

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
СВЯЗИ

Утверждено редакционным советом
института в качестве методических
указаний к лабораторной работе № 3

Куйбышев 1984

УДК 621.372.8

Излагаются основы и характерные особенности построения волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Предлагается провести исследование работы ВОЛС на основе квантово-электронных модулей и характеристик волоконных световодов.

Работа составлена на кафедре МиАП и предназначена для студентов специальностей 0701 и 0705.

Составители: П.В.Буренин, А.В.Волков

Рецензенты: доц. В.Ф.Соколов, доц. В.А.Рожков

Ц е л ь р а б о т ы - изучение конструкции (источников когерентного излучения, фотодетекторов, волоконных световодов), исследование работы волоконно-оптической линии связи и основных характеристик волоконных световодов.

З а д а н и е:

1. Ознакомиться с назначением, основными типами и характеристиками оптических волноводов.
2. Ознакомиться с принципами конструирования и схемотехникой волоконно-оптических линий связи.
3. Экспериментально исследовать работу приемопередающего модуля и характеристики волоконного световода и его соединителей

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Характерные особенности и сферы использования волоконно-оптических систем связи

Оптоэлектроника охватывает два основных независимых направления - оптическое и электронно-оптическое. Оптическое направление базируется на эффектах взаимодействия твердого тела с электромагнитным излучением и опирается на голографию, фотохимию, электрооптику и др. Оптическое направление иногда называют л а з е р н ы м .

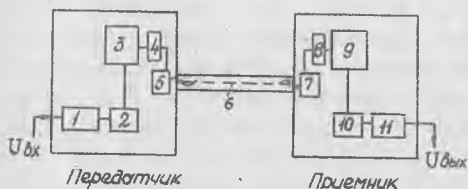
Э л е к т р о н н о - о п т и ч е с к о е направление использует принцип фотоэлектрического преобразования в твердом теле. Для микроэлектроники представляет интерес в основном это направление, поскольку позволяет решать вопросы микроминиатюризации РЭА. Такие традиционные элементы, как трансформаторы, реле, переменные резисторы, кабели и электронно-лучевые трубки плохо совмещаются с ИС. Основные причины этого: наличие перемещающихся деталей или громоздкость и, как следствие, технологическая неинтегрируемость. Электронно-оптические аналоги вышеназванных радиокомпонентов на основе оптопар, светодиодных матриц визуального изображения и матриц для воспроизведений изображения на ПЭС электрически и технологически совместимы с ИС и обладают рядом других достоинств.

Кроме рассмотренных выше оптопар и оптомикросхем, в которых в качестве излучателя используется светодиод - источник несплошного излучения, на основе оптических полосковых микроволноводов и волоконных световодов, связанных с источником когерентного излучения, как правило полупроводниковым гетеролазером, разработаны волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

Лазерный луч открыл возможность использования оптического диапазона электромагнитных волн в системах передачи и обработки информации, что повлекло за собой увеличение сразу на несколько порядков емкости линий передач, быстродействия и других параметров обработки информации. Возникло новое направление – интегральная оптика.

Устройства интегральной оптики создают на основе плоских диэлектрических волноводов, а передача оптического сигнала производится по оптическим волоконным волноводам с малым затуханием.

Основным требованием, определяющим возможность применения той или иной системы связи, является надежная и достоверная передача информации, которая обеспечивается соответствующим уровнем следующих параметров: отношения сигнал/шум, помехоустойчивости, модуляции, энергетического потенциала, дисперсии сигнала для выбранного вида модуляции и др. ВОЛС в значительной степени отвечают этому требованию. Они характеризуются высокой скоростью передачи информации, широкой эффективной полосой пропускания, невосприимчивостью к электромагнитным помехам, отсутствием излучения помех, малым ослаблением сигнала, высокой теплостойкостью и малой массой. Эти особенности обеспечивают им в определенных условиях неоспоримые преимущества по сравнению с обычными системами связи. Подобно любой системе передачи ВОЛС состоит из передатчика, передающей среды и приемника (рис.1).



Р и с. 1. Типичная модель ВОЛС: 1 – схема кодирования; 2 – модулятор; 3 – схема возбуждения; 4 – источник излучения; 5 – передающее оптическое устройство согласования; 6 – оптический канал; 7 – приемное оптическое устройство согласования; 8 – приемник излучения; 9 – усилитель; 10 – демодулятор; 11 – декодер

Входной электрический сигнал ВОЛС поступает на схему кодирования 1, где обеспечивается его информационное согласование с кодом, действующим в данной ВОЛС. После преобразования сигнал поступает на модулятор 2 с последующей передачей импульсов в схему возбуждения 3 источника излучения 4. Затем сигнал, преобразованный в световой поток, через передающее оптическое устройство согласования 5 передается по оптическому каналу 6 и через приемное оптическое устройство 7

поступает на детектор 8 приемного устройства. После преобразования электрический сигнал поступает на усилитель 9, а затем на демодулятор 10. Если передача информации ведется в кодированном виде, то сигнал поступает на декодер 11.

В настоящее время ВОЛС применяют в аппаратуре управления производственными процессами, ЭВМ, внутриобъектовой аппаратуре, системе телевидения, контрольно-измерительной аппаратуре, средствах передачи данных, системах открытой связи, телефонных линиях и т.д. По протяженности линий связи их разделяют на следующие три группы:

1. Линии связи небольшой протяженности (короткие или внутриобъектовые). Длина этих линий до 300 м.

Линии длиной до 100 м используют для телефонной и видеотелефонной связи внутри предприятий, бортовых информационных линий крупных подвижных объектов. Линии длиной 10-30 м применяют для крупных многопроцессорных вычислительных комплексов, обслуживания разнообразных АСУ и устройств дискретной автоматики.

При изготовлении коротких линий связи обычно используется сочетание *GaAs* - светодиода, $p-i-n$ - фотоприемника и многомодового волоконного кабеля, что обеспечивает низкую стоимость, долговечность и надежность устройства.

2. Линии связи средней протяженности, или внутригородские. Их длина обычно составляет 1-5 км. Такие линии предназначены для обеспечения связи АТС с абонентами, построения систем кабельного телевидения, связи ЭВМ с далеко вынесенными терминалами. В зависимости от требований в линиях могут быть использованы различные типы лазеров, опторазъемы, модуляторы и т.п.

3. Линии большой протяженности, или магистральные. Их длина составляет 7-10 км и более. Они используются в системах внутригородской и междугородней связи и могут быть снабжены промежуточными ретрансляторами.

Наибольшее распространение в настоящее время получили внутриобъектовые ВОЛС.

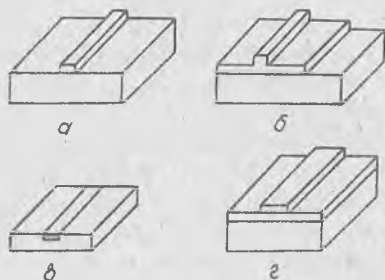
1.2. Полосковые и волоконные оптические волноводы

Металлы очень сильно поглощают свет, поэтому металлические волноводы не могут быть использованы для его каналирования. В интегральной оптике нашли применение волноводы особого вида - диэлектрические.

Диэлектрический волновод - пленка, нанесенная на плоскую подложку с более низким показателем преломления. Третьим слоем волновода

(покровным слоем) может быть воздух или любая иная среда с меньшим, чем у пленки, показателем преломления. Таким образом, показатель преломления волноводного слоя диэлектрического волновода должен быть больше показателей преломления подложки и покровного слоя.

Четыре основных типа полосковых волноводов показаны на рис.2.



Р и с. 2. Полосковые диэлектрические волноводы: а - приподнятый; б - гребенчатый; в - внедренный; г - составной

Приподнятый волновод (рис.2,а) можно изготовить, удалив травлением пленку вокруг полоски. Такой метод пригоден и для получения гребенчатого волновода (рис.2,б). Внедренный полосковый волновод можно получить диффузией или ионным легированием подложки через маску (рис.2,в). Составной волновод (рис.2,г) может быть изготовлен локальным осаждением на планарный волновод пленки с меньшим, чем у волноводного слоя, показателем преломления.

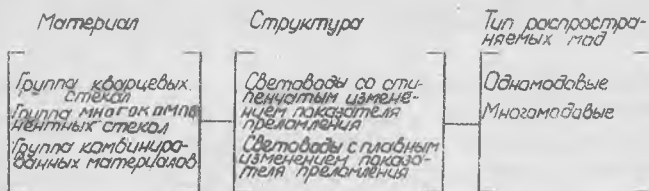
Полосковые волноводы играют в интегральной оптике роль, аналогичную проводникам в ИС. Их топология может быть различной, причем свет может в них распространяться и по изогнутому пути.

Волоконные световоды, используемые для передачи информации на расстояние между приемниками и излучателями, также имеют большое число разновидностей (рис.3).

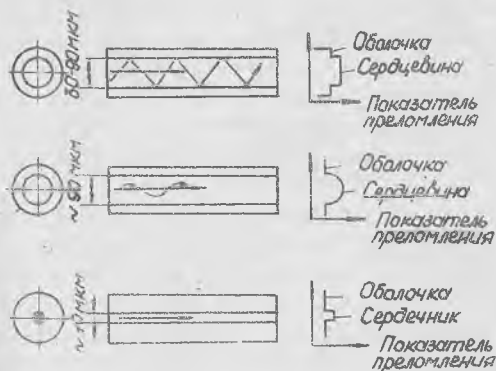
Структура наиболее типичных волоконных световодов и картина распределения световых лучей схематично изображены на рис.4.

Одномодовый световод идеально подходит для передачи больших объемов информации на большие расстояния. Сердцевину и оболочку

Классификация



Р и с . 3. Классификация волоконных световодов



Р и с . 4. Распределение световых лучей в волоконных световодах: а - многомодовом со ступенчатым изменением показателя преломления; б - многомодовом с плавным изменением показателя преломления; в - одномодовом

световода изготавливают из высококачественных стекол во избежание потерь из-за примесного поглощения. Многомодовый световод имеет относительно большой диаметр сердцевины, а поэтому характеризуется

более простой технологией изготовления. Однако многомодовость увеличивает затухание световых лучей.

1.3. Соединение световодов

Соединение волоконных световодов друг с другом должно иметь низкие потери, как правило, меньше 0,6 дБ, и обладать достаточной механической прочностью по сравнению с целым световодом или кабелем. Для соединения световодов друг с другом могут использоваться соединительные устройства различного типа (рис.5).

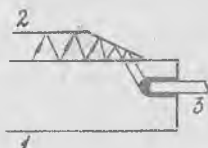


Р и с . 5. Различные методы соединений волоконных световодов

Торцы волоконных световодов должны быть чистыми, плоскими и перпендикулярными к оси световода. Такие поверхности можно обеспечить путем нанесения царапины на световод острой алмазной кромкой при натяжении световода. Подготовленные таким способом поверхности обычно не требуют дальнейшей шлифовки и полировки.

Для связи волоконных и полосковых световодов используют различные элементы: призмный элемент связи, решеточный элемент связи, связь через утончающийся край пленки. Последний способ наиболее прост (рис.6).

Р и с. 6. Связь полоскового и волоконного световодов через утончающийся край пленки:
1 - подложка; 2 - планарный волновод;
3 - волоконный световод



1.4. Активные и пассивные элементы интегральной оптики

По сравнению со светодиодами лазеры, с одной стороны, могут возбудить большую мощность, а с другой стороны - обеспечить малые затухания световой энергии в световодах. Наиболее часто используются полупроводниковые гетеролазеры.

Для передачи и обработки оптических сигналов цифровая передача предпочтительнее аналоговой. Излучение можно модулировать посредством внешнего преобразования после того, как оно выйдет из источника, или воздействуя на лазер путем изменения тока. Типичный способ модуляции полупроводникового гетеролазера заключается просто в использовании прямой модуляции его током смещения наносекундными импульсами.

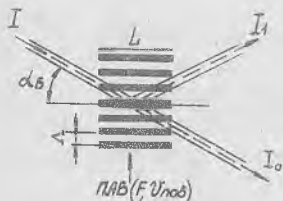
Использование электрооптического эффекта, заключающегося в зависимости диэлектрической проницаемости ϵ , от напряженности управляющего электрического поля, позволяет реализовать планарные модуляторы света. Изменение показателя преломления n переводит микроволновод из режима прозрачности в режим непрозрачности. Конструкция электрооптического модулятора очень проста. На поверхности подложки вдоль несущего слоя микроволновода (рис.7) формируют металлические пленочные электроды, на которые подают управляющие напряжения. Малое расстояние между электродами модулятора позволяет использовать низкие управляющие напряжения (3...5 В).



Р и с. 7. Планарный модулятор света:
1 - подложка; 2 - несущий слой;
3 - электроды модулятора

При изготовлении модуляторов и дефлекторов (сканеров) широко применяют взаимодействие поверхностных акустических и оптических волн. В этом случае используют явление фотоупругости – изменение показателя преломления вещества под действием механических напряжений.

Принцип работы модуляторов и дефлекторов основан на явлениях дифракции Брэгга и Рамана-Ната оптических волн на периодических неоднородностях, обусловленных изменением показателя преломления оптической среды под воздействием бегущих акустических волн (рис.8).



Р и с. 8. Картина распределения излучения при дифракции Брэгга на дифракционной решетке, формируемой ПАВ

При дифракции Брэгга дифракционный спектр состоит из двух максимумов (I_0 , I_1). Угловое направление этих максимумов по отношению к фронту звуковой волны определяется известным соотношением Вульфа-Брэгга:

$$\sin \alpha_B = \lambda_0 / 2\Lambda = \frac{\lambda_0}{n_1} / 2 \frac{V_{\text{пов}}}{F}$$

где λ_0 , λ_B – длины оптической волны в воздухе и микроволноводе соответственно; n_1 – показатель преломления материала несущего слоя микроволновода; Λ , $V_{\text{пов}}$, F – длина, скорость распространения и частота поверхностной акустической волны. Чтобы обеспечить наибольшую интенсивность дифракционного максимума I_1 , свет от источника излучения должен падать под углом к волноводному фронту ПАВ. Принципиально возможна 100-процентная модуляция, т.е. 100-процентное отклонение падающего света.

Из соотношения Вульфа-Брэгга видно, что изменяя частоту ПАВ, можно изменить угловое расположение дифракционного максимума. Это свойство используется при реализации сканеров, которые применяются в голографических ЗУ и периферийных устройствах ЭВМ для записи информации на фоточувствительной бумаге. Разрешающая способность дефлектора при ширине луча лазера D определяется соотношением $\Delta\alpha = \lambda_B / D$.

Для изготовления планарных модуляторов-дефлекторов используют кварц, ниобат лития, окись цинка, арсенид галлия.

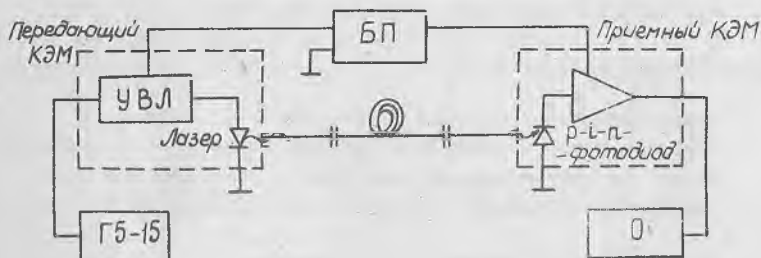
1.5. Квантово-электронные модули

В настоящее время основными элементами ВОЛС, выпускаемых промышленностью, являются: волоконный световод и квантово-электронные модули (КЭМ).

Передающий КЭМ обычно содержит лазер, модуль с источником питания, схему модуляции, устройство сопряжения и буфер, а приемный КЭМ - фотоприемник, стандартный блок с демодулятором и схемы формирования. Таким образом, передающий и приемный КЭМ, а также оптический канал представляют типичную модель ВОЛС. КЭМ выполнены по гибридной технологии ИС, имеют улучшенную частотную характеристику (паразитные индуктивности и емкости устранены) и пониженный дополнительный шум (детектор и преусилитель заэкранированы). Предусилители, используемые в модулях, представляют собой операционные усилители с низким импедансом, большой скоростью отклика и широким линейным динамическим спектром.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Структурная схема установки для изучения ВОЛС представлена на рис.9.



Р и с. 9. Схема исследования характеристик ВОЛС: Г5-15 - генератор прямоугольных импульсов, УВЛ - устройство возбуждения лазера, О - осциллограф, БП - блок питания

Генератор Г5-15 служит для управления модуляцией излучения гетеролазера, осциллограф - для визуализации принятого сигнала. Согласованный с лазером и р-и-п-диодом волоконный световод разделен на три части.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Ознакомиться с приборами экспериментальной установки и конструкциями соединителей световодов.

2. Экспериментально исследовать эффективность передачи одного сочленения световодов и сопоставить результаты с теоретическими зависимостями $P(\alpha)$, $P(\Delta x/a)$, $P(\Delta z/a)$.

3. Добиться минимальных потерь излучения на соединении световодов. Записать уровень переданного сигнала $P^{0\text{min}}$.

4. В разрыв волоконных световодов вставить световод большой длины. Добиться минимальных потерь на распространение излучения по световоду с двумя сочленениями. Определить уровень переданного сигнала P^{min} . Повторить измерения со световодом большей длины и отметить уровень P''^{min} .

5. Используя значение P^{min} , P''^{min} и $P^{0\text{min}}$, определить затухание в стекловолокне в дБ/м и потери на сочленение в дБ.

6. Исследовать затухание в световоде на изгиб.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Структурная схема ВОЛС.

2. Результаты исследований передачи сочлененных волноводов.

3. Расчет затухания в световоде и на соединении световодов.

4. Результаты исследований затухания на изгиб.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сферы применения ВОЛС. Их достоинства и недостатки.

2. Основные типы световодов. Их характеристики.

3. Какие факторы определяют затухание в световодах?

4. Соединение световодов. Типы разъемных и неразъемных соединений.

5. Методы модуляции оптического излучения.

6. Конструкции КЭМ.

7. Какие факторы ограничивают скорость передачи цифровой информации ВОЛС?

8. Активные и пассивные компоненты интегральной оптики.

Л и т е р а т у р а

Е ф и м о в И.Е., К о з ы р ь И.Я. Основы микроэлектроники: Учебник для студентов по специальности "Радиосвязь и радиовещание", "Многоканальная связь".-М.:Высшая школа, 1983.

У н г е р Х.Г. Планарные и волоконные оптические волноводы.- М.:Мир, 1980.-656 с.

Волоконно-оптическая связь: Приборы, схемы и системы. Пер. с англ./Под ред.М.Дж.Хауэса и Д.В.Моргана.-М.:Радио и связь, 1982.-272 с.

Г р и г о р ь я н ц В.В., Г у л ь я е в Ю.В., Ж а б о т и н с к и й М.Е. и др. Волоконно-оптические линии связи.-В сб.: Проблемы современной радиотехники и электроники.-М.:Наука, 1980, стр.192-250.

П о п о в И.А., Г о р ф и н к е л ь Б.И. Квантово-электронные модули для ВОЛС.-Электронная промышленность, 1981, № 9.

Составители: Петр Викторович Б у р е н и н,
Алексей Васильевич В о л к о в

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Редактор Е.Д.А н т о н о в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Е.Г.Филиппова

Подписано в печать 15.07.84.Формат 60х84 1/16.

Бумага оберточная белая. Печать оперативная.

Усл.п.л. 0,69. Уч.-изд.л. 0,7. Т. 300

Заказ № 6897 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Молодогвардейская, 151.

Областная типография имени В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60.