

ЗАДАЧА ВЫБОРА КОММУТАЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Галина С. Гайворонская, Борис А. Рыбалов

Аннотация: Рассмотрены преимущества использования оптических технологий для передачи информации по телекоммуникационным сетям. Выполнен анализ методов повышения быстродействия коммутации оптических сигналов с использованием оптического управления. Проведен анализ характеристик одиннадцати типов оптических коммутационных элементов с использованием электронного и оптического управления. Решена двухкритериальная задача выбора реализации оптических коммутационных элементов при использовании шести показателей приемлемости, а именно быстродействие, стоимость, потребляемая мощность, надежность, тип управления коммутацией и чувствительность к шумам. Построены диаграммы Хассе для показателей качества выбранных вариантов оптических коммутационных элементов. По результатам решения задачи выбран оптический коммутационный элемент, на основе интерферометра Фабри-Перо.

Ключевые слова: Оптические телекоммуникационные сети, оптический коммутационный элемент, система коммутации оптических сигналов.

Ключевые слова классификации АСМ: В.4 INPUT/OUTPUT AND DATA COMMUNICATIONS - В.4.3 Interconnections (subsystems), Н.4.3 Communications Applications.

Введение

Современную вычислительную технику, средства связи, управления и обработки сигналов невозможно представить без применения оптических технологий. Это, с одной стороны, является следствием стремительного развития волоконных и интегральных оптических технологий, а с другой стороны – следствием постоянно возрастающих требований по увеличению информационной емкости каналов, скорости обработки сообщений и надежности телекоммуникационных сетей и систем. Тем не менее, широкий круг сетевых задач на сегодняшний день, как и ранее, решаются посредством использования электронных компонентов, что не только ограничивает быстродействие телекоммуникационных сетей (ТС) в целом, но и требует дополнительной инженерной проработки вопросов, связанных с обеспечением согласования и корректного взаимодействия оптических и электронных компонентов. Волоконно-оптические технологии стали неотъемлемой частью современной деятельности не только крупных промышленных предприятий, но и малых организаций,

занимающихся предоставлением услуг в сфере телекоммуникаций или просто использующих преимущества технологии в своих интересах. Основными преимуществами использования оптических технологий для передачи информации по телекоммуникационным сетям являются:

- высокая скорость передачи данных;
- высокая защищенность от посторонних электромагнитных источников;
- высокая секретность передачи данных;
- на сегодняшний день уже не очень высокая стоимость развертывания сети;
- широкий выбор необходимого оборудования.

Применение оптических технологий является следствием стремительного развития электронных коммуникаций и постоянно возрастающих требований по увеличению информационной емкости каналов передачи информации, скорости обработки сообщений и надежности телекоммуникационных и информационных сетей и систем. В результате влияния этих факторов появилась концепция полностью оптических сетей (All-Optical Networks, AON). По мнению специалистов американского агентства «National Communications System», одной из основных тенденцией развития ТС является именно переход к полностью оптическим сетям. В частности, в аннотации к докладу агентства «National Communications System» №00-7 [Technical information bulletin, 2000] говорится: «Ожидается, что полностью оптические сети в ближайшее время покинут лаборатории, популярность их будет расти в течение ближайших лет. Эти сети обеспечат высокую пропускную способность и позволят внедрить множество высокоскоростных информационно-коммуникационных услуг (ИКУ). Предполагается, что коммуникационная инфраструктура будет развиваться для поддержки терабитных и пентабитных скоростей...»

Анализ состояния и перспективных направлений развития ТС ставит проблему разработки средств волоконно-оптической связи на основе применения новой компонентной базы с использованием информационных технологий, оптимизированных с учетом новых характеристик компонентов и узлов. Указанная проблема находится в числе первоочередных задач совершенствования систем связи, ее решение позволит значительно повысить эффективность функционирования оптических сетей.

Построение и функционирование оптических ТС регламентируется международными стандартами и рекомендациями, определяющими ее основные аспекты и элементы:

- рекомендация телекоммуникационного сектора Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) G. 709 определяет требования к оптической транспортной иерархии, структуру кадров, заголовки, битовые скорости в оптических сетях;
- рекомендация МСЭ-Т G. 798 «Характеристики оптической транспортной сети иерархии оборудования функциональных блоков» охватывает функциональные требования к функциональности оптических транспортных сетей.

Создание качественно новых типов одномодовых волокон и более совершенных оптических усилителей, а также улучшение технических характеристик компонентной базы в целом

позволило увеличить расстояние и пропускную способность волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Это послужило началом масштабного внедрения новых концепций и технологий построения волоконно-оптических сетей на локальном, региональном и глобальном уровнях. Оптическая телекоммуникационная сеть (ОТС) сочетает в себе гибкость и прозрачность цифровой коммутации с масштабированием сети [Шмидт, 2012].

Актуальность применения ОТС заключается в возможности эффективного использования множества различных ИКУ для удовлетворения разнообразных потребностей пользователей и делает ОТС идеальной мультисервисной сетевой платформой, способной в полной мере обеспечить соответствие неопределенным требованиям завтрашнего дня. Эта платформа позволяет максимально эффективно использовать ресурсы оптической сети, мультиплексирующей на одной длине волны несколько разнородных сетей с различными скоростями передачи, протоколами и источниками синхронизации.

В наше время волоконно-оптические технологии движутся к исчерпанию возможностей оптических направляющих структур. Перестают открываться новые свойства сред и в основном все производители телекоммуникационного оборудования работают в области уже известных явлений и совершенствуют оборудование лишь изменением электронной базы или алгоритмов обработки сигналов. Новые технические задачи, поставленные перед рынком производителями телекоммуникационного оборудования по увеличению скоростей и объемов передачи данных, ведут к пересмотру не только фундаментальных принципов проектирования устройств и сетей, но и физических принципов функционирования их компонентов.

Анализ состояния вопроса

В последние годы наблюдается стремительный рост сетевого трафика, что обусловлено сочетанием ресурсоемких услуг (например, с передачей видео) с беспрецедентным уровнем межсетевого взаимодействия. Для передачи потоков информации на большой скорости (более 10 Гбит/с) с помощью оптического волокна на расстояние в сотни километров нужно решить множество задач. Главными препятствиями на пути построения протяженных оптических сегментов без регенераторов являются: дисперсия оптического сигнала, распространяющегося по волокну, влияние нелинейных эффектов в оптической мультиплексной линии, вносимые шумы и помехи. По мере увеличения объема информации, передаваемой сетью, рано или поздно возникает задача увеличения емкости сети. Менее трудоемким решением является модернизация волоконно-оптических сетей путем замены систем коммутации (СК) на более мощные электронные устройства, а также привлечение ранее не используемых резервных волокон в проложенных ВОЛС. Однако, в ситуации, когда резерв волокон оказывается исчерпанным, а электронная коммутация не дает повышение пропускной способности сети, требуется прокладка новых оптических кабелей, что влечет за собой большие денежные и временные затраты. В сложившихся условиях альтернативным путем является и построение ТС

на основе концепции полностью оптических сетей AON, что делает возможным значительное повышение экономичности, гибкости и надежности сетей, и значительно увеличивает пропускную способность сети за счет применения оптической обработки информационного сигнала и оптического управления коммутацией оптических сигналов.

На сегодняшний день уже существуют полностью оптические фрагменты ТС, в пределах которых отсутствуют электрооптические преобразователи. Такой уровень развития сети, без сомнения, является эффективным вне зависимости от технологий оптической коммутации. Однако, учитывая рост требований к пропускной способности ТС, максимальная эффективность сети будет достигнута в том случае, когда в сети будут использоваться оптические технологии, как в системах передачи, так и в системах распределения информации [Соколов, 2003]. Полностью оптические ТС представляют класс сетей, в функционировании которых главную роль при коммутации, мультиплексировании и ретрансляции играют не электронные (оптоэлектронные), а только оптические технологии [Ершова, 2009].

Исследование концепции AON продемонстрировало эффективность ее применения, в первую очередь, на транспортном уровне при создании разветвленных сетевых архитектур. Однако вместе с тем создание разветвленных ОТС требует решения важнейшей задачи – реализации коммутации оптических сигналов с оптическим управлением. Анализ публикаций, посвященных созданию оптических сетей [Каток, 1999], [Иванов, 1999], [Шарварко, 2006], [Каток, 2006], [Убайдуллаев, 2001] показал, что на данный момент вопросы, относящиеся к функционированию волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) изучены достаточно хорошо. В тоже время вопросы реализации оптических СК рассмотрены поверхностно и требуют проведения дальнейших исследований. Пока существуют только общие концептуальные подходы к построению оптических СК, которые нуждаются в развитии и тщательном анализе.

Длительное время в литературе принципам оптической коммутации было посвящено лишь несколько обзорных журнальных статей. При решении вопроса коммутации оптических сигналов с использованием оптического управления, необходима разработка методов подключения оптического переключателя к сегменту ВОСП, включая также разработку методов расчета эффективности работы оптического переключателя. Эти задачи рассматривали в своих работах Ганьжа Д., Костров С.В, Пименов Ю.В., Вольман В.И, Муравцов А.Д., Слепов Н., Балестра Ч.Л., Шенли Д.Ф., Виллинеу П.Р., Джоаналос Дж. Д., Хаус Г.А., Ешби, Султанов А.Х., Тухватуллин Р.А., Маккавеев В.И. [Маккавеев, 1992]. В последние годы заслуживают внимания работы таких авторов как Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. [Гольдштейн, 2005], Фриман Г. [Фриман, 2003], Складов А.К. [Складов, 2001].

Работа Кострова С.В. [Костров, 2011] заключалась в анализе и синтезе оптического переключателя для ВОЛС на основе многослойного диэлектрического селективного зеркала. Также им разработан частотно-селективный оптический переключатель с включением в многослойную структуру сегнетоэлектрического компонента, который меняет под действием

внешнего электрического поля коэффициент преломления, что позволяет осуществить переключение за счет смещения полосы отражения за пределы рабочей области. Слепов Н. [Слепов, 1999] занимался исследованием устройств ввода-вывода энергии оптического излучения, анализируя различные типы лазеров и методы реализации ОТС с использованием оптической коммутации. Можно также отметить работу Котова В.М. [Котов, 1997], в которой он рассматривал и исследовал принципы акустооптической коммутации оптических излучений.

Такие авторы, как Джоанополос Дж. Д. и Хаус Г.А. [Haus, 1998] исследовали возможность получения прозрачных объемных нанокристаллических образцов, обладающих оптическими свойствами и их использования при проектировании коммутирующих устройств в ОТС. Работа Эшби [Ashby, 1973] заключалась в разработке методов подключения оптического переключателя к сегменту ВОСП, обеспечивающих резервирование полосы пропускания полностью оптическим способом. Им разработана схема сети с автоматическим режимом переключения, что обеспечивает необходимые условия (высокие скорости переключения) для минимизации потерь информационных битов переданных сообщений. Работы Канакова В.И. [Канаков, 2004], П. Джейсона [Jason, 2005] также посвящены исследованию вопросов оптической коммутации. Исследования Канакова В.И. заключались в нахождении новых подходов, позволяющих создавать оптические СК, которые, в отличие от известных, основаны на управлении нелинейными оптическими свойствами нанокристаллического прозрачного кварца, что обеспечивает возможность повышения пропускной способности ОТС. В работе Джейсона П. выполнен анализ способов подключения оптических СК, позволяющих перейти к полностью оптическим ТС, которые в отличие от известных, допускают совместную передачу информационного и управляющего сигналов по одномодовому световоду. Этот способ открывает перспективы создания адаптивных оптических систем передачи. В работах Маккавеева В.И и Фримана Г. выполнен анализ перспективных компонентов ОТС – фотонных коммутаторов. При этом исследованы принципы работы фотонных коммутаторов в сетях с коммутацией каналов и коммутацией пакетов, и сформулированы задачи, которые нужно решить при построении полностью оптических сетей связи с фотонными коммутаторами. Работы Гольдштейна А.Б., Гольдштейна Б.С. и Склярова А.К. заключались в исследовании волоконно-оптических переключателей и свойств термооптического переключателя, изготовленного из трех различных оптических волокон с одинаковыми геометрическими параметрами. В работе Славинской В.В. [Славинская, 2004] исследованы принципы построения оптических СК на основе одноканального дефлектора с использованием изотропного акустооптического взаимодействия (АО-взаимодействия). В этой работе предложен метод расчета параметров дефлектора с акустооптической ячейкой со сплошным пьезопреобразователем на основе требований к характеристикам СК. Произведена оценка эффективности применения ячеек АО с пьезопреобразователем в виде решетки с противофазным возбуждением для улучшения характеристик акустооптической СК. Также исследована возможность построения оптической СК с динамической селекцией длин волн на основе одноканального АО-дефлектора.

Следует отметить исследования таких ученых как Султанов А.Х. и Виноградова И.Л. [Султанов, 2008], исследовавших возможности создания СК оптических сигналов, управляемых оптическим излучением. Они предположили, что управляющее излучение изменяет показатель преломления оптической среды устройства, а с ним и длину волны информационного излучения. Для контроля последней они использовали многолучевой интерферометр. В результате оценки технических аспектов построения устройства и анализа его функционирования, выявлено, что интерференционные СК технически можно реализовать, но существуют такие нерешенные проблемы, как наличие постоянной интерференционной составляющей, а также искажения действием интерференции нелинейных оптических эффектов цифрового оптического сигнала.

В результате выполненного анализа опубликованных источников, видим, что на сегодняшний день практически не решены такие задачи, как разработка «управляемых» коэффициентов отражения и преломления, на базе которых можно было бы получить новые полностью оптические компоненты управления: многоканальные разветвители, фильтры, преобразователи физических величин, оптические бистабильные нелинейные элементы и т.д. В последних генерация нелинейного режима функционирования является основой их работы – обеспечение бистабильного режима прохождения для информационного оптического потока [Jason, 2005] без проявления негативных факторов, связанных с другими нелинейными эффектами.

В последнее время отсутствие научной литературы указанной тематики в определенной степени ликвидирован такими специалистами как Кучерявый Е.А. [Кучерявый, 2012], Гайворонская Г.С., Рябцов А.В., заслугой которых является исследование перспектив развития коммутационных технологий в полностью оптических ТС. Работы Гайворонской Г.С. и Рябцова А.В. [Гайворонская, 2009], [Гайворонская, 2010], [Гайворонская, 2011], [Гайворонская, 2012] заключались в исследовании перспектив внедрения систем оптической коммутации в полностью оптических ТС. В них предложена феноменологическая модель оптической СК с оптическим управлением, которая может найти применение для повышения быстродействия ОТС. Проведен анализ типов пьезоэлектрических коммутационных элементов (КЭ), исследованы различные методы и средства отклонения и модуляции оптического излучения, на основе которых возможно построить полностью оптические СК. Проведен анализ технических аспектов построения оптических СК, анализ современного состояния проблемы создания полностью оптических ТС и выявлены задачи, требующие дальнейших исследований.

Возникающие новые технические задачи, направленные на увеличение скорости обработки информации требуют пересмотра некоторых фундаментальных подходов не только к проектированию объектов телекоммуникаций, но и физических принципов, на базе которых построены компоненты этих объектов. Некоторым аспектам повышения быстродействия АОН посвящена эта работа.

Анализ характеристик оптических коммутационных элементов

На сегодняшний день коммутация в системах связи осуществляется оптико-электронными коммутационными элементами (КЭ). В работах [Gayvoronska, 2015], [Гайворонская, 2015], [Гайворонская, 2016] показано, что повышение быстродействия полностью оптических ТС возможно за счет применения полностью оптических КЭ. В настоящее время в разработке КЭ оптических сигналов сформировалось два технологических направления [Gayvoronska, 2015]. Первое – создание прозрачных полностью оптических КЭ (all-optical switches), а второе – создание оптико-электрических КЭ (optical-electrical-optical), или иначе не прозрачных полностью оптических КЭ. С точки зрения быстродействия оптические коммутационные элементы (ОКЭ) можно разделить на два класса: с оптическим и с электронным управлением. Наиболее перспективными с точки зрения использования в полностью оптических сетях являются ОКЭ с оптическим управлением. Такие ОКЭ могут быть применены при построении оптических СК, реализующих технологии меточного мультиплексирования.

Проанализируем характеристики ОКЭ, к которым относятся: акустооптические, жидкокристаллические, термооптические, электрооптические, электромеханические; ОКЭ, основанные на использовании нелинейного оптического петлевого зеркала; ОКЭ, использующие многолучевой интерферометр Фабри-Перо; ОКЭ на основе кольцевых кремниевых световодов. Среди ОКЭ с электронным управлением выделяют: акустооптические, жидкокристаллические, термооптические, электрооптические, электромеханические.

В **акустооптических** используются акустические волны для создания в твердом теле областей с повышенной и пониженной плотностью [Котов, 1997]. Образующиеся неоднородности плотности отклоняют проходящие световые пучки под различными углами.

Жидкокристаллические (ЖК) используют свойства молекул жидких кристаллов выстраиваться вдоль одного направления, называемого оптической осью. Прикладывая к ЖК электрическое напряжение, можно заставить молекулы изменить свою ориентацию, в результате чего некоторые свойства жидкого кристалла, в частности, показатель преломления изменяются. Способность жидкого кристалла изменять показатель светопреломления может быть использована для реализации СК оптических сигналов.

Поляризационно-зависимый жидкокристаллический ОКЭ показан на Рис. 1. Для переадресации светового пучка из одного порта в другой используется многостадийный процесс [Гринфилд, 2002].

Интерферометр Маха-Цендера (ИМЦ) использует термооптический принцип построения ОКЭ (Рис. 2) в котором коэффициент преломления вещества изменяется под действием температуры, что ведет к изменению разности фаз между двумя плечами интерферометра, вызывающему эффект коммутации входного сигнала с одного выхода на другой [Слепов, 1999].

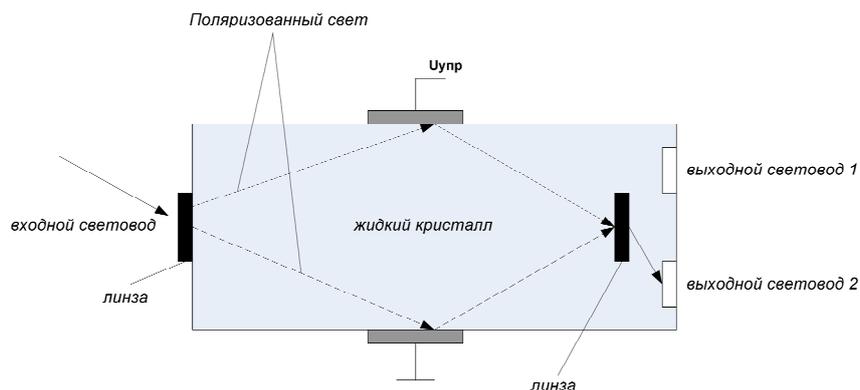


Рис. 1 – Оптический коммутационный элемент на базе жидкого

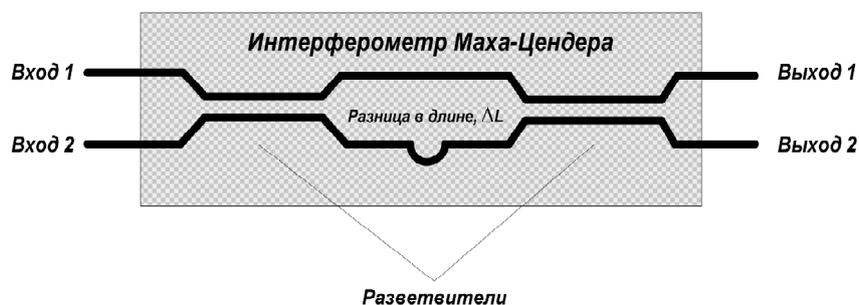


Рис. 2 – Термооптический коммутационный элемент

Электрооптический коммутационный элемент (ЭОКЭ), изображенный на Рис. 3, основан на электрооптическом эффекте Поккельса, заключающегося в изменении показателя преломления материала пропорционально приложенному электрическому напряжению [Убайдуллаев, 2001]. Эффект Поккельса может наблюдаться только в кристаллах, не обладающих центром симметрии. К недостаткам ЭОКЭ относятся относительно высокие поляризационные и вносимые потери.

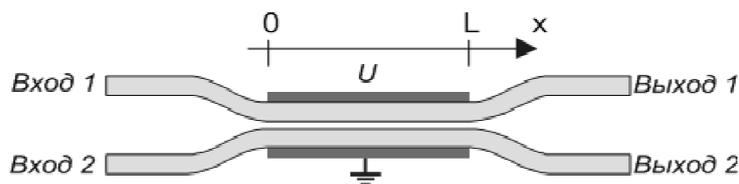
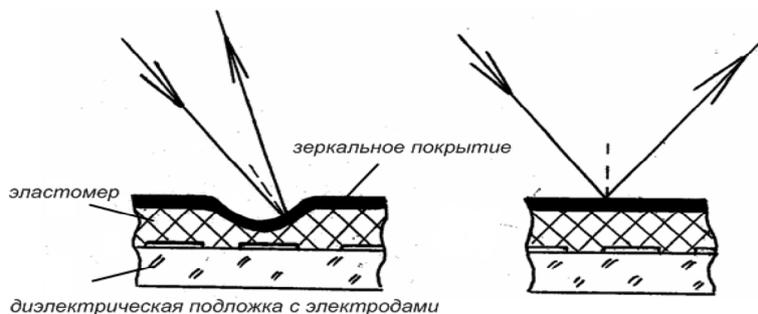


Рис. 3 – Электрооптический коммутационный элемент

Тем не менее, ЭОКЭ, несмотря на электронное управление, обладают высокой скоростью переключения (порядка 10-100 пс), что позволяет применять их для построения СК полностью оптических ТС.

К **электромеханическим** относят ОКЭ, реализующие технологии микроэлектромеханических систем (micro-electro mechanical systems, MEMS). Системы MEMS представляют собой набор подвижных зеркал очень маленького размера, с диаметром менее миллиметра, которые образуют оптическое коммутационное поле. Согласно физическому принципу, применяемому для

управления миниатюрными зеркалами, выделяют следующие подклассы электромеханических КЭ [Скляр, 2001]: пленочные, электростатические, пьезоэлектрические и магнитооптические. На рис. 4 показан принцип работы пленочного оптического КЭ, действие которого основано на эффекте оптической дифракции.



4 – Принцип работы пленочного коммутационного элемента

Эластомер (полимерное вещество, способное к обратимой деформации под действием электрического поля), наносится на диэлектрическую пластину с сеткой электродов, и покрывается сверху гибкой отражающей пленкой. При подаче управляющего напряжения на электроды происходит локальная деформация полимера, вызывающая дифракцию падающего света. Попадающий на эту точку пленки луч света дифрагирует и, проходя через специальную оптическую систему, формирует выходной оптический сигнал в виде светящейся точки.

Электростатический оптический КЭ (рис.5) основывается на действии кулоновских сил, которые осуществляют его перемещение в пространстве [Гринфилд, 2002]. Гибкий язычок 1, изготовленный из полимерной пленки, закрепляется одним концом в изоляционном держателе 2. Его другой конец располагается в непосредственной близости от пары электродов 3 и 4, к которым подведены разнополярные электростатические потенциалы от источника управляющего напряжения.

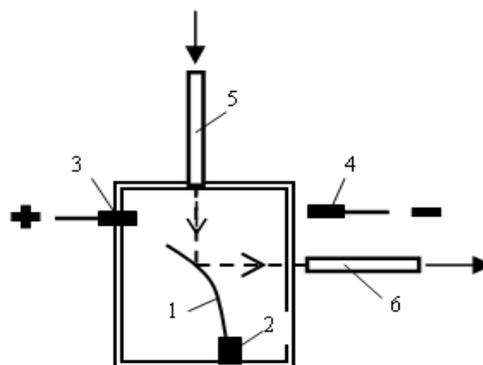


Рис. 5 – Электростатический КЭ

Наэлектризованный полимерный язычок стремится притянуться к тому из контактов, который имеет противоположный заряд, и соответственно изгибается, но его длина подобрана так, что он не касается при этом контакта. При этом его зеркальная поверхность образует наклонный отражатель, и луч, выходящий из входного световода 5, попадает через собирающую линзу в торец выходного световода 6, осуществляя процесс коммутации оптического сигнала.

Пьезоэлектрические КЭ основываются на пьезоэлектрических актуаторах [Гайворонская, 2009]. Одним из простейших примеров такого актуатора может служить плоская биморфная пластина, образованная двумя жестко скрепленными между собой поперечно поляризованными пьезоэлементами. На рис.6 изображён ОКЭ с двухпорным актуатором. Одновременный изгиб пьезоэлектрической пластины приводит к повороту зеркала на угол, определяемый величиной

изгиба, т.е. величиной постоянного напряжения, приложенного к электродам пьезоэлемента. Величина приложенного управляющего напряжения $U_{упр}$ может легко изменяться с шагом не более милливольт, при этом точность позиционирования отраженного луча может составлять доли микрометра. Такая конструкция дефлектора позволяет строить многоканальные полностью оптические СК большой размерности.

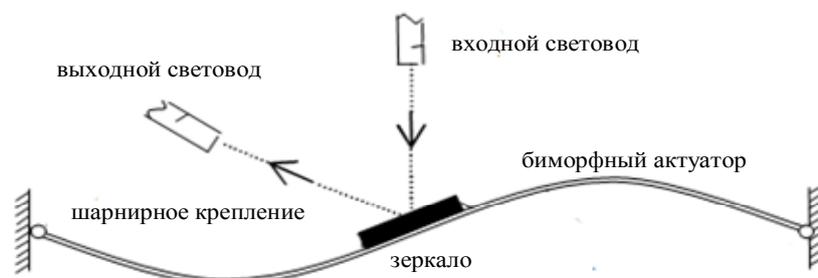


Рис. 6 – Пьезоэлектрический двухпорный актуатор

Принцип работы **магнитооптического** КЭ (рис. 7) основан на эффекте Фарадея, который заключается в изменении поляризации оптического излучения, проходящего через вещество при наведении в нем магнитного поля [Гайворонская, 2010].

Таким образом, из всех физических принципов, используемых для реализации электромеханических КЭ, наибольшими преимуществами обладают пьезоэлектрические актуаторы. К числу их достоинств можно отнести малую потребляемую мощность,

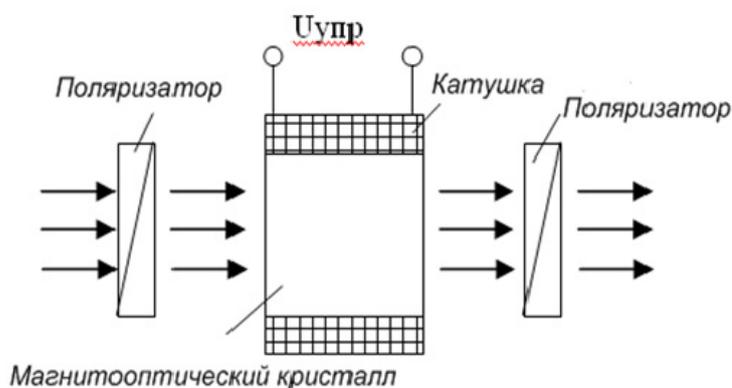


Рис. 7 – Магнитооптический коммутационный элемент

достаточно высокую механическую прочность, надежность и технологичность, а также малые габариты и стоимость. Эти обстоятельства позволяют развивать пьезоэлектрический подход с целью уменьшения времени переключения КЭ, которое в настоящий момент составляет несколько микросекунд.

Все рассмотренные КЭ имеют один общий недостаток: управление коммутацией осуществляется с помощью электронных компонентов, что ограничивает их быстродействие. Поэтому более перспективными с точки зрения использования в современных ТС являются ОКЭ с оптическим управлением, к которым на сегодняшний день можно отнести: ОКЭ, основанный на использовании нелинейного оптического петлевого зеркала (НОПЗ); ОКЭ, использующий многолучевой интерферометр Фабри-Перо (ИФП) и ОКЭ на основе кольцевых кремниевых

световодов. Схема НОПЗ, в которой используется интерферометр Саньяка, приведена на рис. 8 [Маккавеев, 1992].

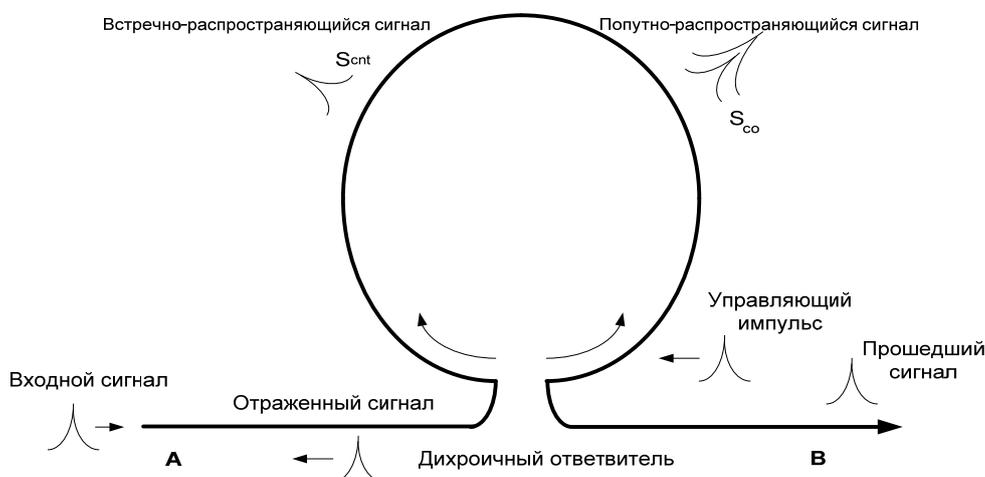


Рис. 8 – Схема нелинейного оптического петлевого

В такой схеме используется оптическая обработка сигналов, основанная на относительном фазовом сдвиге двух встречно распространяющихся оптических импульсов. Фазовый сдвиг создаётся за счёт эффекта фазовой кросс-модуляции оптическим импульсом, изменяющим нелинейный показатель преломления в петле интерферометра Саньяка (эффект Керра). Интерферометр Саньяка состоит из направленного ответвителя (НО), два выхода которого соединены с волоконно-оптической петлёй задержки. Оптический сигнал поступает на вход А и разделяется на два сигнала, распространяющихся во встречных направлениях.

При слабом входном сигнале и отсутствии управляющего импульса два встречно-распространяющихся сигнала возвращаются к разветвителю с одинаковыми задержками и, следовательно, результирующий фазовый сдвиг равен нулю. В этом случае входной сигнал полностью отражается от НОПЗ, то есть интерферометр Саньяка действует как зеркало с 100%-ным отражением.

Если коэффициент связи НО для управляющего импульса $k_c = 0$ входной сигнал точно синхронизирован с управляющим импульсом, то сильный управляющий импульс, возбуждающий плечо В, не расщепляется в НО, а распространяется в одном направлении с сигналом S_{co} и одновременно пересекает сигнал S_{cnt} . В результате этого сигнал S_{co} подвергается фазовой кросс-модуляции на всей петле под воздействием управляющего импульса, и баланс между встречно-распространяющимися сигналами S_{co} и S_{cnt} нарушается. Это приводит к относительной разности фаз $\Delta\phi$. Если интенсивность управляющего импульса отрегулировать так, что $\Delta\phi = \pi$, то весь входной сигнал проходит через интерферометр Саньяка в плечо В. Это означает, что входной сигнал может переключаться управляющим импульсом между плечами А и В. Вследствие того, что фазовый сдвиг попутно распространяющегося сигнала возрастает пропорционально длине петли, уменьшение управляющей мощности может быть достигнуто за счёт увеличения длины

петли. Таким образом, использование НОПЗ позволяет достичь высокостабильного переключения устройства даже при использовании маломощного управляющего сигнала, что позволяет говорить о перспективности подобных устройств с позиций использования в полностью оптических ТС.

Ещё один подход к построению систем коммутации оптических сигналов, управляемых оптическим излучением заключается в том, что действие управляющего оптического сигнала приводит к изменению оптических свойств прозрачной среды устройства (смесителя), которые влияют на условия распространения там оптического излучения, переносящего информационный сигнал, обычно имеющий другую длину волны [Султанов, 2008]. Для этого используется физический эффект нелинейной зависимости показателя преломления изотропной прозрачной среды n от интенсивности входного оптического излучения.

Изменения значения n в области смесителя действием управляющего излучения приведёт к изменению длины волны информационного излучения. Если же смеситель помещён в интерферометр, то присутствие, либо отсутствие управляющего излучения будет оказывать влияние на результирующую интерференционную картину или выходной сигнал

интерферометра. Для реализации таких ОКЭ целесообразно использовать многолучевой интерферометр Фабри-Перо (ИФП), обладающий высокой чувствительностью и хорошей помехоустойчивостью. Такой ОКЭ пропускает информационный сигнал (а) в отсутствие управляющего сигнала (в области выходного зеркала ИФП имеет место максимум стоячей волны), и отражает его (б) в случае присутствия управляющего излучения (рис. 9, а).

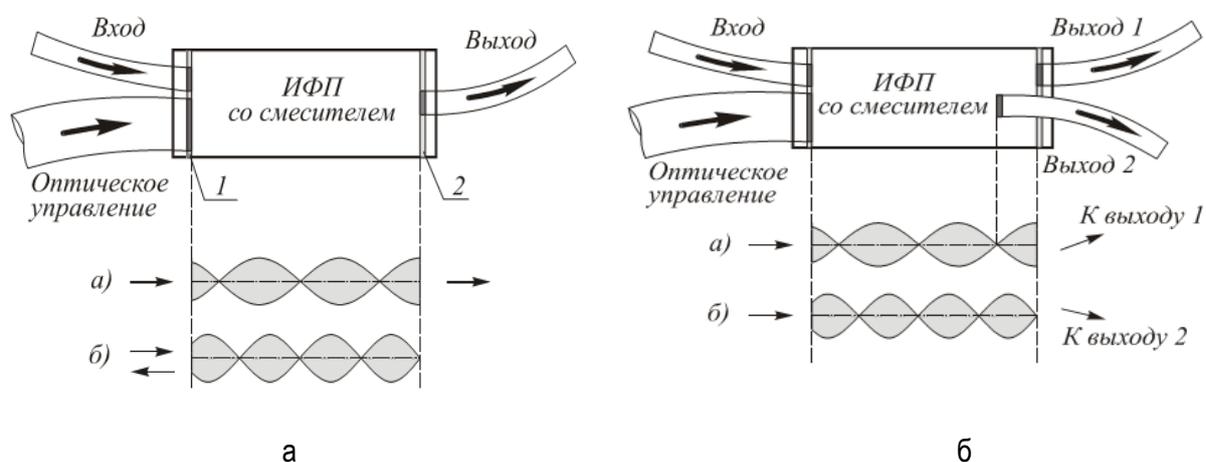


Рис. 9 – Принцип действия интерференционного ключа

С помощью изменения значения n в окрестности одной и той же пространственной координаты можно чередовать положение максимумов и минимумов стоячей световой волны (ССВ), что позволяет строить оптические СК на несколько выходов. При этом должны быть соблюдены следующие условия: максимум ССВ находится в области одного из выходных световодных каналов; минимум ССВ – в области другого выходного световодного канала. С заменой положений максимумов и минимумов ССВ (действием управляющего оптического излучения)

произойдёт переключение оптических каналов (рис. 9, б).

Подобные СК имеют свои достоинства и недостатки. К достоинствам можно отнести высокую скорость переключения, независимость работоспособности от состояния поляризации излучения, малогабаритность конструкции. Среди недостатков следует выделить наличие постоянной составляющей в интерференционной картине, высокую трудоёмкость изготовления устройства, искажение нелинейными эффектами передаваемого цифрового информационного сигнала.

Третьим направлением разработки ПОКЭ является подход, основанный на использовании микроминиатюрных модуляторов светового потока на базе кольцевых кремниевых световодных структур (рис. 10), изобретенных учёными Корнельского университета (США) [Митилино, 2005]. В этом устройстве световоды выполнены методом плазменного напыления *PECVD* (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*) и изолированы стенками из двуокиси кремния. Входной оптический сигнал, в виде линейно поляризованного когерентного излучения с заданной длиной волны, направляется по линейному световоду, выполненному на подложке из кристаллического кремния. Основная деталь модулятора - кольцевой резонатор, в котором может распространяться только пучок света с фиксированной длиной волны, определяемой геометрическими размерами кольца. Особенностью модулятора является то, что световой поток попадает из линейного световода в кольцо благодаря эффекту «эффемерной связи» ("*evanescent coupling*"), основанном на эффекте «близкого поля» ("*near-field*").

Если расположить два волновода достаточно близко друг к другу, то энергия может передаваться между ними так, словно разделяющего их пространства (материала, барьера) не существует. При этом имеется возможность подстраивать частоту резонанса и полосу пропускания кремниевого световода с помощью второго пучка света, называемого «накачивающим». Так как кольцо резонатора располагается в непосредственной близости от линейного волновода, то свет проникает через разделяющее их пространство. При этом излучение с резонансной длиной волны будет «поглощаться». Соединяя посредством резонатора два параллельных волновода, входной и выходной, имеется возможность получить «оптический вентиль», пропускающий между ними свет только на частотах, кратных резонансной. Существенным недостатком является высокая зависимость полупроводниковых материалов от температуры (как известно, коэффициент преломления кремния нелинейно уменьшается с ростом температуры), а также быстрое действие, ограниченное временем релаксации свободных носителей в кремнии, равным 450 пс.

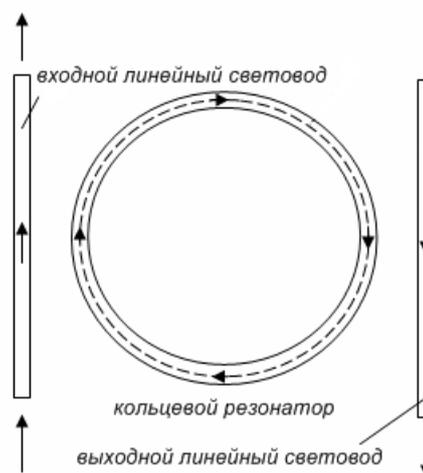


Рис. 10 – Кольцевой кремниевый

Таким образом, все три подхода к построению ПОКЭ в равной степени являются перспективными с точки зрения их использования при создании СК для полностью оптических сетей. Однако если использование НОПЗ и интерферометра Фабри-Перо позволят создавать высокоскоростные СК потоков данных, то кольцевой кремниевый модулятор может быть применен для реализации коммутационных устройств, осуществляющих защитное переключение резервных маршрутов в оптических сетях.

Классификация ОКЭ приведена на рис. 11.

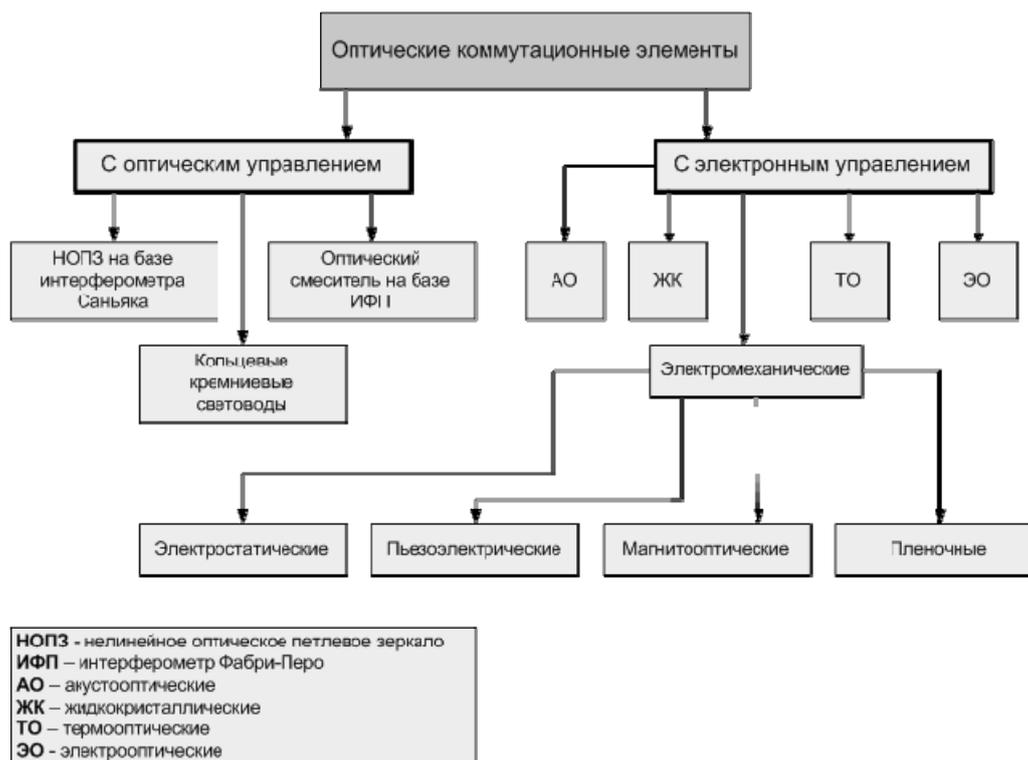


Рис. 11 – Классификация оптических коммутационных элементов

Задача выбора коммутационного элемента для коммутации оптических сигналов

Для того чтобы достичь цели увеличения пропускной способности полностью оптической ТС, нужно решить задачу выбора ОКЭ. То есть выбрать из существующих альтернатив ту, которая больше всего будет удовлетворять поставленной задаче увеличения быстродействия систем коммутации оптических сигналов.

Для решения задачи использован критерий Парето, что позволит прийти к базису конструкций ОКЭ, отбросив варианты, уступающие по сформированным показателям.

Задача выбора решена при использовании следующих показателей приемлемости:

- Q – быстродействие, то есть способность выполнять с необходимой скоростью работу, для которой они предназначены (чем меньше быстродействие, тем меньше оценка);
- N – стоимость (чем ниже цена, тем выше оценка);

- L – потребляемая мощность (чем меньше потребляемая мощность, тем выше оценка);
- G – надежность, то есть способность коммутационного элемента сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров (чем меньше надежность, тем меньше оценка);
- C – тип управления коммутацией (оптическое управление – оценка максимальна);
- T – чувствительность к температурным шумам, то есть чувствительность к шуму, который возникает при случайном отклонении электронов в проводниках, которые имеют некоторую конечную температуру.

Таким образом, показатели приемлемости для решаемой задачи выбора примут следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q(x) \rightarrow \max \\ N(x) \rightarrow \min \\ L(x) \rightarrow \min \\ G(x) \rightarrow \max \\ C(x) \rightarrow \max \\ T(x) \rightarrow \min \end{array} \right.$$

Для каждого показателя проведем шкалирование по шкале от «1...5», результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Шкалирование показателей приемлемости при выборе ОКЭ

Оптический элемент	коммутационный	Q	N	L	G	C	T
Акустооптический		3	4	4	2	1	5
Жидкокристаллический		3	3	2	5	1	2
Термооптический		5	4	4	5	1	3
Электрооптический		4	3	2	5	1	2
Пленочный		4	5	4	3	1	3
Электростатический		3	3	4	3	1	3
Пьезоэлектрический		1	4	5	2	1	5
Магнитооптический		2	4	4	3	1	4
На основе НОПЗ		4	3	5	4	5	4
На базе ИФП		5	4	3	5	5	4
На основе кольцевых кремниевых светопроводящих структур		4	5	4	3	5	5

В данном случае выбор проводился для условий, при которых ОКЭ должен обеспечивать быстроедействие не менее $Q \approx 1 \cdot 10^{12}$ оп/с, при стоимости не более 12000 долл. США. Кроме того,

показатель приемлемости потребляемой мощности должен быть не более 150 Вт, то есть $L \leq 150$ Вт. Основными ограничениями при выборе конструкции, являются: надежность, которая должна составлять не менее 265000 ч безотказной работы, $G \geq 265000$ ч.

Для решения задачи выбора последовательно использованы векторный и скалярный критерии. Векторный позволил отбросить заведомо худшие варианты, а скалярный критерий – получить единственное решение. Построим диаграмму Хассе, которая является визуализацией альтернатив и значений их показателей, рис. 12.

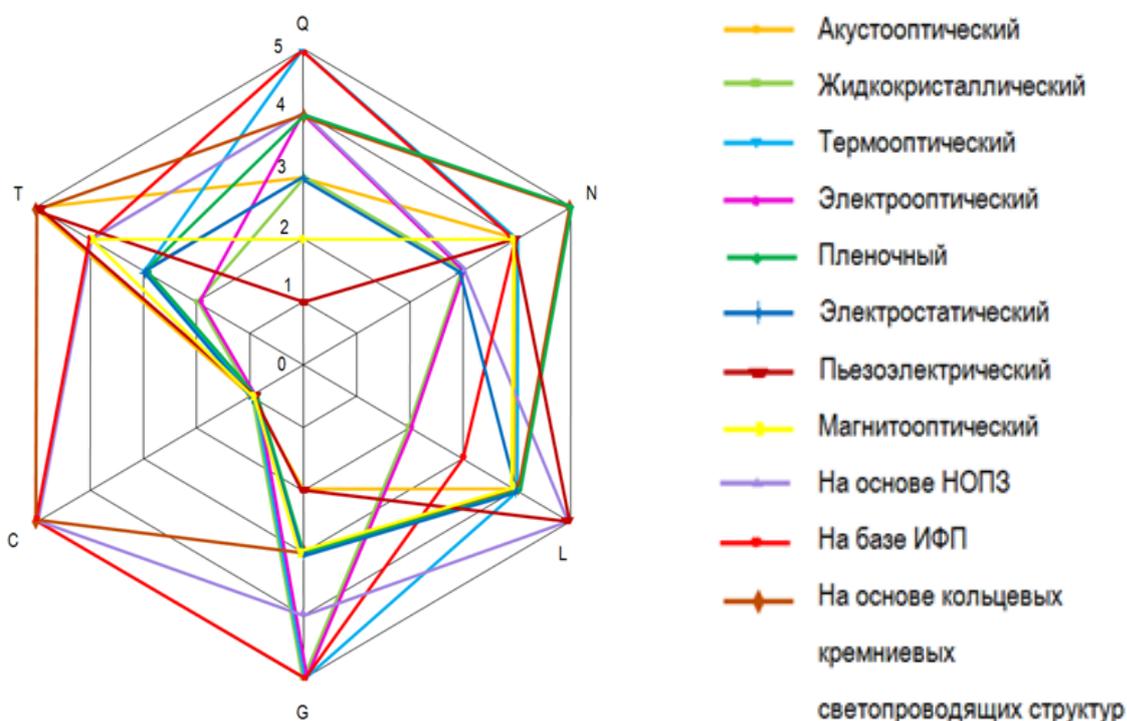


Рис. 12 – Диаграмма показателей качества выбранных вариантов ОКЭ

Поскольку по построенной диаграмме Хассе невозможно получить единственное решение, уменьшив количество альтернатив, воспользовавшись векторным критерием. Для этого проведем сравнение ОКЭ, построенных на пьезоэлектрических оптических коммутационных элементах с MEMS. По первому показателю приемлемости, быстродействие MEMS преобладает в сравнении с пьезоэлектрическим ОКЭ, но по второму они имеют одинаковые показатели, поэтому по критерию Парето эти две конструкции заносим в базис. Аналогичным образом проведено попарное сравнение всех остальных альтернатив. В результате количество вариантов уменьшено до 6-ти: ОКЭ на жидких кристаллах, электрооптический КЭ, термооптический КЭ, ОКЭ на основе НОПЗ, ОКЭ на основе кольцевых кремниевых светопроводящих структур и ОКЭ на основе ИФП, что позволило упростить диаграмму Хассе, до вида, показанного на рис. 13.

Далее, используем скалярный критерий, позволяющий получить единственное решение, то есть выбрать конструкцию ОКЭ.

Проведя анализ задачи выбора, можно сделать вывод, что она является детерминированной в условиях определенности, потому что между альтернативой и следствием существует лишь одна функциональная зависимость, поэтому для решения задачи выбора использован критерий Байеса – Лапласа, который выражается функцией:

$$W' = \sum_{l=1}^M a_l k_l; \quad \sum_{l=1}^M a_l = 1, \quad a_l \geq 0, \quad \overline{l=1, M}$$

где a_l – весовые коэффициенты соответствующих показателей приемлемости;

k_l – нормированное значение.

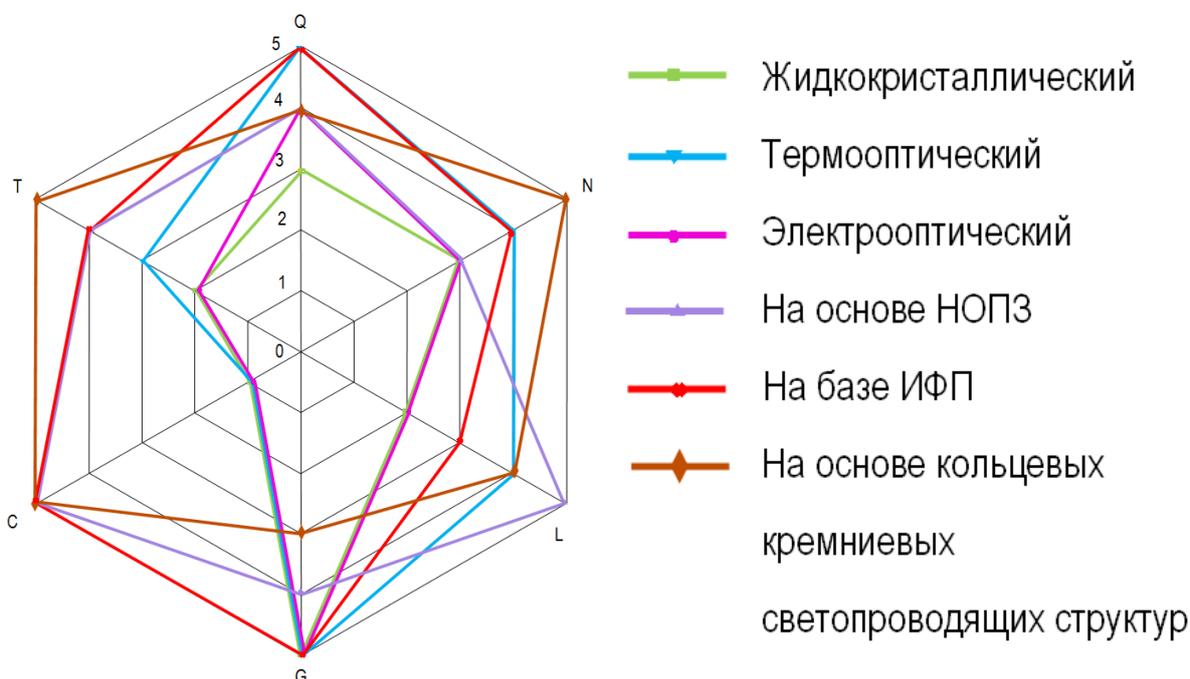


Рис. 13 – Диаграмма Хассе выбранных вариантов ОКЭ, построенная в результате применения критерия Парето

Расположим показатели приемлемости в виде матрицы и для каждого критерия расставим коэффициенты значимости (рис.14):

Оптический коммутационный элемент	Q	N	L	G	C	T
Жидкокристаллические	3	3	2	5	1	2
Термооптические	5	4	4	5	1	3
Электрооптические	4	3	2	5	1	2
На основе НОПЗ	4	3	5	4	5	4
На базе ИФП	5	4	3	5	5	4
На основе кольцевых кремниевых светопроводящих структур	4	5	4	3	5	5

0,3	0,05	0,15	0,15	0,3	0,05
3	3	2	5	1	2
5	4	4	5	1	3
4	3	2	5	1	2
4	3	5	4	5	4
5	4	3	5	5	4
4	5	4	3	5	5

Рис. 14 – Расположение показателей приемлемости в виде матрицы

Для того чтобы решить задачу выбора по критерию Байеса – Лапласа, приведем показатели к одному виду, в данном случае увеличим их до максимального значения:

$$\begin{pmatrix} 0,3 & 0,05 & 0,15 & 0,15 & 0,3 & 0,05 \\ 3 & 3 & 2 & 5 & 1 & 2 \\ 5 & 4 & 4 & 5 & 1 & 3 \\ 4 & 3 & 2 & 5 & 1 & 2 \\ 4 & 3 & 5 & 4 & 5 & 4 \\ 5 & 4 & 3 & 5 & 5 & 4 \\ 4 & 5 & 4 & 3 & 5 & 5 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 0,3 & 0,05 & 0,15 & 0,15 & 0,3 & 0,05 \\ 3 & 2 & 3 & 5 & 1 & 3 \\ 5 & 1 & 1 & 5 & 1 & 2 \\ 4 & 2 & 3 & 5 & 1 & 3 \\ 4 & 2 & 0 & 4 & 5 & 1 \\ 5 & 1 & 2 & 5 & 5 & 1 \\ 4 & 0 & 1 & 3 & 5 & 0 \end{pmatrix}$$

В результате получим конечное значение для каждой альтернативы:

$$\begin{pmatrix} 3 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,05 \\ 5 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 \\ 4 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,05 \\ 4 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + 0 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 \\ 5 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 \\ 4 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,05 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 2,65 \\ 2,85 \\ 2,95 \\ 3,45 \\ 4,15 \\ 3,30 \end{pmatrix}$$

Для того чтобы прийти к единому результату, из полученной матрицы находим максимальное значение.

$$\begin{pmatrix} 2,65 \\ 2,85 \\ 2,95 \\ 3,45 \\ 4,15 \\ 3,30 \end{pmatrix}$$

Полученное значение 4,15 соответствует конструкции на основе ИФП. Поэтому можно сделать вывод, что при решении задачи выбора по критерию Байеса – Лапласа, целесообразно использовать оптический коммутационный элемент на основе интерферометра Фабри-Перо.

Выводы

В результате решения двухкритериальной задачи выбора ОКЭ рассмотрено одиннадцать альтернатив. Для того чтобы прийти к единому результату решена задача выбора с помощью векторного и скалярного критерия с использованием шести показателей приемлемости: быстродействия, стоимости, потребляемой мощности, надежности, типа управления коммутацией и чувствительности к температурным шумам. При решении задачи выбора конструкции ОКЭ векторным критерием, уменьшено количество вариантов конструкций ОКЭ до 6-ти: ОКЭ на жидких кристаллах, электрооптический, термооптический, ОКЭ на основе нелинейного оптического петлевого зеркала, ОКЭ на основе кольцевых кремниевых светопроводящих

структур и ОКЭ на основе интерферометра Фабри-Перо. Так как векторный критерий не позволяет прийти к единому результату, использован критерий Байеса-Лапласа с помощью которого пришли к единому результату. Оптимальной конструкцией для ОКЭ будет конструкция на базе интерферометра Фабри-Перо. Таким образом, оптический коммутационный элемент на основе интерферометра Фабри-Перо может быть использован для построения СК оптических сигналов, положенных в основу коммутационных полей, реализующих коммутацию на узлах полностью оптических телекоммуникационных сетей. Такие коммутационные поля для повышения эффективности и функционирования должны быть многозвенными без внутренних блокировок, поэтому направление дальнейших исследований предусматривает выбор оптимальной структуры многозвенного коммутационного поля и оценку его быстродействия. Такая оценка может быть выполнена путем расчета задержек вносимых оптическим коммутационным полем. Если при построении коммутационного поля на основе интерферометра Фабри-Перо удастся достичь существенного быстродействия оптических сетей, поставленная задача будет решена.

Благодарности

Настоящая работа выполнена при поддержке интернационального проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и их приложений FOI ITHEA и Ассоциации ADUIS Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем).

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA (www.ithea.org) and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine (www.aduis.com.ua).

Литература

- [Ashby, 1973] Ashby N., Miller Stanley C. Jr. *Shift of light beams due to total internal reflection* [Текст]: довідник / N. Ashby, Jr. C. Miller Stanley; *Physical Review*, 1973. - V.7.P.2383.
- [Gayvoronska, 2015] Galina Gayvoronska, Borys Rybalov Possibility's Evaluation of Optical Processors Usage for Optical Signals Switching's Control // II Международная научно-практическая конференция «Проблемы инфокоммуникаций. Наука и Технологии (PIC&T'2015)». – Харьков, 2015. – С. 196-199.
- [Haus, 1998] *Channel Drop Filters in Photonic Crystals* [Текст]: довідник / Fan Sh., Villeneuve P.R., Joannopoulos J.D., Haus H.A. - *Optics Express*, 6 July 1998 – 125 p.
- [Jason, 2005] Jason P. *Optical Burst Switched Networks* / Jue P. Jason, Vinod M. Vokkarane // Boston. – 2005. – 147 p.
- [*Technical information bulletin, 2000*] *Technical information bulletin «All -Optical Networks (AON)».*- Arlington, Virginia (USA). – 2000. – №00-7.

- [Гайворонская, 2009] Гайворонская Г. С. Коммутаторы оптических сигналов [Текст] / Г. С. Гайворонская, А. В.Рябцов // Холодильна техніка і технологія.– 2009. – № 2 (118). – С. 55-59.
- [Гайворонская, 2010] Гайворонская Г. С. Методы и средства коммутации оптических сигналов в информационных сетях [Текст] / Г. С. Гайворонская, А. В. Рябцов // Холодильна техніка і технологія. – 2010. – № 2 (124). – С. 74-82.
- [Гайворонская, 2011] Гайворонская Г.С. Особенности применения оптических коммутаторов в современных информационных сетях [Текст]/ Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // *Applicable Information Models. – Sofia: ITHEA, 2011. – № 22. – P.169-181*
- [Гайворонская, 2011] Гайворонская Г.С. Проблема обеспечения полностью оптической коммутации в конвергентных сетях [Текст]/ Г.С. Гайворонская // Збірник тез V МНТК «Проблеми телекомунікацій». – Київ. – НТУУ «КПІ». – 2011. –С.39.
- [Гайворонская, 2012] Гайворонська Г.С., Рябцов О.В. Феноменологічна модель повністю оптичного комутатора з оптичною адресацією [Текст] / Г.С. Гайворонська, О.В. Рябцов // Вісник ДУІКТ. – 2012. – Т.10, №1. – Стор. 54.
- [Гайворонская, 2015] Гайворонская Г.С., Рыбалов Б.А. Особенности коммутации оптических сигналов при использовании различных режимов переноса информации / Гайворонская Г.С., Рыбалов Б.А. // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – ОНАХТ, 2015. – № 6 (51) – С. 100-106.
- [Гайворонская, 2016] Гайворонская Г.С., Рыбалов Б.А. Исследование возможности использования оптических процессоров для управления коммутацией оптических сигналов // X Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2016: Збірник матеріалів конференції. К.: НТУУ "КПІ", 2016. – С. 77-79.
- [Гольдштейн, 2005] Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS [Текст]: справочник / А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн // БХВ – Санкт-Петербург, 2005.– 304 с.
- [Гринфилд, 2002] Гринфилд Д. Оптические сети / Д. Гринфилд // К.: ООО «ТИД ДС». – 2002. – 256с. //
- [Ершова, 2009] Ершова Э.Б. К вопросу построения оптических сетей / Э.Б. Ершова, Э.М. Вакс // Спецвыпуск «Технологии информационного общества». – Москва. – 2009. – С. 14 – 18.
- [Иванов, 1999] А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Сайрус системс, 1999. – 664 с.
- [Канаков, 2004] Канаков В.И. Разработка методик построения волоконно-оптических телекоммуникационных систем на основе компонентов с применением наноструктурных материалов [Текст]: автореф. дис....д-ра тех. наук: 04.10.2004/ В.И. Канаков ; [Уфм. гос. авиа. тех. уни-т УГАТУ]. – У., 2004. - 159 с.
- [Каток, 1999] Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку. – Київ.: Lucent Technologies, 1999. – 483с.
- [Каток, 2006] Каток В. Б. Аналіз характеристик передачі одномодових волокон для мереж зв'язку / В.Б. Каток, О.Б. Омецинська, М.В. Шаповалов // Тези доповідей МНПК «Сучасні проблеми і

- досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій». – Запоріжжя. – 2006. – С.18-19.
- [Костров, 2011] Костров С.В. Оптический переключатель для волоконно-оптических линий связи на основе многослойного диэлектрического селективного зеркала. [Текст]: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: 02.12.11/ С.В. Костров; [Уфм. гос. авиа. тех. уни-т УГАТУ]. – У., 2011. - 19 с.
- [Котов, 1997] Котов В.М. Акустооптический коммутатор 2x2 оптических излучений с разными длинами волн на основе монокристалла тизия оксида [Текст] / В.М. Котов // М.: Ин-т радиотехники и электроники РАН ., — 1997. — 6 с.
- [Кучерявый, 2012] Кучерявый Е.А. NS-2 как универсальное средство имитационного моделирования сетей связи. Электронный ресурс – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2007/fvti/erygina/library/lib4.htm> – 10.01.12 г. – Загол. з екрану.
- [Маккавеев, 1992] Маккавеев В.И., Светиков Ю.В. Оптические методы обработки сигналов – основа волоконно-оптических систем будущего [Текст] / В.И. Маккавеев, Ю.В. Светиков // М.: Электросвязь. – 1992. – №5.
- [Митилино, 2005] Митилино С. Полностью оптический коммутатор / С. Митилино / Web-ресурс ИТС.УА. – Режим доступа: [/its.ua/polnostyu_opticheskij_kommutator_19827](http://its.ua/polnostyu_opticheskij_kommutator_19827). – 2005.
- [Скляр, 2001] Скляр О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи [Текст] / О.К. Скляр // М.: - 2001. – 237 с.
- [Славинская, 2004] Славинская В.В. Пространственная коммутация оптического излучения в волоконно-оптических сетях передачи информации на основе акустооптического взаимодействия [Текст]: автореф. дис...д-ра тех. наук: 14.06.2004 / В.В Славинская ; [Санкт-Пет. гос. аеро. прибор. СГАП]. – С., 2004. - 165 с.
- [Слепов, 1999] Слепов Н. Оптические кросс-коммутаторы. Принципы реализации и архитектура [Текст]/ Н. Слепов. // Электроника: НТБ. – 1999. – № 6.
- [Соколов, 2003] Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. Монография в 4-х главах. Часть 2 (гл. 2) – М.: Альварес Паблишинг, 2003. – 128 с.
- [Султанов, 2008] Султанов А.Х., Виноградова И.Л. Подход к построению коммутаторов оптических сигналов, управляемых оптическим излучением [Текст] / А.Х. Султанов, И.Л. Виноградова // У.: – УГАТУ – 2008. – 9 с.
- [Убайдуллаев, 2001] Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 267 с.
- [Фриман, 2003] Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи [Текст] / Р. Фриман // Под ред. Н. Н. Слепова - М.: Техносфера, 2003 г., 590 с.
- [Шарварко, 2006] Шарварко В.Г. Волоконно-оптические линии связи: Уч. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. – 170 с.
- [Шмидт, 2012] Шмидт Э. Интегрированная OTN-коммутация виртуализирует оптические сети [Текст] / Шмидт Э. // *Infonetics research*. – 2012. – 16 с.

Информация об авторах



Гайворонская Галина Сергеевна – Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, факультет информационных технологий и кибербезопасности ОНАПТ, д.т.н., профессор кафедры компьютерной инженерии; Украина, Одесса, 65026, ул. Дворянская, 1/3; тел. (048)-720-91-48; e-mail: gsgayvoronska@gmail.com

Области научных исследований: оптимизация переходных периодов при эволюции телекоммуникационных сетей. Поток вызовов, нагрузка и межзвонное тяготение в сетях. Проблемы создания сетей доступа. Проблема построения полностью оптических сетей и систем коммутации.



Рыбалов Борис Александрович – Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, факультет информационных технологий и кибербезопасности ОНАПТ, старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии; Украина, Одесса, 65026, ул. Дворянская, 1/3; тел.(067)9329677; e-mail: borisr@ukr.net

Основные направления научных исследований: задачи создания полностью оптических сетей, коммутация оптических сигналов.

**PROBLEM OF CHOICE OF SWITCHING ELEMENT FOR
OPTICAL TELECOMMUNICATION NETWORK**

Galina Gayvoronska, Borys Rybalov

Abstract: The advantages of optical technologies' usage for information transfer by telecommunication networks are researched. The analysis of methods for increasing the switching speed of optical signals with optical management usage is done. The analysis of the eleven types of optical switching elements' characteristics, using electronic and optical management, is carried out. Two-criterion problem of choice of optical switching elements implementation at the usage of six acceptability indicators (performance, cost, power consumption, reliability, switching management type and noise sensitivity) is solved. Hasse diagrams for the quality indicators of optical switching elements' selected variants are given. Optical switching element, based on the Fabry-Perot interferometer, is selected according to the results of the problem of choice solution.

Keywords: Optical telecommunication networks, optical switching element, optical signals' switching system.