

Структурные характеристики оптических коммутаторов



Дмитрий РУДЕНКО

Dmitry V. RUDENKO

Обзор и оценка структурных характеристик и схем оптических коммутаторов. Получены аналитические выражения для расчета и сравнительного анализа коммутационных параметров, сформулированы предложения по использованию различных видов оптических коммутаторов в магистральных сетях связи.

Ключевые слова: транспорт, магистральные сети связи, оптический коммутатор, структурные характеристики, выбор схем.

Руденко Дмитрий Владимирович — аспирант кафедры «Радиотехника и электросвязь» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

В связи с возрастающей потребностью в передаче информации качественно и на высоких скоростях развитие волоконно-оптических сетей связи перешло на новый технологический уровень — особое значение приобрело использование оптических коммутаторов. Оптические коммутаторы (ОК) — это тот вид сетевых элементов, который полностью ориентирован на волоконно-оптические технологии. Прежде всего актуально использование ОК в магистральных сетях связи со спектральным разделением каналов.

В общем случае [2] схемы построения ОК можно подразделить на два вида:

- с общей средой;
- с пространственным разделением каналов.

В ОК с общей средой данные, поступающие на входы коммутатора, мультиплексируются в единый поток передачи. В качестве такой среды могут выступать (разделенные во времени) шинная или кольцевая топологии.

В ОК с пространственным разделением каналов может быть установлено множество соединений между входами и выходами. Для этого вида наиболее характерны

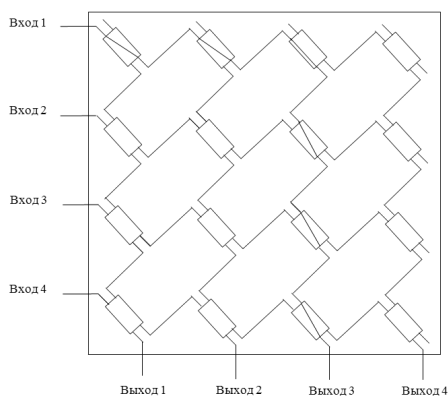


Рис. 1. Пример матричной коммутационной схемы 4×4.

коммутаторы с древовидной схемой. Они не содержат избыточности в выборе путей коммутации. То есть позволяют установить только один путь между любыми парами вход-выход [1].

Схемы ОК реализуются на базовых коммутаторах (БОК) типа 2×2. Поэтому сложность построения ОК возрастает с увеличением числа входов и выходов. При создании коммутаторов большой ёмкости используют различные топологии каскадирования БОК, их определенную упорядоченную последовательность. Структура каскадов может меняться в зависимости от выбранной топологии построения.

В многокаскадных оптических коммутаторах эффективность их работы оценивается по следующим показателям [1]:

- число БОК в схеме;
- однородность коммутации;
- пересекаемость связующих волноводов;
- блокировки каналов связи.

Под мерой однородности коммутации подразумевается одинаковое количество БОК на всех оптических путях коммутационной схемы. Кроме того – соответствующие им оценки потерь на внутренних блокировках при коммутации.

Пересекаемость связующих волноводов обусловлена тем, что многокаскадные ОК изготавливаются как оптические интегральные схемы (ОИС) на единой подложке. Для исключения возможностей пересечения волноводов топология многокаскадных коммутаторов должна быть реализована в виде плоского графа. При использовании фотонных кристаллов и технологии изготовления фотонных интегральных схем (ФИС) вместо ОИС это ограничение снимается [1].

Блокировки в оптических коммутаторах подразделяются на внешние и внутренние. Внешними являются блокировки соединений, возникающие в результате занятости выходных портов коммутатора. Внутренними – блокировки в схеме коммутации [3].

Структуры ОК существуют в виде разных каскадных схем [1]:

- матричная коммутационная схема показана на рис. 1;
- коммутационная схема Бенеша – см. рис. 2;
- коммутационная схема Шпанке-Бенеша – рис. 3;
- коммутационная схема Шпанке – рис. 4.

Введём следующие структурные характеристики схем ОК:

A – количество входов/выходов коммутационной схемы, определяемое выражением $A = 2^n$, где n – целое положительное число. Согласно [3], с помощью DWDM в одном оптическом волокне может быть организовано до 160 оптических каналов. Поэтому n может принимать значения от 1 до 8;

N – количество БОК в коммутационной схеме;

k – количество звеньев в коммутационной схеме, или группа БОК, не связанных между собой соединительными линиями;

F – количество БОК в звене коммутационной схемы;

f – количество соединительных линий между БОК в одном звене коммутационной схемы.

На основе использования методов математической индукции получены расчетные выражения для определения структурных характеристик каскадных схем ОК (таблица 1).



Таблица 1

Структурные характеристики коммутационных схем ОК

Наименование коммутационных схем	Наименование структурных характеристик коммутационных схем ОК					
	Количество БОК в коммутационной схеме, N	Максимальное количество БОК на пути коммутации оптического сигнала, L_{max}	Минимальное количество БОК на пути коммутации оптического сигнала, L_{min}	Количество звеньев в коммутационной схеме, k	Количество БОК в одном звене, F	Количество соединительных линий в одном звене, f
Матричная	A^2	$2A-1$	1	$2A-1$	x-номер звена ($x = [1, k]$) при $x = [1, A]$ $F=x$; при $x = [A+1, k]$ $F=A-i$, где $i = [1, A-1]$	y-номер соединения между соседними звеньями ($y = [1, k-1]$) $f=2i$, при $y = [1, A-1]$ $i = [1, A-1]$; при $y = [A+1, k-1]$ $i = [A-1, 1]$
Бенеша	$A(2\log A - 1)/2$	$2\log A - 1$	$2\log A - 1$	$2\log A - 1$	$A/2$ для любого x	A между любыми звеньями
Шпанке-Бенеша	$A(A-1)/2$	A	$A/2$	A	$A/2$ для x_n – нечетное звено; $A/2-1$ для x_n – четное звено.	между звеньями x_n/x_i и x_n/x_i $f=A-2$; x_n/x_i $f=2$
Шпанке	$2A(A-1)$	$2\log A$	$2\log A$	$2\log A$	при $x = [1, k/2]$ $F=A^2$, где $i = [0, k/2-1]$; при $x = [k/2+1, k]$ $F=A^2$, где $i = [k/2-1, 0]$	($y = [1, k-1]$) $f=A^2$, при $y = [1, k/2]$ $i = [1, k/2]$; при $y = [k/2-1, k-1]$ $i = [k/2-1, 1]$

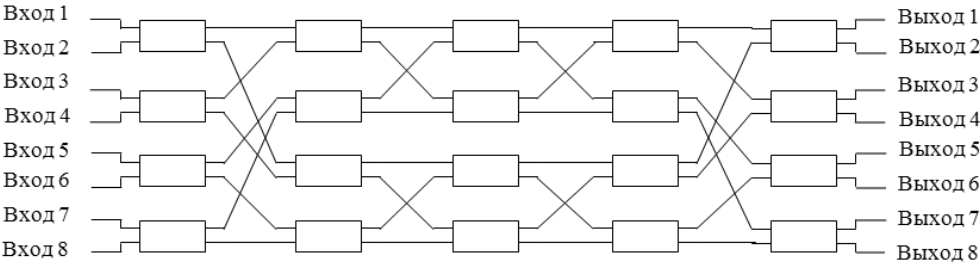


Рис. 2. Пример коммутационной схемы Бенеша 4×4.

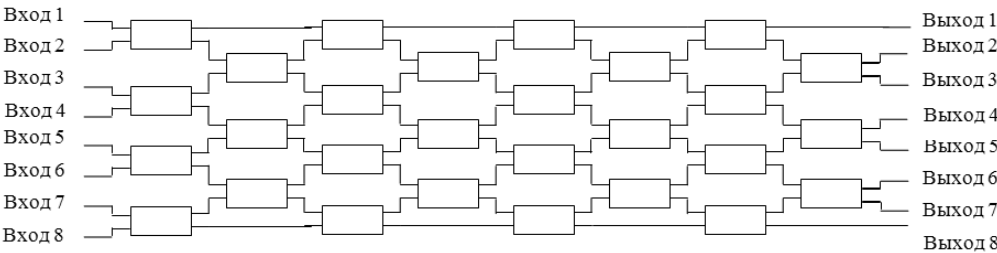


Рис. 3. Пример коммутационной схемы Шпанке-Бенеша 4×4.

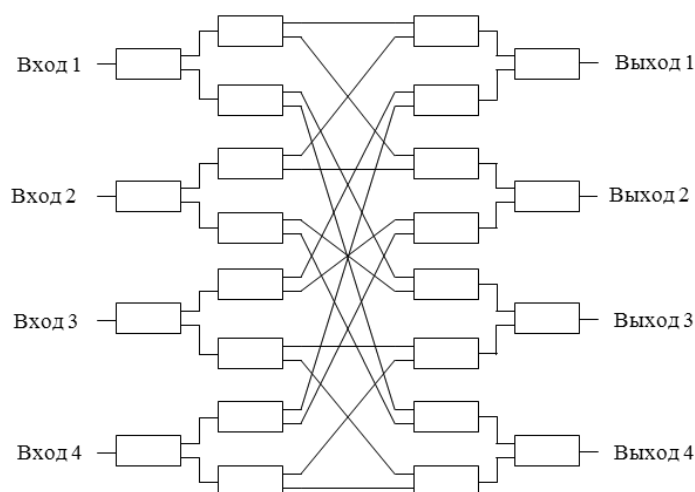


Рис. 4. Пример коммутационной схемы Шпанке 4×4.

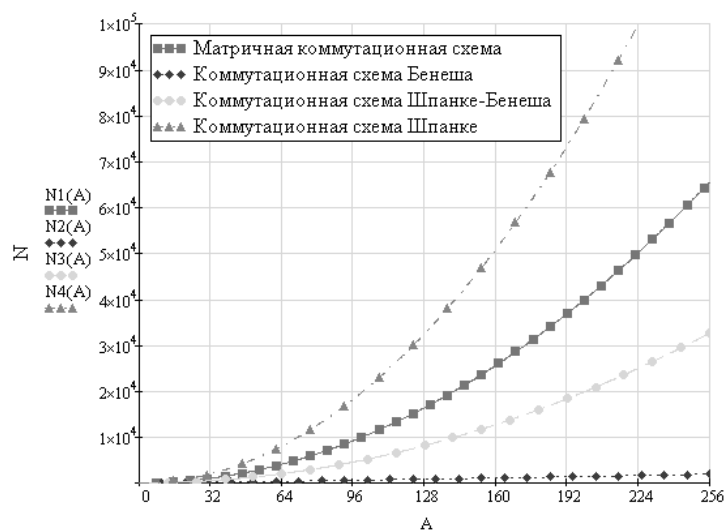


Рис. 5. Зависимости количества БОК в коммутационной схеме N от числа входов A.

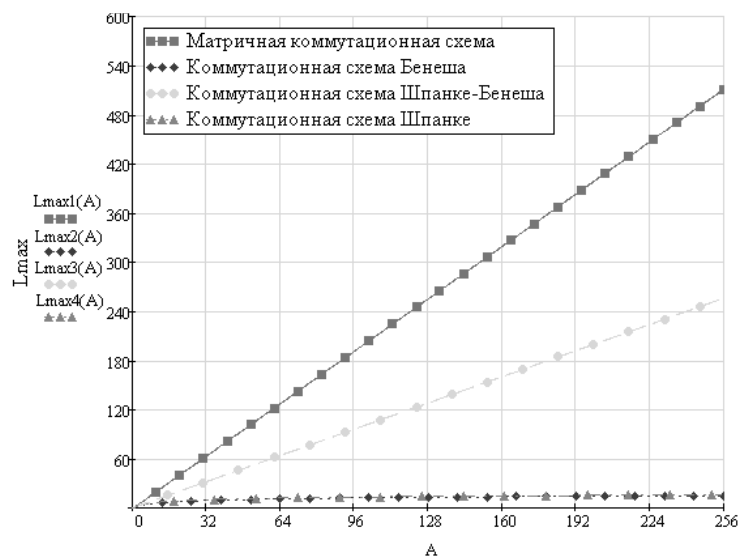


Рис. 6. Зависимости максимального пути коммутации в коммутационной схеме Lmax от числа входов A.



Рис. 7. Зависимости кратчайшего пути коммутации L_{min} от числа входов A .

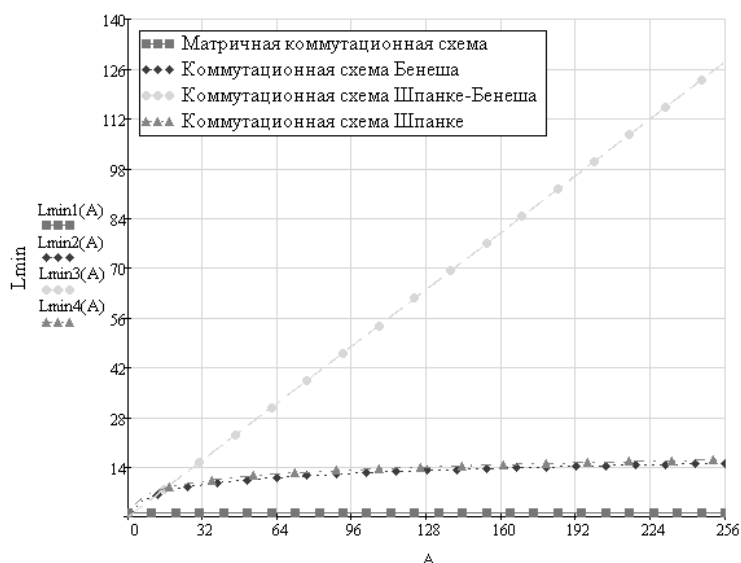
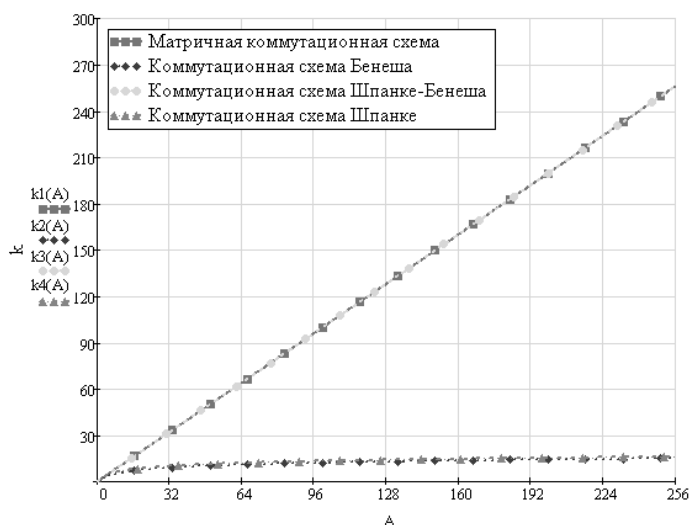


Рис. 8. Зависимости количества звеньев k от числа входов A .



По полученным выражениям построены зависимости показателей коммутационных схем ОК от числа входов (рис. 5–10).

Представленные зависимости дают основание сделать следующие выводы:

- рост числа входов/выходов в ОК (рис. 5) приводит к росту количества БОК на пути коммутации оптического сигнала, что способствует увеличению времени коммутации и вероятностям блокировок в ОК;
- в ОК с коммутационной схемой Бенеша требуется меньшее число БОК, чем при использовании других коммутационных схем, что повышает быстродействие коммутатора;

– для быстродействующих ОК с большой ёмкостью необходимо использовать коммутационные схемы Шпанке и Бенеша. С увеличением числа входов/выходов длина пути коммутации в этих схемах увеличивается линейно по сравнению со схемами Шпанке-Бенеша и матричной (рис. 6);

– наибольшее число звеньев, при прочих равных показателях, в коммутационных схемах Шпанке-Бенеша и матричной (рис. 8). Это приводит к увеличению пути коммутации в коммутационной схеме (рис. 6–7), времени коммутации и вероятностям блокировок каналов связи;

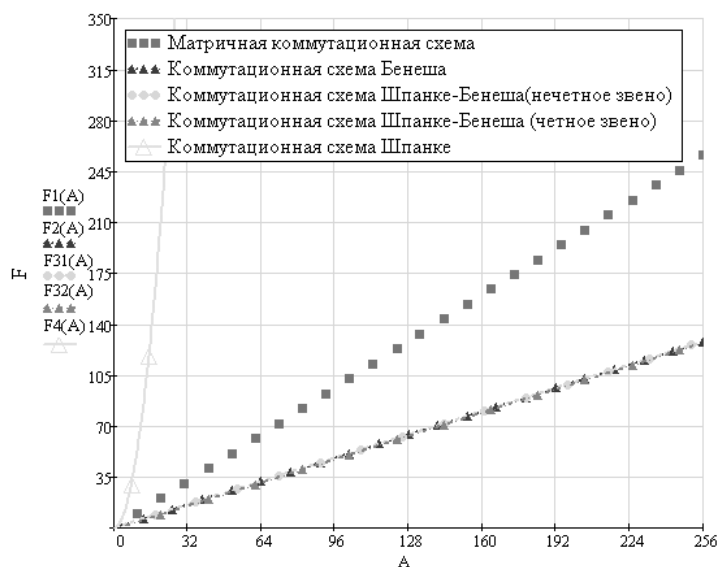


Рис. 9. Зависимости количества БОК в звене коммутационной схемы F от числа входов A .

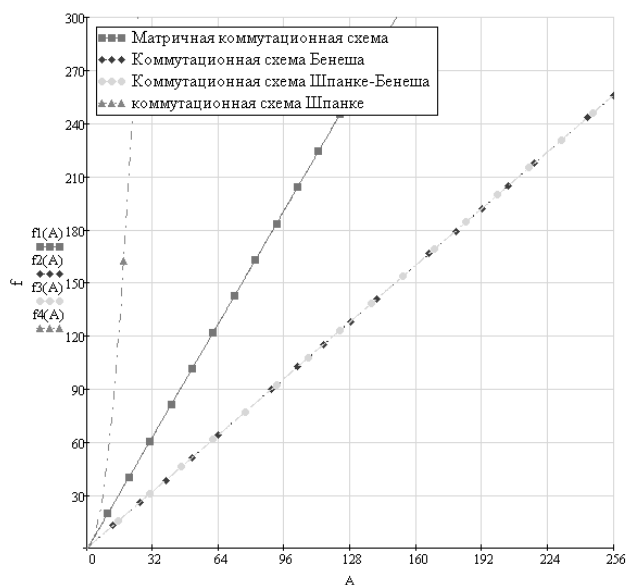


Рис. 10. Зависимости количества соединительных линий в звене коммутационной схемы f от числа входов A .

— наибольшее увеличение числа БОК в звене коммутационной схемы имеет место в схеме Шпанке (рис. 9). Это пред-

полагает повышение вероятности блокировок каналов в звене коммутационной схемы ОК. ●

STRUCTURAL CONSTANTS OF OPTICAL MULTIPLEXER

Rudenko, Dmitry V. – Ph. D. student of the department of radio engineering and electric communications of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The article contains an overview and estimation of structural characteristics and of circuits of optical multiplexers. The author has obtained analytic expressions for computation and comparative analysis of switching parameters and puts forward proposals to better use different types of optical commutators, switchboards or multiplexers in communication backbones.

Key words: transport, communication backbone, optical switchboard, structural constant, choice of circuits.

Координаты автора (contact information): Руденко Д. В. – domovoy_rvd@mail.ru.

