

Ефанов В.И.

**Оптические направляющие системы и
пассивные компоненты ВОЛС**

Методические указания
к лабораторным работам для студентов

2012

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧ и КР)

Утверждаю
Зав. кафедрой СВЧ и КР
С.Н. Шарангович
" " " 2012 г.

**Оптические направляющие системы и
пассивные компоненты ВОЛС**

Методические указания
к лабораторным работам для студентов

Разработчик:
Профессор кафедры СВЧ и КР
_____ В.И. Ефанов

УДК 621.371(075.8)

Рецензент:
Зав.каф. СВЧиКР, ТУСУР,
Шарангович С.Н.

Ефанов В.И.

Оптические направляющие системы и пассивные компоненты ВОЛС.
Методические указания к лабораторным работам для студентов
– Физика и техника оптической связи – Томск:
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники, 2012. – 42 с.

В учебно- методическом пособии изложены материалы лабораторного практикума, включающие методические указания для выполнения лабораторных работ "Измерение дисперсионных характеристик в оптических волокнах", "Исследование вытекающих мод в оптическом волокне", "Исследование оптических и конструктивных параметров ОВ и ОК", "Исследование эффективности ввода излучения в ОВ".

© Ефанов В.И.. 2012
© Томский гос. университет систем
управления и радиоэлектроники, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1	4
1. Введение.....	4
2. Задание на лабораторную работу	4
3. Теоретические сведения	4
3.1. Уширение импульсов в оптических кабелях.....	4
3.2. Виды дисперсии	6
3.3. Модуляционная характеристика.....	8
4. Состав лабораторного оборудования и схема измерений.....	11
5. Порядок выполнения работы	12
6. Содержание отчета.....	13
7. Контрольные вопросы	14
Список использованных источников	14
Лабораторная работа №2	15
1. Введение.....	15
2. План работы.....	15
3. Краткое изложение теории.....	16
3.1 Влияние длины участка взаимодействия оболочки сердцевины ВС с иммерсионной жидкостью на величину измеряемого затухания	18
3.2 Влияние дисперсии на качество передачи информации в ВС.....	21
4. Описание лабораторной установки	23
5. Порядок выполнения работы	23
6. Указания к составлению отчета.....	26
7. Контрольные вопросы	26
Список использованных источников	26
Лабораторная работа №3	27
1. Введение.....	27
2. Теоретические предпосылки и описание экспериментальных установок	27
2.1 Апертурный угол и числовая апертура оптического волокна	27
2.2 Конструктивные параметры оптических кабелей.....	33
3. Порядок выполнения работы	34
4. Содержание отчета.....	35
5. Контрольные вопросы	36
Список использованных источников	36
Лабораторная работа №4	37
1. Введение.....	37
2. Подготовка к работе.....	37
3. Теоретические сведения	37
4. Описание лабораторной установки	40
5. Методические указания к работе.....	40
6. Содержание отчета.....	41
7. Контрольные вопросы	41
Список использованных источников	41

Лабораторная работа №1

ИЗМЕРЕНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Цель работы: изучение дисперсионных свойств оптических волокон (ОВ) и экспериментальное исследование их дисперсионных характеристик.

1. Введение

Одним из важных явлений процесса распространения сигналов по оптическим кабелям является дисперсия - рассеяние во времени спектральных или модовых составляющих оптического сигнала. Дисперсионные искажения имеют характер фазовых искажений сигнала. При работе импульсных систем они выражаются в уширении передаваемых импульсов, появлении межсимвольных помех, и, в конечном счете - в ограничении пропускной способности ОВ. Данное явление иллюстрируется рис. 3.1.

2. Задание на лабораторную работу

1. Ознакомиться с механизмом дисперсионных искажений в оптических волокнах.
2. Изучить закономерности связи между дисперсией, модуляционной характеристикой и пропускной способностью оптического кабеля.
3. Измерить уширение импульсов в образцах многомодовых оптических волокон. Определить километрическое уширение импульсов.
4. Измерить модуляционную характеристику оптического волокна. Определить полосу пропускания.

3. Теоретические сведения

3.1. Уширение импульсов в оптических кабелях

Если на входе кабеля действует единичный импульс $\delta(t)$, имеющий единичную энергию и бесконечно короткую длительность, то сигнал на выходе - импульсная реакция $g(t)$ занимает конечный временной интервал:

$$\tau_u = t_{\max} - t_{\min}, \quad (3.1)$$

где t_{\max} и t_{\min} - время задержки в кабеле соответственно наиболее медленно и наиболее быстро распространяющихся компонент из совокупности модовых и частотных составляющих передаваемого сигнала.

Таким образом, выходной импульс стал шире входного на величину τ_u . Следовательно, τ_u - уширение импульса в оптическом кабеле (рисунок 3.1,а).

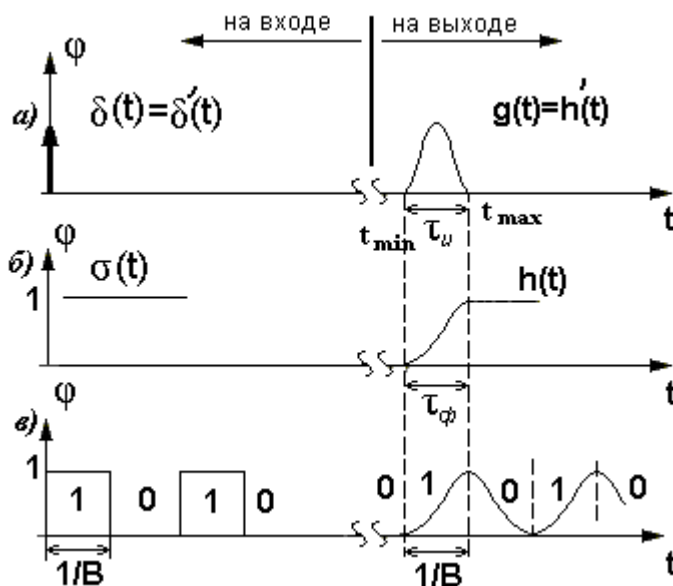


Рисунок 3.1 - Уширение импульсов в ОВ:

- а) единичный импульс; б) единичная функция;
в) двойная импульсная последовательность

В том случае, когда на входе кабеля имеется единичная функция, представляющая собой интеграл единичного импульса по времени,

$$\sigma(t) = \int_{-\infty}^t \delta(t) dt, \quad (3.2)$$

выходной сигнал есть переходная характеристика $h(t)$. Переходная характеристика является интегралом по времени импульсной реакции:

$$h(t) = \int_{-\infty}^t g(t) dt, \quad (3.3)$$

следовательно, она имеет длительность фронта $\tau_\phi = \tau_u$ (рисунок 3.1,б).

Пусть теперь на входе ОВ действует двоичный сигнал. Этот сигнал может быть представлен последовательностью сдвинутых во времени единичных функций различной полярности. Ввиду дисперсионных процессов фронты двоичного сигнала размываются, получая величину. Для того чтобы принятый сигнал мог быть правильно зарегистрирован, длительности импульсов должны иметь величину не менее τ_ϕ .

Таким образом, скорость передачи импульсов в герцах, равная (при двухпозиционном кодировании) скорости передачи сообщений в битах, должна составлять:

$$B \leq \frac{1}{\tau_u}. \quad (3.4)$$

Из (3.4) видно, что реализуемая при передаче по кабелю скорость передачи тем ниже, чем большую величину имеет уширение импульсов.

Как правило, передаваемые по оптическому кабелю импульсы, имеют

гауссову форму. Их длительность, а также их уширение определяются на уровне половины максимальной амплитуды. В этом случае допустимая скорость передачи составляет:

$$B \leq \frac{1}{2\tau_u}. \quad (3.5)$$

На практике импульс на входе имеет не нулевую, а конечную длительность. Кроме того, не только кабель, но и оптический излучатель, модулятор и фотоприемник вносят вклады в общее уширение импульса, В случае гауссовой формы импульсов все эти длительности суммируются по квадратичному закону:

$$\tau_{вых}^2 = \tau_{вх}^2 + \tau_{u1}^2 + \dots + \tau_{ui}^2 + \tau_{un}^2, \quad (3.6)$$

где $\tau_{вых}$ - длительность импульса на выходе фотоприемника, τ_{ui} - уширение импульса в i -м элементе тракта.

Как правило, наибольшие искажения в сигнал вносит оптический кабель. Поэтому, согласно (3.6), зная длительность импульсов на входе и выходе тракта, величину уширения импульсов в оптическом кабеле можно рассчитать по формуле:

$$\tau_u = \sqrt{\tau_{вых}^2 - \tau_{вх}^2} \quad (3.7)$$

3.2. Виды дисперсии

В многомодовых ОВ наибольший вклад в уширение импульсов вносит модовая дисперсия. Разные моды имеют различную скорость распространения. В геометрической интерпретации соответствующие модам лучи идут под разными углами, проходят различный путь в сердцевине волокна, и, следовательно, поступают на выход с различной задержкой.

В кабелях со ступенчатыми волокнами, где скорость всех лучей одинакова и составляет $v=c/n_l$,

$$\tau_u = \frac{\Delta n}{c} l, \quad \text{при } l \leq l_y \quad (3.8)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Здесь l_y - так называемая длина установившегося взаимодействия между модами, после которой в результате взаимного преобразования мод на неоднородностях (изменения хода лучей) степень рассеяния сигнала возрастет уже не по линейному, а по корень-квадратичному закону:

$$\tau_u = \frac{\Delta n}{c} \sqrt{l \cdot l_y}, \quad \text{при } l \geq l_y \quad (2.9)$$

На рис.3.2 представлена типовая зависимость $\tau_u(l)$. Лучевая модель, иллюстрирующая механизмы возникновения модовой дисперсии в ступенчатых волокнах, показана на рис. 3.3,а.

Зная разность коэффициентов преломления сердцевины и оболочки

волокна Δn , можно рассчитать уширение импульсов в ОВ.

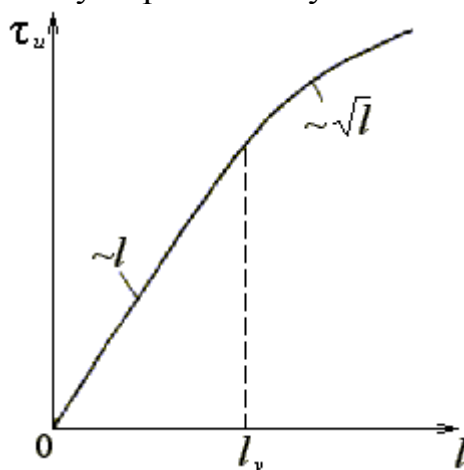


Рисунок 3.2 - Зависимость уширения импульсов от длины многомодового ОВ

В градиентных волокнах различные лучи также проходят различный путь. Однако их скорость $v=c/n$ неодинакова. Околоосевые лучи распространяются по короткой траектории, однако, в среде со сравнительно высоким n , т.е. с малой скоростью. Периферийные лучи - по длинной траектории, но в основном в среде с низким n , т.е. с большей скоростью. В целом задержка мод оказывается приблизительно одинаковой, а уширение импульсов по сравнению со ступенчатыми волокнами снижается более чем в 10 раз. Однако градиентные волокна дороже в производстве.

Кабели со ступенчатыми ОВ применяются для систем передачи типа ИКМ-30, с градиентными - для ИКМ-120 и ИКМ-480.

Для систем передачи типа ИКМ-1920 и ИКМ-7680 применяются одномодовые ОВ, в которых существует только один тип направляемой волны - HE_{11} . В таких волокнах отсутствует модовая дисперсия, однако уширение импульсов все же возникает в результате действия других, более слабых факторов: дисперсии материала и волноводной дисперсии.

Механизм появления волноводной дисперсии иллюстрирует рисунок 3.3,б, где показана зависимость фазового коэффициента распространения направляемых волн β от частоты сигнала. Для удобства рассмотрения коэффициент преломления выражен в нормированном виде: β/k , где k - волновое число свободного пространства $k=2\pi f/c$, величина, пропорциональная частоте. Таким образом, необходимое для отсутствия фазовых искажений условие - линейная зависимость $\beta(f)$ - соответствует постоянству нормированной величины β/k в диапазоне частот спектра передаваемого сигнала Δf_c .

Как видно из рисунка 3.3, в одномодовом режиме работы волокна, когда $f < f_l$, нормированный фазовый коэффициент распространения моды HE_{11} претерпевает изменение на интервале $\Delta(\beta/k)$. Отсюда следует, что вследствие особенностей полноволокнистых свойств волокна передаваемые по нему сигналы испытывают дисперсионные искажения. Поэтому данный вид дисперсии

называется волноводной дисперсией.

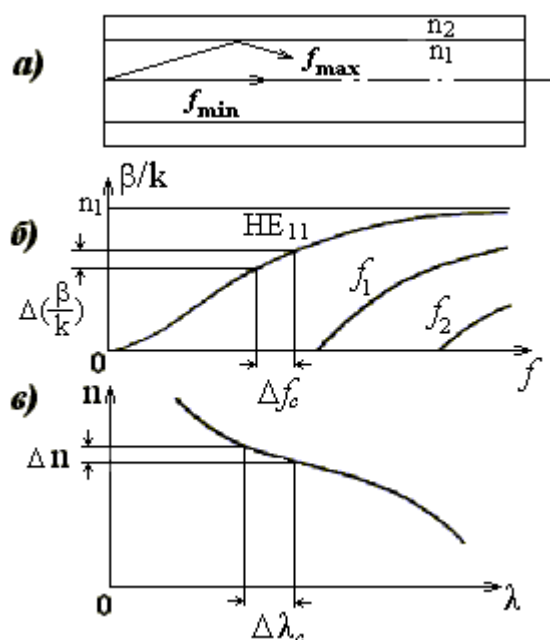


Рисунок 3.3 - Механизм возникновения модовой дисперсии (а), волновой дисперсии (б) и дисперсии материала (в)

Другим источником дисперсии частотных составляющих передаваемых сигналов является дисперсия материала. Как показано на рисунке 3.3,в, коэффициент преломления стекла изменяется с длиной волны. В результате, различные спектральные составляющие сигнала имеют различную скорость распространения v и испытывают в волокне различную задержку.

Дисперсия материала и волноводная дисперсия имеют противоположные знаки и в определенной степени компенсируют друг друга. Соответствующим выбором величин диаметра ОВ и Δn стремятся достичь их наиболее полной взаимной компенсации.

Одномодовые волокна имеют большую стоимость, чем многомодовые, однако обеспечивают значительно большую пропускную способность, что позволяет увеличить как число каналов, так и длину регенерационных участков оптических кабельных систем передачи.

3.3. Модуляционная характеристика

В оптических системах передачи, работающих на длинах волн около 1 мкм используются частоты порядка 200-400 ТГц (1 ТГц=1000 ГГц). Боковые частоты при модуляции таких несущих сигналами многоканальных систем передачи (например, для ИКМ-7680 имеем $f_{бок}=f_{нес}\pm 0,5$ ГГц) отличаются от несущей частоты на относительно ничтожную величину. Поэтому при любых реально используемых частотах модулирующего сигнала затухание боковых частот в спектре модулированного сигнала на выходе оптического кабеля остается неизменным.

Тем не менее оказывается, что амплитуда электрического сигнала, полученного после демодуляции модулированного по интенсивности оптического сигнала в фото детекторе, заметно убывает с ростом частоты исходного модулирующего сигнала. Это явление отражается модуляционной амплитудно-частотной характеристикой (МАЧХ) ОВ - зависимостью отношения амплитуды сигнала, полученного после детектирования на выходе оптического кабеля, и амплитуды электрического сигнала, подаваемого на модулятор на входе кабеля, от частоты этих сигналов. Иными словами, МАЧХ - это обычная амплитудно-частотная характеристика ОВ по тракту исходного электрического сигнала. Таким образом, модуляционная характеристика:

$$A(f) = \frac{U_{\text{вых}}(f)}{U_{\text{вх}}(f)}, \quad (3.10)$$

где $U_{\text{вых}}$ и $U_{\text{вх}}$ - амплитуда напряжения синусоидального электрического сигнала соответственно на выходе и входе ОВ. Характеристика нормируется так, что при $f=0$, $A(0) = 1$.

Для выяснения физической сущности данной характеристики рассмотрим случай передачи импульса, имеющего гауссову форму и длительность на уровне половины амплитуды, значительно меньшую, чем уширение импульсов в кабеле:

$$u_{\text{вх}}(t) = \exp\left[-(2\chi \cdot t / \tau_{\text{вх}})^2\right], \quad (3.11)$$

где $\chi = \sqrt{\ln 2} = 0.83256$.

На рис. 3.4,а показан входной импульс и его спектр, который описывается выражением (3.12).

$$S_{\text{вх}}(f) = \exp\left[-(\chi \cdot f / F_{\text{вх}})\right], \quad (3.12)$$

где $F_{\text{вх}}$ - ширина спектра входного импульса по уровню 0,5.

Как известно, для гауссова импульса:

$$\tau \cdot F = 0.44, \quad (3.13)$$

для другой формы импульсов произведение длительности импульса на ширину спектра приблизительно составляет ту же величину:

$$\tau \cdot F \approx 0.5. \quad (3.14)$$

Теперь рассмотрим импульс на выходе и его спектр (см. рис.3.4,б). Длительность выходного импульса значительно увеличена за счет дисперсии в ОВ:

$$\tau_{\text{вых}} = \sqrt{\tau_{\text{вх}}^2 + \tau_u^2} \gg \tau_{\text{вх}}. \quad (3.15)$$

Поэтому спектр выходного импульса, согласно (3.13) и (3.14) имеет значительно меньшую ширину:

$$F_{\text{вых}} \ll F_{\text{вх}}. \quad (3.16)$$

Поскольку каждая спектральная составляющая входного электрического сигнала претерпела изменение в соответствии с видом модуляционной характеристики, согласно определению последней (3.10), то, следовательно, имея спектр выходного и входного сигнала можно получить модуляционную

характеристику, как их отношение:

$$A(f) = \frac{S_{\text{вх}}(f)}{S_{\text{ex}}(f)}, \quad (3.17)$$

домножив это отношение на постоянный множитель для обеспечения условия $A(0)=1$.

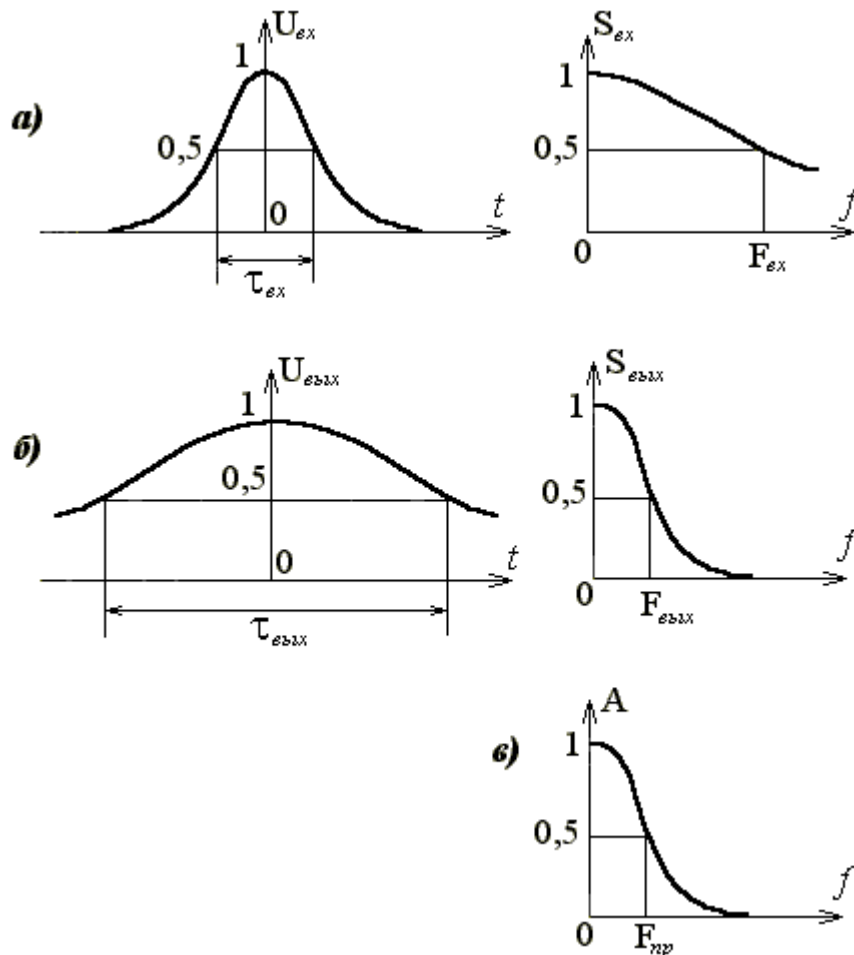


Рисунок 3.4 - Нормированные сигналы и спектры на входе (а) и выходе (б) ОВ, модуляционная характеристика (в)

Полученная таким образом характеристика показана на рис.3.4,в. Можно заметить, что ее ширина F_{np} на уровне 0,5 тем меньше, чем больше уширение импульсов в ОВ; этот параметр называется полосой пропускания ОВ. Величина полосы пропускания, согласно (3.14):

$$F_{\text{np}} = 0.5/\tau_{\text{и}}, \quad (3.18)$$

где F_{np} выражается в герцах, $\tau_{\text{и}}$ - в секундах.

В таком же соотношении находятся и километрические значения этих величин, измеряемые соответственно в Гц·км и с/км. Например, если ОВ имеет километрическое уширение импульсов $\Delta\tau_{\text{и}}=40$ нс/км, то километрическое значение его полосы пропускания составляет $\Delta F_{\text{np}} = 0.5/40 = 12.5$ МГц·км. Чем больше длина ОВ, тем пропорционально больше уширение импульсов и меньше полоса пропускания. Согласно (3.5) и (3.18),

пропускная способность ОВ длиной l :

$$B = \Delta F_{np} / l. \quad (3.19)$$

Как следует из изложенного, модуляционная характеристика оптического кабеля обусловлена наличием дисперсии, поэтому она относится к группе дисперсионных характеристик.

4. Состав лабораторного оборудования и схема измерений

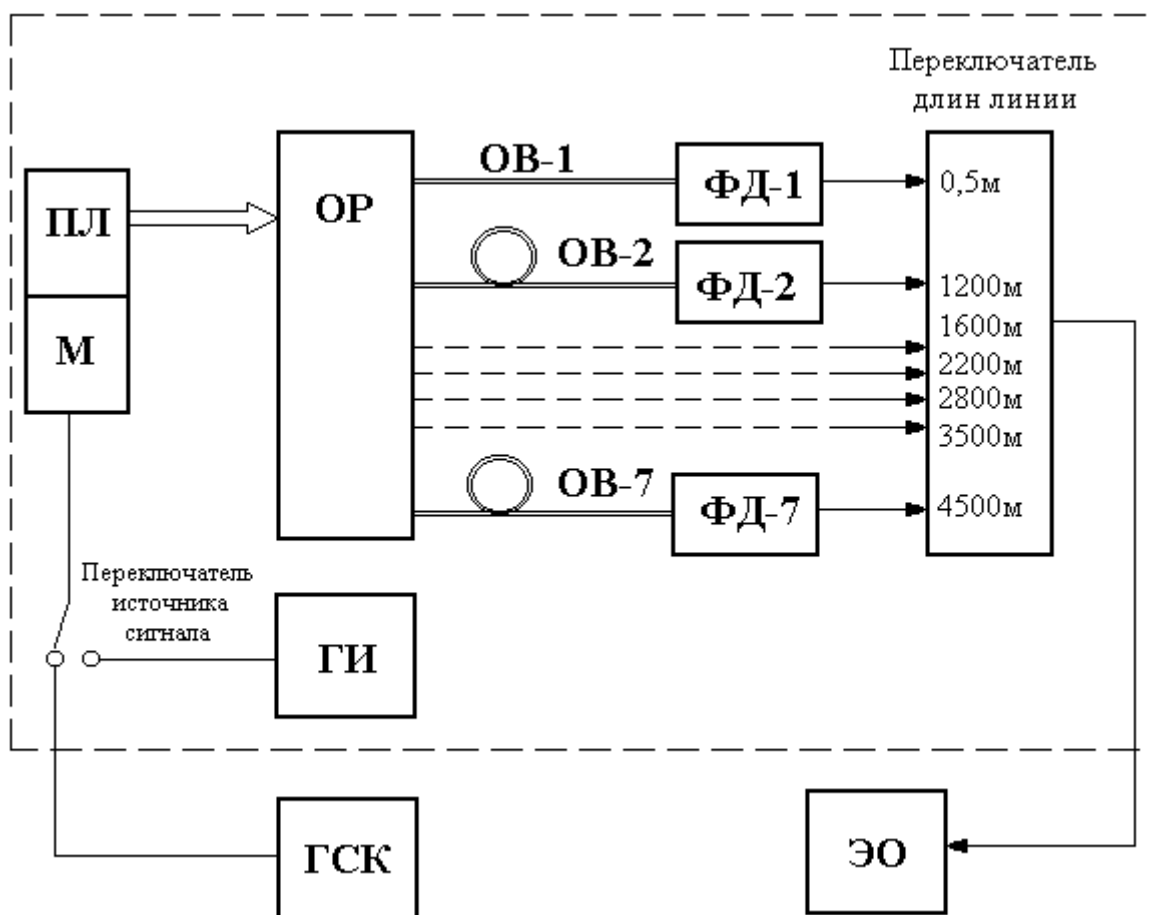


Рисунок 4.1 - Структурная схема лабораторного макета:

ГИ - генератор импульсов; ГСК - генератор синусоидальных колебаний ;

М - модулятор; ПЛ - полупроводниковый лазер; ФД1-ФД7 - фотодетекторы;

ЭО - электронный осциллограф.

На рисунке 4.1 показана структурная схема лабораторной установки. Источником сигнала, в зависимости от исследуемого параметра (уширение импульсов или модуляционная характеристика), является либо внутренний генератор импульсов (ГИ), либо внешний генератор синусоидальных колебаний (ГСК). Коммутация источников осуществляется переключателем. Электрический сигнал поступает на модулятор (М), который изменяет ток

накачки, а, следовательно, и мощность излучения полупроводникового лазера (ПЛ) в соответствии со входным сигналом, т.е. имеет место прямая модуляция. Модулятор и лазер являются единым блоком.

Промодулированный оптический сигнал подается на отрезок ОВ длиной несколько десятков сантиметров, связывающий ПЛ и оптический разветвитель (ОР) который разделяет передаваемое излучение на семь равных по мощности частей, которые вводятся в оптические волокна ОВ-1 ÷ ОВ-7, а затем поступают на фотодетекторы ФД-1÷ФД-7. Сигналы с фотодетекторов через переключатель длин линии поступают на электронный осциллограф (ЭО), с помощью которого наблюдается форма сигнала и ее изменение. Волокна ОВ-2÷ОВ-7 имеют длины соответственно 1200м, 1600м, 2200м, 2800м, 3500м и 4500м, они используются для определения дисперсионных характеристик. Выбор одного из этих волокон осуществляется переключателем длин линии. Волокно ОВ-1 имеет малую длину (0,5 м) и подключает фотодетектор ФД-1 непосредственно к ОР. При этом на ЭО поступает прямой сигнал с ПЛ. Этот сигнал используется при измерениях в качестве опорного сигнала.

5. Порядок выполнения работы

1. Включить питание генератора синусоидальных колебаний, осциллографа и тумблер "сеть" лабораторной установки. Выдержать время прогрева приборов - 3 мин.

2. Переключателем "Выбор источника сигнала" подключить к модулятору внутренний генератор импульсов.

3. Переключатель длин линии поставить в положение "ОВ-1".

4. Ручкой "скважность" и органами управления ЭО добиться устойчивого и удобного для наблюдения изображения импульса на экране осциллографа. Ручкой "длительность" установить длительность импульса на уровне 0,5 амплитуды равной 40 нс, данную длительность считать в дальнейших измерениях длительностью исходного сигнала $\tau_{вх}$.

5. Переключатель длин линии последовательно ставить в положения:

"1200 м", "1600 м"....."4500м". При этом определять длительность выходного сигнала на уровне 0,5 амплитуды поступающих с выхода волокон импульсов Результаты занести в табл. 5.1.

6. С помощью формулы (3.7) рассчитать уширение импульсов по результатам измерений. Результаты также занести в табл. 5.1.

7. По данным п.6 построить график $\tau_{и}(l)$ в соответствии с рис.3.2, по графику найти величину l_y . Взяв измеренные длины волокон, меньшие, чем l_y , определить километрическое уширение импульсов $\Delta\tau_{и} = \tau_{и}/l$. Результаты занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Результаты эксперимента

$\tau_{\text{вх}} = \text{нс}$						
$l, \text{м}$	1200	1600	2200	2800	3500	4500
$\tau_{\text{вых}}, \text{нс}$						
$\tau_{\text{и}}, \text{нс}$						
$l_{\text{y}}, = \text{км}$						
$\Delta\tau_{\text{и}}, \text{нс/км}$:	

8. Установить на генераторе синусоидальных сигналов выходное напряжение 0,5 В, выходное сопротивление 1000 Ом. Отключить от модулятора генератор импульсов и подключить генератор синусоидальных колебаний.

9. Снять модуляционную характеристику волокна ОВ-4 длиной 2200 м. Для этого измерить амплитуду выходного сигнала в положении переключателя длин линии "2200 м" на частотах, указанных в табл.5.2. В качестве амплитуды входного сигнала взять амплитуду на выходе отрезка волокна ОВ-1.

Таблица 5.2 - Результаты эксперимента

$U_{\text{вх}} =$									
$f, \text{МГц}$	0,1	0,5	1	2	4	8	12	16	20
$U_{\text{вых}}$									
A									
$F_{\text{ПР}}, \text{МГц}$									
$\Delta F_{\text{ПР}}$ $\text{МГц} \cdot \text{км}$									

10. Выключить электропитание аппаратуры. Разобрать схему.

11. Рассчитать значения $A = U_{\text{вых}}(f) / U_{\text{вх}}(0,1 \text{ МГц})$. Результаты внести в таблицу 5.2. Построить график $A(f)$.

По графику найти величину $F_{\text{пр}}$, рассчитать километрическое значение

полосы пропускания оптического волокна: $\Delta F_{\text{пр}} = F_{\text{пр}} \cdot 2,2, \text{ Гц} \cdot \text{км}$.

6. Содержание отчета

1. Рисунок 3.3 раздела 3.2 описания, с кратким пояснением явлений модовой дисперсии, дисперсии материала и волноводной дисперсии.

2. Табл. 1 с результатами измерений и расчетов, график по п. 7 раздела 5.

3. Табл. 2 с результатами измерений и расчетов, график по п.2 раздела 5.

4. Обсуждение результатов, выводы.

7. Контрольные вопросы

1. В чем состоит содержание лабораторной работы? Каковы ожидаемые результаты измерений и расчетов?
2. Импульсная реакция и переходная характеристика оптического волокна.
3. Уширение импульсов в оптическом кабеле: физическая сущность, количественная оценка, влияние на пропускную способность.
4. Дисперсия в многомодовых оптических волокнах.
5. Дисперсия в одномодовых оптических волокнах.
6. Модуляционная характеристика оптического кабеля.
7. Полоса пропускания оптического кабеля, скорость передачи.
8. Дисперсионные характеристики оптических кабелей (обзор).
9. Обсуждение результатов измерений и расчетов.

Список использованных источников

1. Гроднев И. И., Курбатов Н.Д. Линии связи. - М.: Связь, 1960.
2. Коршунов В.Н., Шитов В.В., Моряков Г.С. Оптические кабели связи. - М.: Связь, 1960.
3. Колунов В.Н. Элементы проектирования оптических кабельных линий связи. - М.: ВЗЭИС, 1979.

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫТЕКАЮЩИХ МОД В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

Цель работы: изучение и исследование влияния световой энергии вытекающих мод в зависимости от длины участка взаимодействия оболочки сердцевины оптического волокна (ОВ) с иммерсионной жидкостью.

1. Введение

При вводе света в волоконный световод (ВС) от передатчика (СИД) свет попадает не только в сердцевину, но и в оболочку сердцевины ВС. Оболочечные моды являются модами, сопутствующими основному излучению, однако очень сильно влияют на свойства ОВ. Измерение затухания не является истинным, и для точного измерения затухания в ОВ необходимо вывести оболочечные моды из ОВ.

В данной работе для измерения затухания предлагается искусственно выводить оболочечные моды непосредственно после передатчика. Это делается следующим образом: очищаются внешние защитные покрытия с ВС, защитная полимерная оболочка удаляется при помощи серной кислоты и оставшаяся кварцевая оболочка с сердцевиной помещается в иммерсионную жидкость.

2. План работы

При подготовке к работе ознакомиться с теорией вопроса, с лабораторным макетом, измерительным прибором (В7-28), порядком выполнения работы и заготовить бланк отчета.

Выполнить домашнее задание:

- рассчитать влияние длины участка взаимодействия оболочки сердцевины ОВ с иммерсионной жидкостью (Δl) на величину измеряемого затухания;
- рассчитать влияние затухания на величину коэффициента ошибок;
- построить соответствующие зависимости на основе данных расчетов

Исходные данные для расчетов:

Числовая апертура ОВ (сердцевины)

$$NA_c=0.2$$

Числовая апертура оболочки

$$NA_o=0.3$$

Мощность светодиода

$$P_{изл}=150 \text{ мкВт}$$

Диаметр сердцевины ОВ

$$a=50 \text{ мкм}$$

Диаметр оболочки сердцевины

$$b=125 \text{ мкм}$$

Показатели преломления:

• сердцевины	$n_1=1.46102$
• оболочки сердцевины	$n_2=1.44627$
• защитной оболочки сердцевины	$n_3=1.41421$
затухание света в оболочке ОВ	220 дБ/км
затухание света в сердцевине ОВ	6,89 дБ/км
площадь светящейся площадки	$S_{изл}=10^{-9} \text{ м}^2$
длительность импульса	$\tau=59 \text{ мкс}$
$C=4,55 \text{ м}$	

В процессе выполнения работы экспериментально исследовать влияние Δl на величину измеряемого затухания и коэффициент ошибок как следствие. Провести статическую обработку экспериментальных данных и определить погрешность измерений затухания.

3. Краткое изложение теории

При вводе света в ВС от передатчика (СИД) свет попадает не только в сердцевину, но и в оболочку сердцевины ВС. Свет отражается от границы оболочка сердцевины – защитная оболочка и таким образом распространяется в оболочке сердцевины.

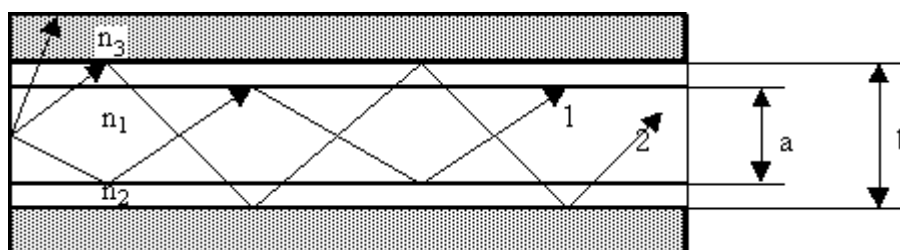


Рисунок 3.1 – Распространение лучей в ступенчатом волоконном световоде

На рисунке 3.1: a , b – диаметры сердцевины и оболочки; n_1 , n_2 , n_3 – показатели преломления сердцевины, оболочки, защитного покрытия; 1 – мода сердцевины; 2 – мода оболочки; 3 – мода излучения;

Наиболее распространенным методом измерения затухания света в ВС является метод укорочения ВС, суть которого заключается в следующем: волокно подключается к передатчику, измеряется мощность на его выходе, затем волокно укорачивается на 1-5 метров, опять измеряется мощность. Затухание вычисляется по формуле:

$$\alpha_{[\text{дБ}]} = 10 \lg \frac{P_{y \cdot \text{вых}}}{P_{n \cdot \text{вых}}} \quad (3.1)$$

Мощности $P_{y \cdot \text{вых}}$ и $P_{n \cdot \text{вых}}$ включают в себя мощности света оболочечных мод и мод сердцевины, поэтому можно записать формулу:

$$\alpha[раз] = \frac{\frac{P_{свх}}{\alpha'_c[раз]} + \frac{P_{овх}}{\alpha'_o[раз]}}{\frac{P_{свх}}{\alpha''_c[раз]} + \frac{P_{овх}}{\alpha''_o[раз]}}, \quad (3.2)$$

где $P_{свх}$ и $P_{овх}$ – мощности мод сердцевины и оболочки сердцевины, вводимые в ВС от передатчика;

α'_c и α''_c – коэффициенты затухания мод сердцевины в укороченном и не укороченном ВС соответственно ($\alpha'_c < \alpha''_c$);

α'_o и α''_o – коэффициенты затухания мод оболочки в укороченном и не укороченном ВС соответственно ($\alpha'_o < \alpha''_o$).

$$\begin{aligned} \alpha'_c[раз] &= 10^{\frac{\alpha_c[\partial Б/м]}{10} \ell' [м]} \\ \alpha''_c[раз] &= 10^{\frac{\alpha_c[\partial Б/м]}{10} \ell'' [м]} \\ \alpha'_o[раз] &= 10^{\frac{\alpha_o[\partial Б/м]}{10} \ell' [м]} \\ \alpha''_o[раз] &= 10^{\frac{\alpha_o[\partial Б/м]}{10} \ell'' [м]} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Из соотношений видно, что при $\alpha_o \gg \alpha_c$ на больших расстояниях ℓ' и ℓ'' оказывается:

$$\alpha'_o \gg \alpha'_c \text{ и } \alpha''_o \gg \alpha''_c \quad \frac{P_{овх}}{\alpha'_o[раз]} \rightarrow 0, \quad \frac{P_{свх}}{\alpha'_c[раз]} \rightarrow 0, \text{ поэтому формула (3.2)}$$

приводится к виду (3.4).

$$\begin{aligned} \alpha[раз] &= \frac{\frac{P_{свх}}{\alpha'_c[раз]} + \frac{P_{овх}}{\alpha'_o[раз]}}{\frac{P_{свх}}{\alpha''_c[раз]} + \frac{P_{овх}}{\alpha''_o[раз]}} = \frac{\alpha''_c[раз]}{\alpha'_c[раз]} = \\ &= \left(\frac{P''_{с \cdot вьх}}{P_{с \cdot вх}} \right)^{-1} \Big/ \left(\frac{P'_{с \cdot вьх}}{P_{с \cdot вх}} \right)^{-1} = \frac{P'_{с \cdot вьх}}{P''_{с \cdot вьх}}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

где $P'_{с \cdot вьх}$ и $P''_{с \cdot вьх}$ – мощности мод сердцевины на выходах укороченного и неукороченного ВС соответственно.

Из вышеизложенного можно сделать вывод: для точного измерения затухания света в сердцевине ВС методом укорочения ВС необходимы отрезки кабеля большой длины. Это нужно для того, чтобы исключить влияние оболочечных мод на результаты измерений. Также полезно знать влияние оболочечных мод, особенно при построении коротких линий связи.

Чтобы избавиться от необходимости использовать большие отрезки ВС для измерения затухания предлагается искусственно выводить оболочечные моды непосредственно после передатчика. Это делается следующим образом: очищаются внешние защитные покрытия с ВС, защитная полимерная оболочка удаляется при помощи серной кислоты и оставшаяся кварцевая оболочка с сердцевиной помещается в иммерсионную жидкость (жидкость, показатель преломления которой равен показателю преломления оболочки).

Так как в этом случае n_2 становится равным n_3 (рисунок 3.1), то оболочечные моды беспрепятственно выходят из волоконного световода и по нему распространяются только моды сердцевины. Таким образом, при измерении затухания методом обламывания мы будем получать его истинное значение, т.е. затухание в сердцевине ОВ, которое и фигурирует во всех известных методиках расчета ВОЛС.

3.1 Влияние длины участка взаимодействия оболочки сердцевины ВС с иммерсионной жидкостью на величину измеряемого затухания

Распространение света в ОВ будем рассматривать с точки зрения геометрической оптики. Процесс распространения оболочечной моды в ВС, соответствующий максимальному углу падения света на границу сердцевина-оболочка, при котором свет выходит из оболочки в сердцевину, показана на рисунке 3.2.

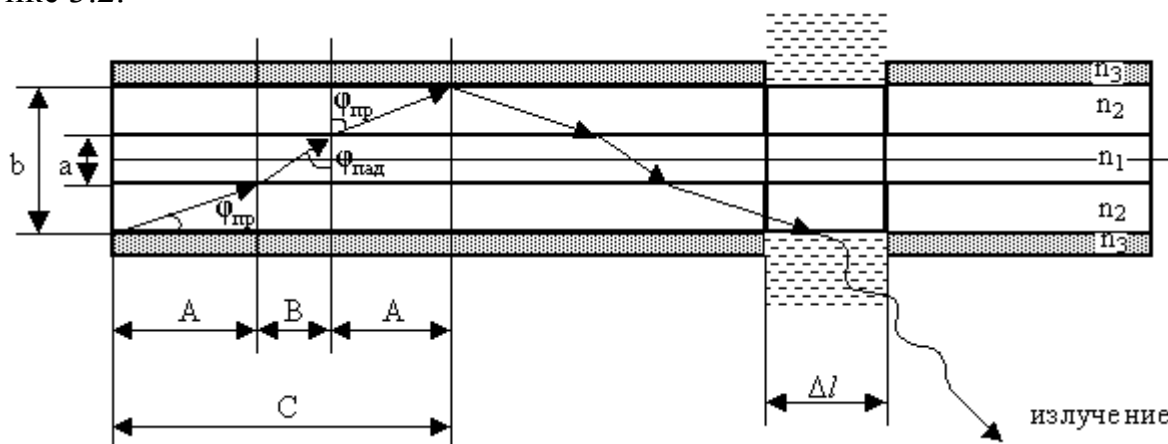


Рисунок 3.2 – распространение оболочечной моды.

На рисунке 3.2: $\varphi_{\text{пад}}$ – угол падения света на границу сердцевина – оболочка ($\varphi_{\text{пад}} \leq \varphi_{\text{кр}}$), $\varphi_{\text{кр}}$ – критический угол, если $\varphi \geq \varphi_{\text{кр}}$, то свет распространяется только в оболочке, в соответствии с законом полного отражения;

$\varphi_{\text{пр}}$ – угол преломления; a – диаметр сердцевины; b – диаметр оболочки;

Δl – длина участка взаимодействия оболочки с иммерсионной жидкостью.

Анализируя рисунок 3.2, можно отметить что при $\Delta l \geq C$ оболочечные моды полностью выводятся, поскольку свет остальных оболочечных мод (кроме показанной на рисунке 3.2) падает на границу оболочка сердцевины – оболочка защитная (n_2-n_3) под меньшими углами, а следовательно его лучи проходят меньшее расстояние от одной стенки оболочки до другой, чем луч показанный на рисунке 3.2, то все остальные мода оболочки будут выведены тем более.

При распространении луча по ВС происходит не только преломление света, но и отражение, называемое френелевским. Коэффициент френелевского отражения:

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (3.5)$$

Поскольку в ВС оптической связи $n_2 \approx n_3$, то R оказывается очень малым (порядка $10^{-6}-10^{-9}$) и отражением света от границы раздела диэлектриков пренебрегают.

Сделаем допущение, что свет равномерно распределен по поверхности оболочки сердцевины. В этом случае можно считать, что мощность, выводимых мод прямо пропорциональна Δl . При $\Delta l \leq C$:

$$P_{ом\cdot\text{выв}} = \frac{\Delta l}{C} P_{ом\cdot\text{вх}}, \quad (3.6)$$

где $P_{ом\cdot\text{выв}}$ - мощность выведенных оболочечных мод;

$P_{ом\cdot\text{вх}}$ - мощность оболочечных мод в ВС до участка взаимодействия с иммерсионной жидкостью.

Тогда мощность оболочечных мод в ВС после их частичного вывода:

$$P_{ом\cdot\text{вых}} = P_{ом\cdot\text{вх}} - P_{ом\cdot\text{выв}} = P_{ом\cdot\text{вх}} \left(1 - \frac{\Delta l}{C} \right), \text{ при } \Delta l \leq C. \quad (3.7)$$

При $\Delta l \leq C$ $P_{ом\cdot\text{вых}} \rightarrow 0$, т.е. оболочечные моды полностью выводятся.

Определим геометрически величину C:

$$C = 2 \cdot A + B, \quad (3.8)$$

$$A = \frac{b-a}{2} \cdot \text{tg} \varphi_{np}, \quad (3.9)$$

$$B = a \cdot \text{tg} \varphi_{nad}. \quad (3.10)$$

В соответствии с законом Снелиуса:

$$\varphi_{np} = \arcsin \left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \varphi_{nad} \right) \quad (3.11)$$

$$\varphi_{nad} \leq \varphi_{кр},$$

где $\varphi_{кр} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$ - угол полного отражения.

Выведем формулу, показывающую зависимость величины измеряемого затухания от Δl . Охарактеризуем вывод мод оболочки как их вынужденное затухание, тогда коэффициент этого затухания:

$$\alpha_{ом-вын} = \frac{P_{ом-вх}}{P_{ом-выб}} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta l}{C}}; \Delta l \leq C.$$

Основная формула, связывающая величину измеряемого затухания с длиной участка взаимодействия Δl :

$$\alpha_{[раз]} = \frac{\frac{P_{свх}}{\alpha'_c} + \frac{P_{овх}}{\alpha_0 \alpha_{ом-вын}'}}{\frac{P_{свх}}{\alpha''_c} + \frac{P_{овх}}{\alpha_0 \alpha_{ом-вын}''}}, \quad (3.12)$$

где $P_{свх}$ и $P_{овх}$ - мощности, вводимые в сердцевину и оболочку ОВ соответственно.

$$P_{свх} = P_{изл} \cdot \frac{\pi \cdot (a/2)^2}{S_{изл}} \cdot NA_c^2$$

$$P_{овх} = P_{\Sigma} - P_{свх}$$

$$P_{\Sigma} = P_{изл} \cdot \frac{\pi \cdot (a/2)^2}{S_{изл}} \cdot NA_o^2$$

где $NA_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ - числовая апертура сердцевины;

$NA_o = \sqrt{n_2^2 - n_3^2}$ - числовая апертура оболочки.

α_0' и α_0'' - коэффициенты затухания мод оболочки в укороченном и не укороченном ОВ соответственно;

l' и l'' - соответствующие длины;

$$\alpha_0' = 6.89 \text{ дБ/км}; \quad \alpha_0'' = 220 \text{ дБ/км};$$

$$l' = 0.7 \text{ м}; \quad l'' = 1.7 \text{ м};$$

$$C = 4.55 \text{ м}$$

$$\alpha_{ом-вын} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta l [\text{мм}]}{4.55}} - \text{вынужденное затухание оболочечных мод за счет}$$

их принудительного вывода (при $\Delta l \geq 4.55$ $\alpha_{ом-вын} \rightarrow \infty$).

$$\alpha_{[раз]} = \frac{\alpha_c''}{\alpha_c'} = 6.89 \text{ дБ/км}$$

$$\alpha_{[раз]} = \frac{\frac{P_{свх}}{\alpha'_c} + \frac{P_{овх}}{\alpha_0'} \cdot \left(1 - \frac{\Delta l}{C}\right)}{\frac{P_{свх}}{\alpha''_c} + \frac{P_{овх}}{\alpha_0''} \cdot \left(1 - \frac{\Delta l}{C}\right)} \quad (3.13)$$

Таким образом, мы получили возможность измерять затухание света именно в сердцевине ВС, используя короткие отрезки волокна, благодаря

искусственному выводу мод оболочки.

Проведем краткий анализ (3.13). На небольших расстояниях от передатчика измеряемое затухание в основном определяется отношением мощностей оболочки укороченного и не укороченного волокон, поскольку волокно изначально вводится мощность мод оболочки большая, чем мощность мод сердцевины, так как площадь торца оболочки гораздо больше площади торца сердцевины и апертура световода защитная оболочка – оболочка сердцевины больше, так как больше разность показателей преломления n_2 и n_3 , по сравнению с разностью n_1 и n_2 . Увеличение Δl ведет к уменьшению вклада оболочечных мод в выходную мощность и росту веса мод сердцевины, а значит, постепенно измеряемое затухание становится равным затуханию в сердцевине ВС, гораздо меньшему затуханию мод оболочки.

В итоге можно сделать вывод, что с ростом длины участка взаимодействия ВС с иммерсионной жидкостью, величина измеряемого участка сначала уменьшается, а затем постепенно приближается к величине затухания мод сердцевины и дальнейшее увеличение длины этого участка не влияет на результаты измерений, поскольку оболочечные моды уже выведены.

Приведенные выше выкладки должны быть проверены путем проведения эксперимента.

3.2 Влияние дисперсии на качество передачи информации в ВС

В системах ВОЛС дисперсия ВС оказывает сильное влияние на качество передачи информации. Она является основной причиной расширения передаваемых по ВОЛС импульсов и как следствие сужение полосы пропускания. Во многих случаях дальность связи ограничивается не затуханием света в ВС, а именно невозможностью обеспечить требуемую пропускную способность из-за большой дисперсии ВС.

При относительно коротких линиях связи (локальные сети ЭВМ и т.п.), свет распространяется не только в сердцевине ВС, но и в оболочке. В многомодовых ВС основной вклад вносит межмодовая дисперсия, которая прямо пропорциональна величине разностей показателей преломления слоев ВС. Это разность для границы оболочка сердцевины – защитная оболочка значительно больше, чем для границы сердцевина – оболочка сердцевины, а следовательно дисперсия тоже больше. Таким образом, при передаче больших потоков информации возникает необходимость вывода оболочечных мод на коротких линиях связи.

Как видим, на коротких линиях связи наличие мод оболочки положительно влияет на энергетику системы, но в то же время отрицательно сказывается на пропускной способности и качестве передачи информации из-за большой дисперсии ВС.

Помехоустойчивость системы передачи определяет способность системы различать (восстанавливать) передавать сигналы с заданной

достоверностью. Предельно достижимая помехоустойчивость называется **потенциальной**. Сравнение ее с реальной помехоустойчивостью позволяет дать оценку качества системы, найти неиспользованные резервы.

Помехоустойчивость любой цифровой системы передачи характеризуется вероятностью ошибки и оценивается коэффициентом ошибок:

$$K_{ош} = \frac{N_{ош}}{N} \quad (3.14)$$

где $N_{ош}$ - количество ошибочно принятых символов

N - общее число переданных символов.

Коэффициент ошибок связан с отношением сигнал/шум на выходе приемника:

$$\frac{P_c}{P_{ш}} = \frac{Pm^2 e^{-\alpha}}{2h\nu B + 4kTB}, \quad (3.15)$$

где $h\nu = 2 \cdot 10^{-12}$ Дж - энергия фотона;

B - ширина полосы модуляции;

$kT = 4 \cdot 10^{-21}$ Дж - постоянная Больцмана умноженная на абсолютную температуру;

$P = P_{свх} + P_{овх} = 52$ мкВт - выходная оптическая мощность передатчика;

m - коэффициент модуляции (для ИКМ $m=1$);

α - коэффициент затухания в линии между передатчиком и приемником, Нп.

$$K_{ош} = \frac{\exp\left(-\frac{1}{8} \cdot \frac{P_c}{P_{ш}}\right)}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{P_c}{P_{ш}}}} \quad (3.16)$$

$$B = \frac{1}{\tau}, \quad (3.17)$$

где τ - длительность импульса.

$$1 \text{ Нп} = 8.686 \text{ дБ};$$

$$1 \text{ дБ} = 0.115 \text{ Нп};$$

$$\alpha(\ell) \left[\text{дБ/км} = 10^4 \lg [\alpha(\ell)] \right] \text{ [раз]} .$$

4. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят:

- ✓ Лабораторный макет;
- ✓ Измерительные приборы:
 - Фотометрический шар с вольтметром В7-28;
 - Источник питания УИП-68;

В состав лабораторного макета входит 8 ОВ, погруженные в иммерсионную жидкость, имеющие различные длины участков взаимодействия Δl :

$$\Delta l_1 = 0 \text{ мм}$$

$$\Delta l_3 = 5 \text{ мм}$$

$$\Delta l_2 = 1 \text{ мм}$$

$$\Delta l_4 = 15 \text{ мм}$$

$$l' = 0.7 \text{ м}$$

$$l'' = 1.7 \text{ м}$$

Структурная схема лабораторной установки показана на рисунке 4.1.

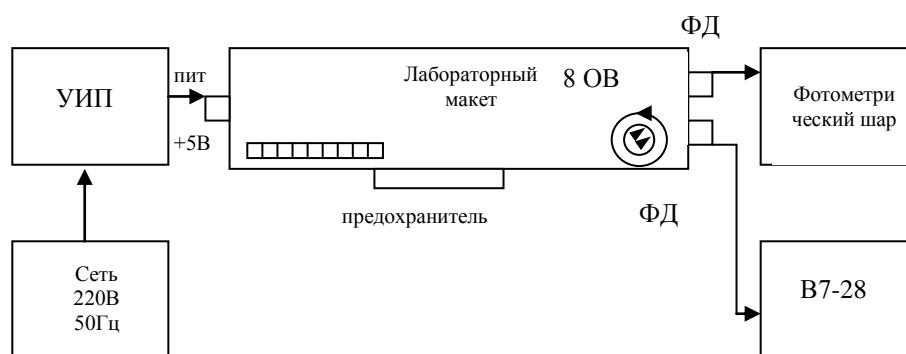


Рисунок 4.1 – Структурная схема лабораторной установки

Параметры оптических кабелей указаны на лицевой панели макета. Переключатели на макете позволяют поочередно подключать светодиоды к источнику питания.

5. Порядок выполнения работы

1. Проверьте наличие питания с выхода УИП при помощи вольтметра В7-28, оно должно составлять +5В.
2. Переключатель «ПРЕДЕЛЫ» на вольтметре установите в положение «0.1В», переключатель «РУЧН-АВТ» поставьте в положение «РУЧН».
3. Проверьте правильность сборки лабораторной установки в соответствии с рисунком 4.1. При этом избегайте грубых механических воздействий на оптические волокна.

4. Поочередно вставляйте при помощи подвижных станин оптические волокна в фотометрический шар, измеряя для каждого ОВ выходное напряжение шестикратно путем нажатия кнопки «ПУСК».

5. Экспериментально снимите зависимости $U_{y \cdot \text{вых}} = f(\ell)$ и $U_{H \cdot \text{вых}} = f(\ell)$ с укороченного и не укороченного кабеля соответственно.

Результаты измерений занесите в таблицу 5.1.

По данным таблицы 5.1. проведите статическую обработку результатов эксперимента, результаты занесите в таблицу 5.2.

Таблица 5.1. – результаты эксперимента.

Выходное напряжение, мВ	№ опыта					
	1	2	3	4	5	6
$U_{y \text{ Вых1}}(\text{OB1})$						
$U_{H \text{ Вых2}}(\text{OB2})$						
$U_{y \text{ Вых3}}(\text{OB3})$						
$U_{H \text{ Вых4}}(\text{OB4})$						
$U_{y \text{ Вых5}}(\text{OB5})$						
$U_{H \text{ Вых6}}(\text{OB6})$						
$U_{y \text{ Вых7}}(\text{OB7})$						
$U_{H \text{ Вых8}}(\text{OB8})$						

Таблица 5.2. – Результаты обработки данных эксперимента.

Выходное напряжение, мВ	$\langle U_{\text{вых}} \rangle$, мВ	$\delta(U_{\text{вых}})$, мВ	$\varepsilon(\langle U_{\text{вых}} \rangle)$, мВ	$\varepsilon(\langle U_{\text{вых}} \rangle)_{\Sigma}$, мВ	$\langle \alpha_i \rangle$, дБ/км	$\varepsilon(\alpha_i)_{\Sigma}$	$\delta(\alpha_i)_{\Sigma}$
$U_{y \text{ Вых1}}(\text{OB1}) \rightarrow \Delta \ell_1$							
$U_{H \text{ Вых2}}(\text{OB2}) \rightarrow \Delta \ell_2$							
$U_{y \text{ Вых3}}(\text{OB3}) \rightarrow \Delta \ell_3$							
$U_{H \text{ Вых4}}(\text{OB4}) \rightarrow \Delta \ell_4$							
$U_{y \text{ Вых5}}(\text{OB5}) \rightarrow \Delta \ell_5$							
$U_{H \text{ Вых6}}(\text{OB6}) \rightarrow \Delta \ell_6$							
$U_{y \text{ Вых7}}(\text{OB7}) \rightarrow \Delta \ell_7$							
$U_{H \text{ Вых8}}(\text{OB8}) \rightarrow \Delta \ell_8$							

По данным таблицы 5.2. и рассчитанной дома зависимости $K_{ou} = f(a)$ постройте зависимости $U_{y\cdot\text{вых}} = f(\ell)$ и $U_{H\cdot\text{вых}} = f(\ell)$, $\alpha = f(\ell)$ и $K_{ou} = f(\ell)$

Вычислите затухание света в оболочке ОВ:

$$\langle \alpha_{om} \rangle = 10 \cdot \lg \frac{\langle U_{y\cdot\text{вых}1} \rangle - \langle U_{y\cdot\text{вых}4} \rangle}{\langle U_{H\cdot\text{вых}1} \rangle - \langle U_{H\cdot\text{вых}4} \rangle}, \quad (5.1)$$

среднее значение напряжения:

$$\langle U_{\text{вых}} \rangle = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n U_{\text{вых}i}, \quad (5.2)$$

среднее значение затухания:

$$\langle \alpha_i \rangle = \frac{\langle U_{y\cdot\text{вых}i} \rangle}{\langle U_{H\cdot\text{вых}i} \rangle}, \quad i=1 \dots 4, \quad (5.3)$$

где $\langle U_{y\cdot\text{вых}i} \rangle$ и $\langle U_{H\cdot\text{вых}i} \rangle$ - напряжение на выходе фотоприемника, соответствующие укороченному и не укороченному кабелю.

Суммарная относительная погрешность:

$$\varepsilon(\alpha_i) = \sqrt{\varepsilon^2(U_{y\cdot\text{вых}i})_{\Sigma} + \varepsilon^2(U_{H\cdot\text{вых}i})_{\Sigma}} \quad (5.4)$$

где $\varepsilon(U_{y\cdot\text{вых}i})_{\Sigma}$ и $\varepsilon(U_{H\cdot\text{вых}i})_{\Sigma}$ - суммарные относительные погрешности измерений, включающие в себя систематическую (приборную) и случайную погрешности. Ниже приведены общие формулы для их расчета.

Систематическая погрешность вольтметра В7-28 при работе в пределах 0.1В, в соответствии с техническим описанием составляет: $\varepsilon(U_{\text{вых}})_{\text{сист}} = 2 \cdot 10^{-4}$.

Суммарная относительная погрешность (P=0.96):

$$\varepsilon(U_{\text{вых}})_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon^2(U_{\text{вых}})_{\text{сист}\Sigma} + [3 \cdot \varepsilon(\langle U_{\text{вых}} \rangle)]^2}. \quad (5.5)$$

Относительная случайная погрешность измерения $\langle U_{\text{вых}} \rangle$:

$$\varepsilon(\langle U_{\text{вых}} \rangle) = \frac{\delta(\langle U_{\text{вых}} \rangle)}{\langle U_{\text{вых}} \rangle}. \quad (5.6)$$

Средняя абсолютная квадратичная погрешность $\langle U_{\text{вых}} \rangle$ вычисляется как:

$$\delta(\langle U_{\text{вых}} \rangle) = \sqrt{\frac{\sum_i (U_{\text{вых}i} - \langle U_{\text{вых}} \rangle)^2}{n(n-1)}}, \quad (5.7)$$

где $U_{\text{вых}i}$ - результат этого измерения, n - число опытов.

Абсолютная средняя квадратичная погрешность $\langle \alpha_i \rangle$ (суммарная):

$$\delta(\alpha_i)_{\Sigma} = \langle \alpha_i \rangle \cdot \varepsilon(\alpha_i)_{\Sigma} \quad [\text{раз}], \quad (5.8)$$

в децибелах на километр:

$$\delta(\alpha_i)_{\Sigma} [\text{дБ/км}] = 10^4 \cdot \frac{0.4343}{\langle \alpha_i \rangle_{[\text{раз}]}} \cdot \delta(\alpha_i)_{[\text{раз}]} = 4.343 \cdot 10^3 \cdot \varepsilon(\alpha_i)_{\Sigma} \quad (5.9)$$

Сравните расчетные и экспериментальные данные, объясните полученные зависимости, сделайте соответствующие выводы.

6. Указания к составлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. схему лабораторного макета и измерений;
2. результаты расчетов, проведенных дома и результаты эксперимента (таблицы 5.1 и 5.2);
3. графики указанные в разделах 2 и 5.

7. Контрольные вопросы

1. От чего зависит помехоустойчивость ВОЛС?
2. Назначение элементов схемы лабораторной установки?
3. Как зависит величина затухания, измеряемая методом обламывания, от длины ОВ и длины взаимодействия?
4. Какие виды погрешностей встречаются в данной лабораторной работе?
5. Связь коэффициента ошибок и затухание света в ОВ?

Список использованных источников

1. Сысуев В.В. «Влияние затухания света в ОВ на помехоустойчивость ВОЛС» - Томск: 1997 Дипломная работа
2. Гроднев И.И. «ВОЛС» - М: Радио и связь 1980, с 88-97.
3. ВОЛС (под редакцией Гомзина) – М: Радио и связь 1992 –412с.
4. Теумин И.И. «Волноводы оптической связи» -М: Связь 1978

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОВ и ОК

Цель работы: ознакомление с апертурными свойствами оптических волокон и конструктивными параметрами оптических кабелей.

1. Введение

К конструктивным параметрам оптических кабелей относятся такие параметры как: количество трубчатых оптических модулей (ОМ), строительная длина, масса кабеля, число ОВ в кабеле, диаметр центрального силового элемента (ЦСЭ), диаметр полиэтиленового (ПЭ) покрытия ЦСЭ, диаметр оптического модуля (ОМ), наружный диаметр кабеля, диаметр защитной ПЭ оболочки, разность показателей преломления, вид покрытия и так далее. В данной лабораторной работе предлагается измерить конструктивные параметры шести ОК, закрепленных на лабораторном стенде.

Апертурным углом оптического волокна называется угол между оптической осью волокна и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волокна, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения лучей на границе раздела «сердцевина - оболочка». Лучи, находящиеся внутри указанного конуса, представляют совокупность мод, направляемых волокном.

2. Теоретические предпосылки и описание экспериментальных установок

2.1 Апертурный угол и числовая апертура оптического волокна.

Апертурным углом многомодового оптического волокна называется угол между оптической осью волокна и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волокна, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения лучей на границе раздела «сердцевина - оболочка». Лучи, находящиеся внутри указанного конуса, представляют совокупность мод, направляемых волокном. Синус апертурного угла есть числовая апертура волокна. При определении числовой апертуры в качестве внешней среды берется воздух, который имеет коэффициент преломления $n_0=1$. В этих условиях величина апертурного угла и апертуры зависят от значений коэффициентов преломления сердцевины волокна n_1 и оболочка волокна n_2 .

На рис. 2.1 показана модель распространения лучей на границе раздела двух сред с коэффициентами преломления n_1 и n_2 , причем $n_1 > n_2$.

Падающий луч, который имеет угол падения φ_1 , в общем случае

испытывает отражение под углом φ_1 и преломления под углом φ_2 . При этом:

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.1)$$

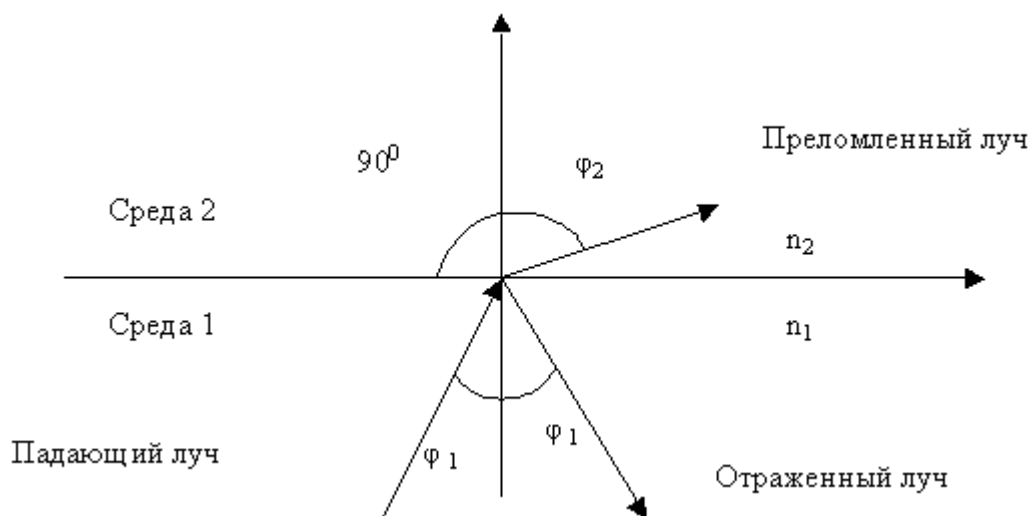


Рисунок 2.1 – Лучевая картина границе раздела оптических сред

Положив $\varphi_2=90^0$, имеем $\sin \varphi_2=1$, т.е. преломленный луч направлен вдоль границы раздела. Кроме того, его энергия имеет нулевое значение.

Обозначив в данном случае $\varphi_2=\varphi^*$, из (2.1) получаем:

$$\sin \varphi^* = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.2)$$

При угле падения φ^* луч в среду 2 не поступает и весь отражается в среду 1, т.е. происходит полное внутреннее отражение оптической энергии. Угол полного внутреннего отражения, определенный по (2.2), представляет собой критическую величину угла падения. Все лучи, которые имеют $\varphi < \varphi^* < 90^0$, также испытывают полное внутреннее отражение на границе раздела сердцевины и оболочки.

В соответствии с изложенным, апертурный угол ступенчатого волокна связан с углом φ^* , имеющим место на границе раздела сердцевины и оболочки.

Лучевая модель условий ввода оптической энергии в волокно представлена на рис. 2.2, где из всей совокупности лучей точечного источника, расположенного на оси световода, выделены траектории трех лучей.

Луч 1 имеет угол падения φ^* , поэтому при достижении границы раздела, часть его энергии выходит в оболочку и излучается из волокна. Таким же образом происходит и дальнейшее отражение этого луча. В результате переносимая им энергия на коротком расстоянии от начала волокна полностью высвечивается и, следовательно, не участвует в процессе распространения сигналов по волокну.

Луч 2 (и симметричный ему луч 2*) падает на границу раздела с углом, равным φ^* , и следовательно, испытывает полное внутреннее отражение.

Таким образом, энергия, переносимая этим лучом, полностью удерживается в сердцевине, и сигнал передается по волокну. В аналогичных условиях находятся все лучи, имеющие угол падения больше φ^* , в том числе луч 3 (и симметричный ему луч 3^*). Отсюда следует, что все лучи, находящиеся внутри кругового конуса в пределах Θ_a , распространяется по световоду, т.е. Θ_a является его апертурным углом.

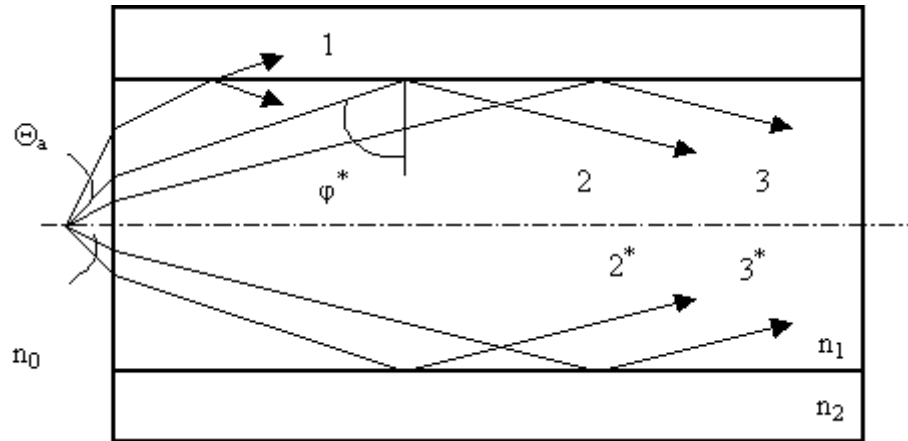


Рисунок 2.2 – Лучевая картина ввода в ступенчатое волокно

С использованием (2.1), (2.2) и геометрических соотношений рис 2.2, имеем:

$$\sin \Theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \quad (2.3)$$

Так как $n_1 - n_2 = \Delta n \ll n_1$, то $\Theta_a \ll 1$ и величина апертурного угла:

$$\Theta_a \cong \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \quad (2.4)$$

Согласно (2.3), числовая апертюра оптического волокна:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \quad (2.5)$$

Преобразуя (5), получаем:

$$NA = \sqrt{(n_1 + n_2) * (n_1 - n_2)} \approx \Delta n \cdot \sqrt{2 \cdot n_1}. \quad (2.6)$$

В кварцевых волокнах $n_1, n_2 = 1.45 \div 1.50$, поэтому можно записать:

$$NA \approx 1.7 * \Delta n, \quad (2.7)$$

где Δn - абсолютная величина разности коэффициентов преломления сердцевинны и оболочки волокна.

Таким образом, если известна величина апертюры, то можно легко рассчитать значение Δn и обратно.

В градиентных волокнах апертюрные свойства несколько сложнее; при смещении точечного источника с оси волокна величина апертюрного угла изменяется. Однако в целом оказывается возможным применять определенные выше апертюрные характеристики, используя в качестве величины n_1 значение коэффициента преломления на оси волокна.

Как видно из (2.4) - (2.7), числовая апертюра и апертюрный угол волокна тем больше, чем большую величину имеет разность коэффициентов преломления Δn . Для примера, взяв $\Delta n = 0.01$, с помощью (2.7) получаем $NA = 0.17$. Волокна, имеющие апертюру более 0.2, называются

высокоапертурными волокнами. Поскольку NA однозначно связано с Δn , то величина числовой апертуры волокна характеризует ряд его важных передаточных параметров, зависящих от разности коэффициентов преломления.

Чем больше числовая апертура, тем больше уширение импульсов из-за модовой дисперсии:

$$\Delta\tau_u = \frac{\Delta n}{C}, \text{ с/км}, \quad (2.8)$$

больше величина обобщенного параметра волокна:

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{\lambda} * NA, \quad (2.9)$$

больше количество направляемых волн:

$$N = \begin{cases} V^2/2, & \text{для ступенчатого волокна} \\ V^2/4, & \text{для градиентного волокна} \end{cases}, \quad (2.10)$$

меньше потери на изгибах:

$$\Delta a_{из} = \frac{d_c \cdot n_1}{0.23 \cdot R_{из} \cdot \Delta n}, \text{ дБ}. \quad (2.11)$$

С ростом апертуры уменьшаются потери энергии на вводе в волокно при использовании источников с широкой диаграммой направленности излучения.

В выражениях (2.8) – (2.11) использованы величины: $C=3 \cdot 10^5$ км/с, a – радиус сердцевинки в мкм, d_c и $R_{из}$ – диаметр сердцевинки и радиус изгиба волокна (берутся в одной и той же размерности, например, в мм).

Как следует из изложенного, высокоапертурные волокна обеспечивают сравнительно низкие потери на вводе с сравнительно мало чувствительны к изгибам. Однако они имеют сравнительно низкую пропускную способность за счет большой модовой дисперсии. Поэтому высокоапертурные волокна применяются для передачи оптических сигналов на короткие расстояния, в пределах помещения или объекта. В оптических кабелях, предназначенных для применения на сетях связи, используются низкоапертурные волокна.

В данной лабораторной работе используется принцип измерения числовой апертуры оптического волокна в дальне зоне, используя наиболее простой способ – косвенный: по результатам измерения апертурного угла. Апертурный угол ОВ можно измерять путем наблюдения распределения выходной мощности в дальней зоне. Структурная схема экспериментальной установки представлена на рис.2.3.

Числовую апертуру измеряют по схеме, представленной на рис. 2.3. В нее входит некогерентный осветитель в виде мощной лампы накаливания, с которого через объектив подается излучение на ОВ. С выхода ОВ поток света падает на экран матового стекла, на который нанесены масштабные метки.

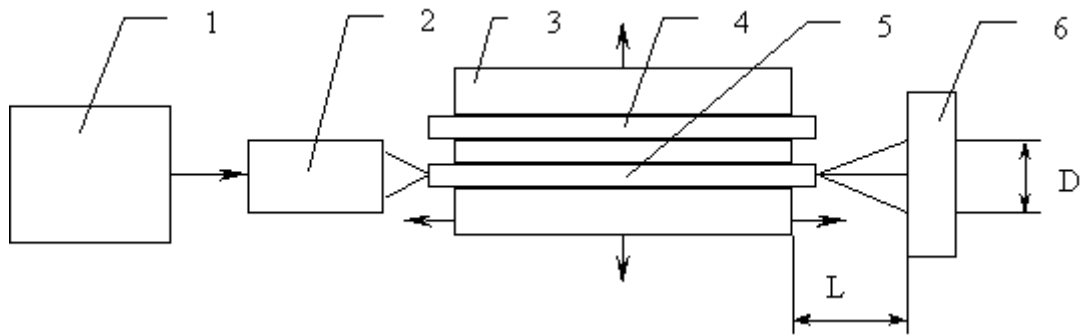


Рисунок 2.3 – Схема экспериментальной установки

На рисунке 2.3: 1 – источник питания оптической системы; 2 – оптическая система; 3 – подвижный стол; 4 – ОВ 2; 5 – ОВ 1; 6 – матовое стекло.

При определении апертуры измеряют диаметр светового пятна на экране D , после чего, вычисляют:

$$NA = \sin \Theta_a, \quad (2.12)$$

$$\Theta_a = \arctg \frac{D}{2 \cdot L}. \quad (2.13)$$

Рассмотрим принцип измерения числовой апертуры оптического волокна, обратившись к рисунку 2.3.

Оптическая система 2 состоит из лампы накаливания и линзы, формирующей световой пучок. Напряжение питания лампы накаливания подается со стабилизированного источника питания 1. Сформированный световой пучок подает на торец волокна 4, закрепленного на подвижном столе 3, с помощью которого можно менять оптические волокна, а также, фокусировать световой пучок на торец ОВ. Далее, световое излучение проходит по ОВ, и на выходе образует так называемый «конус рассеивания», который попадает на матовое стекло 5. На матовом стекле отображается световое пятно, диаметр (D) которого измеряют при помощи измерительной сетки, нанесенной на стекло. Подставляя в (2.12) и (2.13) измеренное значение диаметра (D) и известное расстояние (L), рассчитывается числовая апертура волокна.

Для точного измерения числовой апертуры ОВ используется фотодиод. При этом схема экспериментальной установки будет иметь вид, представленный на рис. 2.4.

Рассмотрим принцип измерения числовой апертуры оптического волокна, с помощью фотодиода, обратившись к рис. 2.4. В данном случае стойка с матовым стеклом заменяется на стойку с фотодиодом.

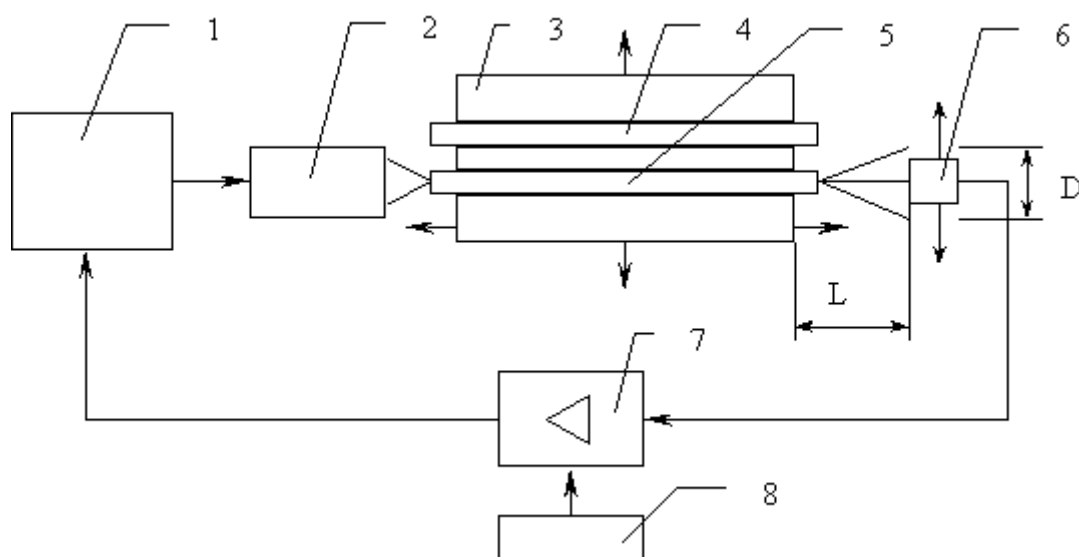


Рисунок 2.4 – Схема экспериментальной установки для точечного измерения NA

На рисунке 2.4: 1 – источник питания оптической системы; 2 – оптическая система; 3 – подвижный стол; 4 – ОБ 2; 5 – ОБ 1; 6 – матовое стекло; 7 – усилитель; 8 – источник питания усилителя.

Фотодиод – полупроводниковый прибор, реагирующий на освещенность. Сигнал с фотодиода 5 поступает на усилитель 6, питающийся от источника 7 двуполярного напряжения 15В. Далее, усиленный сигнал поступает на стрелочный индикатор, установленный в корпусе источника питания 1, регистрирующий границы пятна при сканировании фотодиодом по диаметру пятна. Измерение диаметра пятна производится по уровню половинной мощности освещенности. Перемещение фотодиода производится при помощи микрометрического винта с ценой деления 10 мкм. Разность между показаниями микрометрического винта является измеренным диаметром светового пятна (D). Измеренное значение (D) и известное (L) подставляют в (2.12) и (2.13) и определяют числовую апертуру волокна.

Обработку экспериментальных данных проводят следующим образом:

Объектом обработки являются значения числовой апертуры, которые составляют ряд значений: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 .

Выборочное среднее:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.14)$$

где $n=5$ – число измерений,

X_i – значение числовой апертуры.

Несмещенная оценка выборочной дисперсии:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2. \quad (2.15)$$

Доверительный интервал:

$$\bar{X} - \frac{t_p \cdot S}{\sqrt{n-1}} < \mu < \bar{X} + \frac{t_p \cdot S}{\sqrt{n-1}}, \quad (2.16)$$

где t_p – критерий Стьюдента.

В данном случае, при числе экспериментов $n=5$, $t_p=2.78$.
Погрешность измерений:

$$\sigma = \left(\frac{t_p \cdot S}{\bar{X} \cdot \sqrt{n-1}} \right) \cdot 100\% . \quad (2.17)$$

2.2 Конструктивные параметры оптических кабелей

К конструктивным параметрам оптических кабелей относятся такие параметры как: строительная длина, масса кабеля, число ОВ в кабеле, и так далее. В данной лабораторной работе предлагается измерить конструктивные параметры шести ОК, закрепленных на лабораторном стенде.

Измеряемые параметры для каждого кабеля:

ОК№1:

- а – диаметр центрального силового элемента (ЦСЭ);
- б – диаметр полиэтиленового (ПЭ) покрытия ЦСЭ;
- в – диаметр оптического модуля (ОМ);
- г – наружный диаметр кабеля.

ОК№2:

- а – диаметр ЦСЭ;
- б – диаметр ОМ;
- в – диаметр защитной ПЭ оболочки;
- г – толщина оцинкованной стальной ленты;
- д – наружный диаметр кабеля.

ОК№3:

- а – диаметр ЦСЭ;
- б – диаметр ОМ;
- в – толщина алюминиевой ленты;
- г – диаметр защитной ПЭ оболочки;
- д – диаметр армирующей проволоки;
- е – толщина армирующей ленты;
- ж – наружный диаметр кабеля.

ОК№4:

- а – диаметр ЦСЭ;
- б – диаметр ОМ;
- в – толщина алюминиевой ленты;
- г – диаметр защитной ПЭ оболочки;

д – толщина армирующей ленты;
 е – наружный диаметр кабеля;
 ж – диаметр стальной проволоки силового элемента;
 з – наружный диаметр силового элемента.

ОК№5:

а – диаметр ЦСЭ;
 б – диаметр профильного модуля;
 в – наружный диаметр кабеля;
 г – диаметр стальной проволоки силового элемента;
 д – наружный диаметр силового элемента.

ОК№6:

а – диаметр стальной проволоки, составляющей центральный силовой модуль;
 б – диаметр центрального силового модуля;
 в – диаметр ОМ;
 г – диаметр защитной ПЭ оболочки;
 д – толщина гофрированной ленты;
 е – наружный диаметр кабеля.

3. Порядок выполнения работы

- 1). Ознакомится с различными видами конструкций оптических кабелей.
- 2). Поместить стенд с исследуемыми кабелями под микроскоп.
- 3). Измерить диаметр ОВ.
- 4). С помощью штангенциркуля произвести измерения конструктивных параметров оптических кабелей, описанных в п. 2.2.
- 5). Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Конструктивные параметры оптических кабелей

	а	б	в	г	д	е	ж	з
ОК№1					-	-	-	-
ОК№2						-	-	-
ОК№3								-
ОК№4								
ОК№5						-	-	-
ОК№6							-	-

б). Ознакомится с понятиями об апертурном угле и числовой апертуре оптического волокна.

7). Собрать установку для измерения числовой апертуры по схеме, приведенной на рис. 2.3. Включить источник питания оптической системы.

8). Установить ОВ1 и поместить торец ОВ в фокус оптической системы

и на экране матового стекла добиться получения светового пятна с четко различаемыми границами.

9). Собрать установку для измерения числовой апертуры по схеме, приведенной на рис. 2.4.

10). Включить источник питания усилителя. Тумблер «12В/Измерение» блока питания 1 установить в положение «Измерение».

11). С помощью микрометрического винта перемещать фотодиод вдоль диаметра светового пятна. Добиться максимального значения на индикаторе (прибор 1).

12). Измерить границы светового пятна по уровню половинной освещенности (то есть по половине максимального показания индикатора). Записать показания микрометрического винта.

13). Вычислить разность показаний микрометрического винта (D).

Таблица 3.2 – Результаты эксперимента

Номер опыта		1	2	3	4	5
ОВ №1	L, мм					
	D, мм					
	NA					
ОВ №2	L, мм					
	D, мм					
	NA					

14). Измерить расстояние между торцом ОВ и фотодиодом (L).

15). Вычислить числовую апертуру ОВ по (2.12) и (2.13).

16). Вычислить числовую апертуру ОВ по (2.12) и (2.13).

17). Данные, полученные в результате эксперимента, занести в таблицу 3.2.

18). Провести обработку экспериментальных данных в соответствии с (2.14) – (2.17).

19). Построить зависимость диаметра светового пятна от расстояния между торцом ОВ и фотодиодом.

4. Содержание отчета

4.1 Схемы экспериментальных установок и краткое описание методики измерений.

4.2 Таблица измеренных значений конструктивных параметров оптических кабелей.

4.3 Таблица измеренных значений числовой апертуры оптического волокна.

4.4 График зависимости диаметра светового пятна от расстояния между торцом ОВ и фотодиодом.

4.5 Расчет погрешности измерения числовой апертуры.

4.6 Выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

5.1 Угол полного внутреннего отражения и его связь с процессами распространения электромагнитных колебаний по оптическим волокнам.

5.2 Общее строение оптических волокон, используемые материалы для оптических волокон.

5.3 Ступенчатые и градиентные оптические волокна.

5.4 Пояснение понятия апертурного угла и числовой апертуры с использованием лучевой модели распространения по оптическому волокну.

5.5 Высокоапертурные и низкоапертурные волокна. Связь значения числовой апертуры с основными параметрами оптического волокна.

5.6 Методика измерений и расчетов апертуры, проводимых в лабораторной работе.

5.7 Примеры конструкций оптических кабелей, используемые материалы для оптических кабелей.

Список использованных источников

1. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи. Под редакцией Б.В. Попова, М: Р и С, 1995 – 200 с.

2. Введение в технику измерений оптико-физических параметров световых систем. Под редакцией А.Ф. Котюка, М: Р и С, 1987 224.

3. Е.С. Коваленко, О.Н. Киселев, Г.С. Шарыгин. Основы научных исследований, Томск 1989 –193 с.

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ В ОВ

Цель работы: исследование эффективности ввода излучения от лазерного источника света в оптическое волокно.

1. Введение

Основой ВОСП являются оптическое волокно (ОВ) и оптоэлектронные компоненты для передачи сигналов – лазерные и светоизлучающие диоды; а в качестве приемных устройств – pin- и ЛФД- фотодиоды.

Эффективность ввода и вывода излучения зависит как от конструкции ОВ, так и от конструкции приемника и передатчика. В первом приближении эффективность ввода пропорциональна квадрату числовой апертуры. Для снижения потерь на вводе используют различные методы. Например, согласование оптических пучков с помощью линз и т.д.

2. Подготовка к работе

В ходе подготовки к работе необходимо:

- Изучить теоретические сведения [2,3]
- Рассчитать числовую апертуру волокна
- Определить угол ввода излучения θ и критический угол $\theta_{кр}$
- Найти эффективность ввода излучения η и построить графики $\eta=F(\Delta z)$, и $\eta =F(\Delta x)$, где Δz - осевое смещение, Δx - горизонтальное смещение.

Данные макета:

- Длина волны источника излучения - 0,63 мкм;
- Фокусное расстояние микролинзы - 6 мм;
- Профиль показателя преломления ОВ - ступенчатый;
- Диаметр сердцевины волокна - 50 мкм;
- Показатель преломления сердцевины - 1,46;
- Показатель преломления оболочки - 1,45.

3. Теоретические сведения

Излучение лазера с диаметром пучка $d_{сд}$ вводится в волокно с помощью микролинзы с фокусным расстоянием F . Представим фокальное пятно, формируемое этой микролинзой как вторичный источник L , излучающий с постоянной мощностью в пределах конуса лучей с углом при вершине α (угол между осью конуса и крайним лучом).

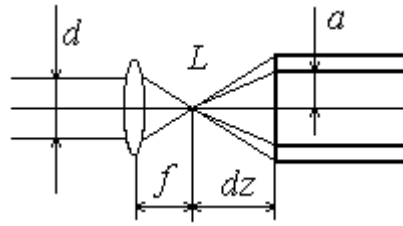


Рисунок 3.1

Угол θ , как видно из рисунка 3.1, зависит от фокусного расстояния и диаметра пучка по закону:

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{d}{2f} \quad (3.1)$$

Если оси светового конуса и ОВ совпадают, а фокальное пятно смещено на расстояние Δz относительно входного торца волокна, то в плоскости входного торца источником будет освещаться круг диаметром $d_{\text{смещения}}$.

Однако следует иметь в виду, что количество введенной в волокно оптической мощности зависит от его апертуры NA , которая определяется как:

$$NA = \sin \theta_{\text{на}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3.2)$$

Волокно 'захватывает' только те лучи, которые заключены внутри конуса с максимальным углом $\theta_{\text{кр}}$, определяемым полным внутренним отражением на границе сердцевина - оболочка. Поэтому для ввода в ОВ оптической мощности излучателя (без учета френелевских потерь на отражение) должно выполняться следующее условие:

$$\theta < \theta_{\text{кр}} \quad (3.3)$$

Подставив в (3.3) выражение для θ и $\theta_{\text{кр}}$ из (3.1) и (3.2), получаем условие максимальной эффективности возбуждения волокна:

$$\operatorname{arctg} \frac{d_{\text{св}}}{2F} \leq \arcsin NA \quad (3.4)$$

Зная, что эффективностью η называется отношение оптической мощности введенной в волокно ($P_{\text{ов}}$) к излученной светодиодом, либо лазером ($P_{\text{изл}}$):

$$\eta = \frac{P_{\text{ов}}}{P_{\text{изл}}}$$

Мы видим, что η изменяется в пределах от 0 до 1.

Из рисунка 3.1 ясно, что источником излучения является вторичный источник света L, мощности которого $P_{\text{изл}}$ соответствует максимальное напряжение на выходе фотодиода U_{max} . Величина мощности $P_{\text{ов}}$ зависит от осевого смещения Δz , поперечного и углового смещения источника света. Этой мощности соответствует напряжение U на выходе фотодиода. Таким образом, эффективности η будет соответствовать эффективность η_1 :

$$\eta_1 = \frac{P}{P_{\text{max}}} = \left(\frac{U}{U_{\text{max}}} \right)^2,$$

где P и P_{max} - мощность электрических сигналов в нагрузке фотодиода.

Для определения эффективности ввода излучения в зависимости от смещения Δz следует рассмотреть два случая:

$$1. \theta < \theta_{кр} \quad \text{в этом случае}$$

$$\eta = 1, \quad \text{если } \Delta z \leq \frac{2a}{\operatorname{tg} \theta} \quad (3.5)$$

$$\eta = \frac{(2a)^2}{(\Delta z)^2 \operatorname{tg}^2 \theta} \quad \text{если } \Delta z > \frac{2a}{\operatorname{tg} \theta}$$

$$2. \theta > \theta_{кр} \quad \text{в этом случае}$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}^2 \theta_{кр}}{\operatorname{tg}^2 \theta}, \quad \text{если } \Delta z \leq \frac{2a}{\operatorname{tg} \theta} \quad (3.6)$$

$$\eta = \frac{(2a)^2}{(\Delta z)^2 \operatorname{tg}^2 \theta} \quad \text{если } \Delta z > \frac{2a}{\operatorname{tg} \theta}$$

где a - радиус сердцевины волокна.

Кроме продольного рассогласования, существует влияние на эффективность ввода излучения оказывает поперечное и угловое рассогласование волокна и источника света.

Если гауссовый световой пучок смещен относительно волокна на величину Δx , то эффективность возбуждения основной моды описывается выражением:

$$\eta = 4 \frac{r_c^2 \rho_c^2}{(r_c^2 + \rho_c^2)^2} e^{-\frac{\Delta x^2}{r_c^2 + \rho_c^2}} \quad (3.7)$$

где ρ_c и r_c - размеры светового пучка и модового пятна.

При падении светового пучка под углом θ_i к оси волокна эффективность возбуждения основной моды равна:

$$\eta = 4 \frac{r_c^2 \rho_c^2}{(r_c^2 + \rho_c^2)^2} e^{-\frac{(k \cdot \theta \cdot r_c \rho_c)^2}{r_c^2 + \rho_c^2}}, \quad (3.8)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число.

4. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки для исследования эффективности ввода излучения в волокно изображена на рисунке 4.1.

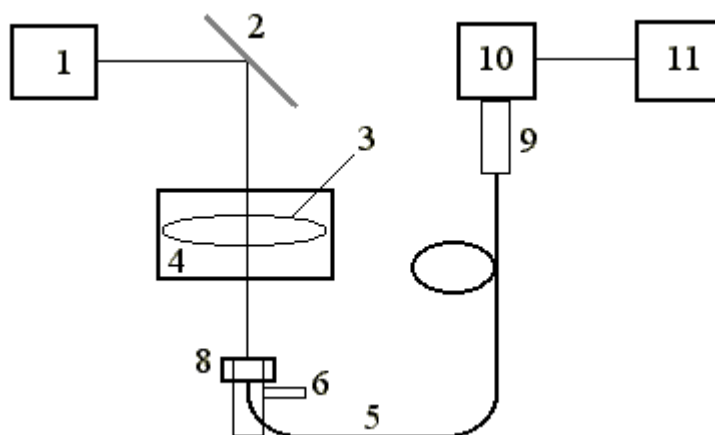


Рисунок 4.1 - Схема лабораторной установки

В качестве источника излучения используется полупроводниковый лазер 1, работающий в непрерывном режиме на длине волны 630 нм. Световой луч отражается от зеркала 2 и фокусируется микролинзой 3 на входном торце оптического волокна 5.

Микролинза 3 закреплена в угловом позиционере 4, что позволяет смещать фокальное пятно микролинзы по торцу волокна путем изменения угла ввода излучения в ОВ.

Смещение торца волокна 5 относительно фокального пятна в горизонтальном направлении и вдоль оптической оси ОВ осуществляется микрометрическими винтами 6, 7 двухкоординатного позиционера 8, на котором закреплен входной торец волокна.

Оптическое волокно 5, с помощью оптического разъема 9 соединяется с фотодиодом 10, который, в свою очередь, детектирует оптический сигнал. Измерение электрического сигнала с фотодиода 10 осуществляется цифровым вольтметром 11.

5. Методические указания к работе

1. Выполнить расчетное задание (см. параграф 3)

2. С помощью микровинтов (МВ) 6, 7 линейного позиционера добиться эффективного ввода излучения в волокно. Эффективность ввода излучения в волокно определяется по показанию цифрового вольтметра 12. Оптимальный ввод соответствует максимальному значению показания вольтметра.

3. Измерить зависимость эффективности ввода от расстояния Δz торца волокна до вторичного источника L (рисунок 3.1). Для этого микровинтом 7 изменять Δz через 50 мкм и фиксировать показания вольтметра U_z . Вычислить эффективность:

$$\eta = \left(\frac{U_z}{U_{\max}} \right)^2,$$

построить график зависимости $\eta = F(\Delta z)$.

Внимание! При вращении микровинта 7 следить за тем, чтобы ОВ не касалось линзы.

4. Измерить зависимость эффективности ввода от горизонтального смещения Δx торца волокна. Для этого микровинтом 6 изменять Δx через 10 мкм и фиксировать показания вольтметра U_z . Вычислить эффективность:

$$\eta = \left(\frac{U_z}{U_{\max}} \right)^2,$$

построить график зависимости $\eta = F(\Delta x)$.

6. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен в соответствии со стандартом ГУСУР и должен содержать:

1. Схему лабораторной установки
2. Результаты расчетного задания
3. Результаты проведенных измерений
4. Графики функций
5. Сравнение экспериментальных данных с расчетными
6. Выводы по лабораторной работе и анализ полученных результатов

7. Контрольные вопросы

1. К какому типу рассогласования наиболее критична эффективность ввода?
2. Чем определяется числовая апертура оптического волокна?
3. Какими параметрами источника излучения определяется эффективность ввода излучения в ОВ?
4. Меняется ли эффективность ввода излучения в оптическое волокно от значения его апертуры, и если да то в какой степени?

Список использованных источников

1. Оптические системы связи: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1989 - 504с.
2. Ионов А.Д. Волоконно-Оптические Линии Передачи: учебное пособие -Новосибирск: СибГУТИ, 1999 - 132с.
3. Л.М. Андрушко, И.И. Гроднев, И.П.Панфилов Волоконно-оптические линии связи: учебное пособие для вузов - М.: Радио и связь, 1985,135с.
4. А.Б. Семенов Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи М.: КомпьютерПресс, 1998 - 302с.

Учебное издание

В.И. Ефанов

Оптические направляющие системы и пассивные компоненты ВОЛС

Методические указания

к лабораторным работам по дисциплине «Оптические линии связи
и пассивные компоненты ВОЛС» для студентов направлений
подготовки Радиотехника – 210300, Телекоммуникации - 210400

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. -----
Тираж --- экз. Заказ -----.

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники.
634050, Томск, пр. Ленина, 40.
Тел. (3822) 533018