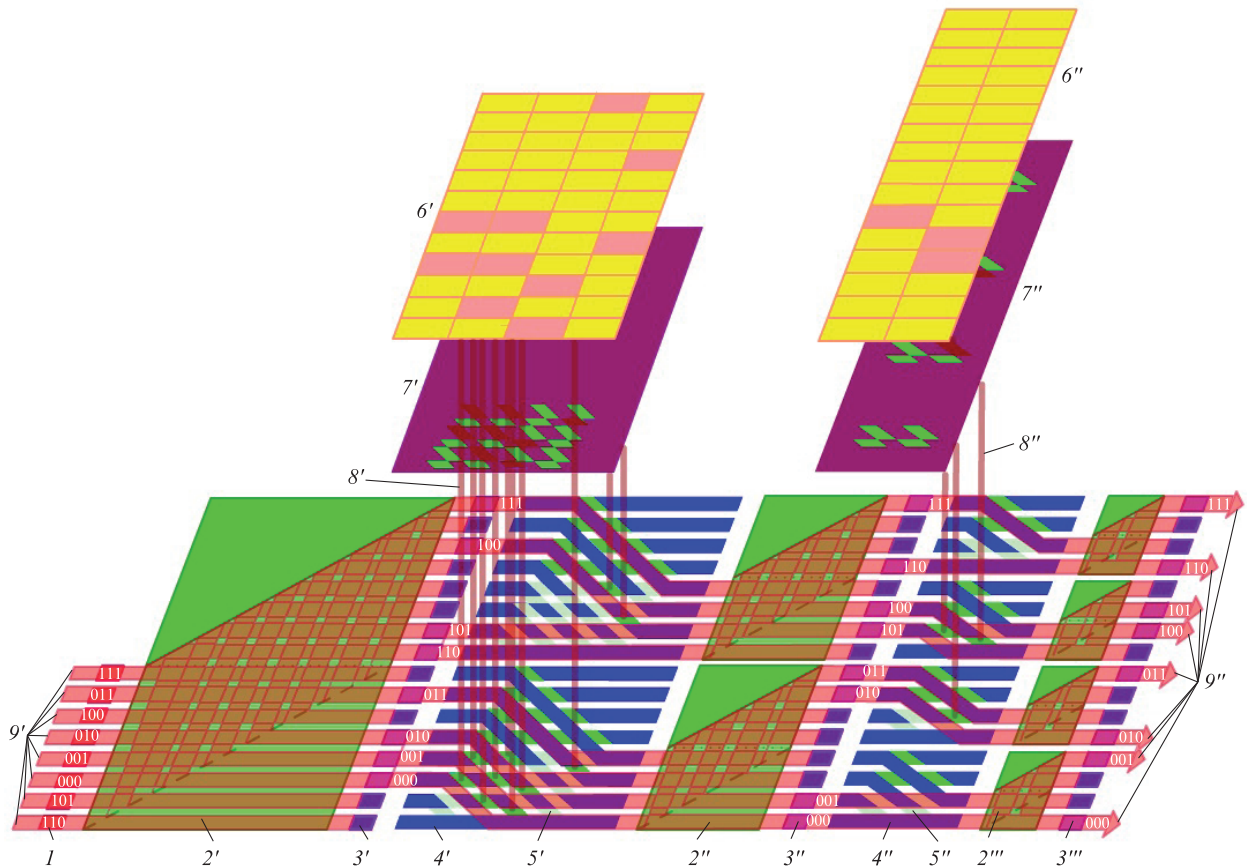


Рис.4. Смоделированная схема работы многоканального коммутатора с применением эффекта фоторефракции (на примере восьмиканального устройства).

назначения. В линейках быстродействующих и компактных оптических модуляторов можно использовать модуляторы как из ниобата лития, так и из других электрооптических материалов, в том числе интегрально-оптические, микрзеркальные и полупроводниковые (например, на основе эффекта Франца – Келдыша) модуляторы.

Для пространственно-временной модуляции управляющего оптического излучения, к которому чувствителен фоторефрактивный материал, предпочтительно использование наиболее быстрых микрзеркальных модуляторов или жидкокристаллических модуляторов на основе сегнетоэлектрических смектиков. Голографический оптический элемент может быть выполнен из фоторефрактивных кристаллов, халькогенидных стекол, галоидосеребряных и других материалов с высокой дифракционной эффективностью, нечувствительных к этому излучению. Кроме того, ГОЭ может быть заменен пространственной маской, если используется излучение не лазеров, а, например, светодиодов.

В многоканальных коммутаторах нужно будет предусмотреть усиление оптических потоков (с сохранением их информационных характеристик) с помощью компактных полупроводниковых или волоконных лазеров и согласующих элементов.

Авторам настоящей работы еще предстоит сделать выбор конкретных элементов для реализации устройства коммутатора, которые позволят также оценить его массогабаритные и энергетические характеристики.

4. Заключение

Предложен метод поразрядной (начиная со старшего разряда адреса) параллельной коммутации $N \times N$ оптических каналов, отличающийся от известных методов коммутации [3–5] простотой и надёжностью вследствие отсутствия пересечений каналов. При числе каналов $N = 2^n$

все N каналов могут быть скомутированы по заданным N адресам за n этапов. На каждом этапе выполняются операции удвоения числа каналов (с разделением адресов по 0 и 1 в текущем разряде) и затем их уплотнения путем удаления каналов, свободных от информационного сигнала.

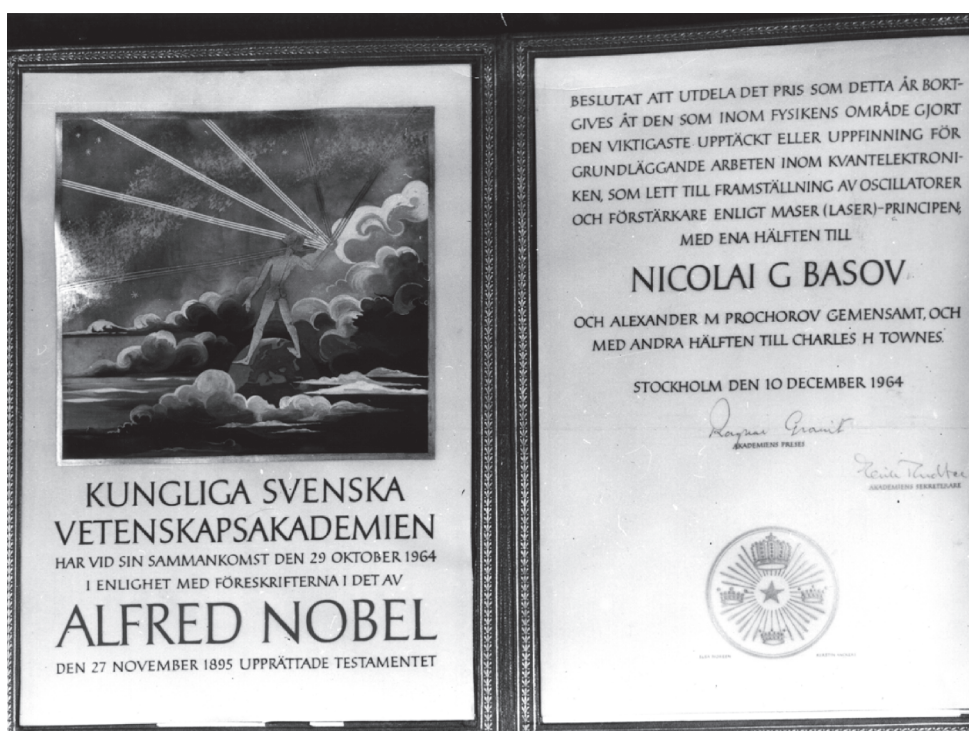
Операция параллельной сборки – уплотнения каналов – является наиболее сложной. Она решается нами путем использования фоторефрактивных волноводов и параллельного оптического управления соединениями, положения которых определяются с помощью компьютера по входным и заданным адресам.

Выполнено моделирование работы коммутатора с фоторефрактивными волноводами на примере 8×8 каналов при подаче одновременно на все переключаемые соединения световых пучков, изменяющих коэффициент преломления материала соединений волноводов и тем самым обеспечивающих передачу информационных сигналов в нужный волновод.

Заметим, что предложенная параллельная архитектура многоканального коммутатора, а также метод оптического управления переключением каналов применимы и для разнообразных коммутаторов электрических сигналов.

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 11-07-00701а).

1. *National Communication System Technical Information Bulletin*, № 7 (2000); http://www.ncs.gov/library/tech_bulletins/2000/tib_00-7.pdf.
2. Компанец И.Н., Компанец С.И., Неевина Т.А. Патент РФ № 2456652. Приоритет от 11.03.2010.
3. Vibhu Vivek. <http://www.optics.arizona.edu/milster/505%20lab/2001/pictures/acousto%20optics%20modulator.pdf> (priority of 3.10.1999).
4. Skinner J.D., McCormack J.S. US Patent № 4828362. Priority of 9.05.1989; <http://www.google.com/patents/US4828362>.
5. Wang Yu. US Patent № 6278540. Priority of 21.08.2001; http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080004672_2008004785.pdf.



Диплом лауреата Нобелевской премии по физике (1964 г.)