

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧ и КР)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ  
И ПОТЕРЬ НА СТЫКАХ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА**

Методические указания к лабораторной работе  
Направление подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и  
системы связи». Магистерская программа «Оптические системы связи и  
обработки информации»

Томск 2018

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧ и КР)

Утверждаю

Зав. каф. СВЧ и КР

\_\_\_\_\_ С.Н. Шарангович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ  
И ПОТЕРЬ НА СТЫКАХ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА**

Методические указания к лабораторной работе

Направление подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и  
системы связи». Магистерская программа «Оптические системы связи и  
обработки информации»

Разработчики:

проф. каф. СВЧ и КР

\_\_\_\_\_ А.Е. Мандель

доц. каф. СВЧ и КР

\_\_\_\_\_ А.С. Перин

Томск 2018

## Содержание

1. Введение .....	3
2. Теоретическая часть .....	3
2.1. Потери при вводе излучения в оптическое волокно .....	3
2.2. Потери на соединениях оптических волокон .....	7
2.3. Полимерные оптические волокна .....	9
3. Описание экспериментальной установки .....	10
4. Задание к лабораторной работе .....	11
5. Контрольные вопросы .....	12
Список использованных источников .....	13

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА И ПОТЕРЬ НА СТЫКАХ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Цель работы: исследование эффективности ввода излучения в оптическое волокно и определение величины потерь на стыках ОВ.

## 1. Введение

Потери мощности в волоконно-оптической линии связи являются одной из самых важных ее характеристик. Ослабление мощности, часто называемое затуханием, возникает при прохождении световой волны по волоконно-оптическому тракту непосредственно в оптическом волокне, а также в местах ввода (вывода) излучения и на стыках строительных длин оптического кабеля. Затухание имеет ряд негативных последствий для параметров системы, включая снижение скорости передачи информации, дальности связи, эффективности и пропускной способности всей системы в целом.

## 2. Теоретическая часть

### 2.1. Потери при вводе излучения в оптическое волокно

Важнейшее место в проблеме согласования различных оптических структур занимает вопрос эффективного ввода излучения источников в оптическое волокно.

Классификация потерь при вводе излучения в ОВ. Потери энергии в оптическом тракте могут быть сгруппированы следующим образом:

- 1) *Френелевские потери* на отражение от торцов ВС и поверхностей коллимирующей линзы. Они зависят от угла падения излучения на границу раздела сред и относительного показателя преломления элементов оптической системы.
- 2) *Потери при поглощении и рассеянии в ОВ*, в том числе вызванные нелинейными эффектами; зависят от материала ОВ и мощности излучения.
- 3) *Потери при согласовании пучка лазера с оптическим волокном*, в том числе и потери, вызванные разъюстировками. Определяются геометрическими характеристиками ОВ и конструкцией схемы согласования.

**Источники излучения.** Как известно, наиболее подходящими источниками излучения для ВОЛС являются полупроводниковые светоизлучающие диоды (СИД) и полупроводниковые лазеры. По спектральным характеристикам, диаграмме направленности излучения и полосе частот модуляции СИД значительно уступает лазерам. Тем не менее, благодаря относительно низкой стоимости, простоте изготовления, высокой надежности, более слабой, чем у лазеров, зависимости мощности излучения от температуры они находят широкое применение в локальных линиях связи небольшой протяженности со скоростью передачи информации порядка 100 Мбит/с. Другим типом источника,

используемого в ВОЛС, являются лазерные диоды (ЛД). Спектр излучения ЛД, в отличие от сплошного спектра СИД (см. рис. 2.1), представлен дискретным набором мод резонатора Фабри-Перо (РФП).

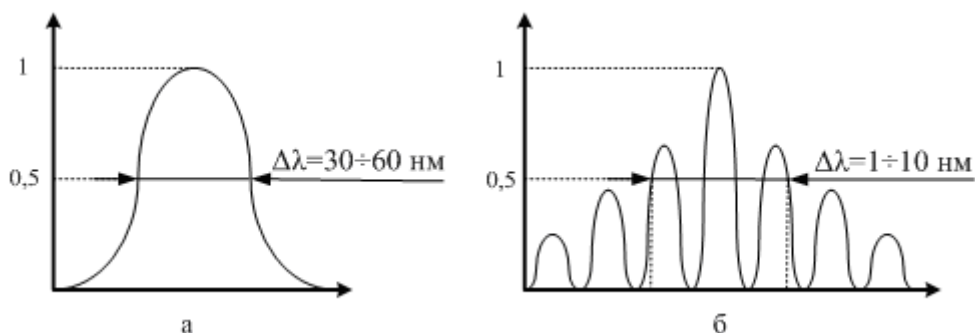


Рисунок 2.1 – спектры СИД (а) и ЛД с РФП (б)

Устройства ввода излучения должны обеспечивать передачу максимально возможной мощности от источников излучения в оптическое волокно. Конструкция указанных устройств определяется характеристиками, как излучателей, так и ОВ.

При соединении источника излучения с многомодовым волокном обычно имеют место два вида потерь, которые вызваны несовпадением числовых апертур источника излучения и ОВ. Несовпадение областей имеет место, когда область, освещенная источником, больше сердцевины волокна. При этом согласование достигается минимизацией расстояний между источником и волокном (соединение встык), используя тот факт, что площадь источника меньше площади сердцевины. В тех же случаях, когда интервал между источником и входным торцом волокна неизбежен, для ввода излучения могут быть использованы линзы. Уменьшение размера источника при помощи линзы может привести к возникновению проблем, связанных с числовой апертурой излучателя. Когда освещенная область торца ОВ меньше его сердцевины, имеют место потери вследствие несовпадения числовой апертуры, потому что источник обычно излучает в более широком конусе, чем принимающий конус волокна, Волокно со ступенчато-изменяющимся показателем преломления и градиентное волокно имеют различные характеристики восприятия излучения. Так, входная угловая апертура градиентного волокна определяется смещением от центра сердцевины, в то время как в ступенчатых ОВ она постоянна. В этой связи ниже отдельно анализируются эффективности соединений источников излучения с одномодовым и многомодовым волокном.

#### **Эффективность ввода излучения в ступенчатое и градиентное МОВ.**

Эффективность ввода излучения СИД в ступенчатое многомодовое ОВ определяется как [1]

$$\eta = NA^2 \text{ при } r_s \leq a;$$

$$\eta = \left(\frac{a}{r_s}\right)^2 \cdot NA^2 \text{ при } r_s > a, \quad (2.1)$$

где  $a$  – радиус сердцевины ОВ,  $r_s$  – радиус источника.

С типовым показателем  $NA = 0,3$  для ступенчатого волокна соединение встык между СИД и этим волокном дает максимальную эффективность соединения, равную  $0,3 \cdot 0,3 \cdot 100\% = 9\%$ .

Эффективность ввода излучения СИД в градиентном ОВ равна [1]

$$\eta = \begin{cases} \left(1 - \frac{r_s^2}{2a^2}\right) \cdot NA^2 & \text{при } r_s \leq a; \\ \left(\frac{a^2}{2r_s^2}\right) \cdot NA^2 & \text{при } r_s > a. \end{cases} \quad (2.2)$$

В этом случае в ОВ может быть введено меньшее количество мощности, причем, если диаметр источника равен диаметру сердцевины волокна, может быть достигнуто только 50% эффективности ввода в ступенчатое ОВ, в противном случае уровень введенной мощности будет и того меньше. Следует подчеркнуть, что рассмотренный режим согласования вызывает возбуждение в волокне всех возможных мод.

### **Эффективность ввода излучения ЛД в одномодовом ОВ.**

Эффективность возбуждения ООВ определяется отношением мощности излучения, переносимого основной модой, к мощности лазерного пучка, прошедшего через границу раздела «воздух – ОВ». Эффективность возбуждения ООВ  $\eta$  для соосного пучка определяется как [1]:

$$\eta = \frac{4}{\left(\frac{\rho}{r_s} + \frac{r_s}{\rho}\right)^2 + \sigma^2 \left(\frac{r_s}{\rho}\right)^2}, \quad (2.3)$$

где  $\sigma$  – параметр пучка, характеризующий его волновой фронт (в перетяжке волновой фронт плоский, поэтому  $\sigma = 0$ );  $\rho$  – радиус модового пятна;  $r_s$  – радиус источника.

Исследуем возможность повышение эффективности ввода излучения в волокно при использовании линз. Использование линзы, позволяющей сконцентрировать световой луч, эквивалентно увеличению числовой апертуры волокна до некоторого  $NA_{\max}$  для ступенчатого волокна на границе сердцевины и оболочки ОВ. Несложно показать, что закругление торцов ОВ и придание им конусообразной формы также позволяет увеличить значение числовой апертуры волокна. В первом приближении увеличенная апертура равна [1]:

$$NA_{\max} = NA + \frac{(n_1 - 1) \cdot 4a}{r_f}, \quad (2.4)$$

где  $NA$  – числовая апертура (плоского) ОВ со ступенчатым ППП,  $r_f$  – радиус изгиба скругленного конца волокна.

Коллимированный пучок источника с радиусом  $r_s$  может быть сфокусирован на входном торце волокна при помощи линзы с радиусом, равным радиусу пучка, и фокусным расстоянием [2] (см. рис. 2.2)

$$f \geq r_s \cdot \frac{\sqrt{(n_0/n_1)^2 - \sin^2(\theta_c)}}{\sin \theta_c} \approx \frac{n_0 \cdot r_s}{n_1 \cdot \theta_c}, \quad (2.5)$$

где  $n_0$  – показатель преломления воздуха,  $\theta_c = \arccos(n_2/n_1)$  – критический угол скольжения ОВ.

Диаметр пучка на торце волокна определяется следующим образом [3]

$$d_n = 1,22 \frac{\lambda \cdot f}{D}, \quad (2.6)$$

где  $\lambda$  – длина волны излучения,  $D$  – диаметр линзы.

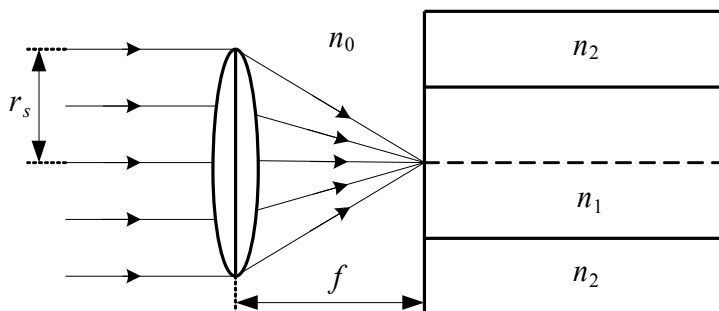


Рисунок 2.2 – Линза, фокусирующая на торец ОВ коллимированный пучок

Более детальный анализ согласования источника излучения с одномодовым волокном может быть проведен методами волновой оптики. Эффективность ввода излучения, определяемая в этом случае, равна [1]

$$\eta = \eta_0 \cdot \exp \left[ -\eta_0 \cdot \frac{\delta^2}{2} \cdot \left( \frac{1}{\rho^2} + \frac{1}{\rho_b^2} \right) \right], \quad (2.7)$$

$$\eta_0 = \frac{4\rho^2 \cdot \rho_b^2}{(\rho^2 + \rho_b^2)^2 + \left( \lambda \cdot \frac{S}{\pi} \right)^2};$$

где  $S$  – осевое смещение ОВ относительно луча;  $\delta$  – радиальное смещение ОВ относительно луча;  $\rho$  и  $\rho_b$  – радиусы модовых пятен ОВ и сужения лазерного луча (определение справедливо для уровня мощности, равного  $1/a^2$  от максимального значения).

Известной проблемой соединения лазерного диода с ООВ является наличие некоторого расстояния между ними – продольных интервалов, а также тот факт, что лазерный луч расширяется в большей степени, чем апертурный угол волокна. Решение этих проблем было найдено путем придания торцу волокна конусообразной формы, что уменьшает сужение луча ОВ до  $\rho_b$  и позволяет создать оптимальный интервал между лазером и волокном.

Типовое значение эффективности ввода излучения ЛД в ООВ с конусообразным торцом составляет приблизительно 50%, причем наличие конуса ослабляет отражение от конца волокна на объемный резонатор лазера, тем самым, доводя до минимума шумы оптической обратной связи. Однако любые отражения, имеющие место вдоль волокна, также очень эффективно воздействует на объемный резонатор лазера, и ухудшают его свойства.

## 2.2. Потери на соединениях оптических волокон

Важной проблемой передачи информации по ВОЛС является обеспечение надежного соединения ОВ. Оптический соединитель – это устройство, предназначенное для соединения различных компонентов волоконно-оптического линейного тракта в местах ввода и вывода излучения. Такими местами являются: оптические соединения оптоэлектронных модулей (приемников и передатчиков) с волокном кабеля, соединения отрезков оптических кабелей между собой, а также другими компонентами. Соединители ОВ применяются в сетях всех типов, портах входа и выхода оборудования передачи, а также могут использоваться для подключения тестового и измерительного оборудования.

**Классификация соединителей ОВ.** Различают неразъемные и разъемные соединители.

Неразъемные соединители (*сростки*) допускают только однократное оптическое соединение и используются в местах постоянного монтажа кабельных систем большой протяженности (например, сетей связи общего пользования).

Разъемные соединители (*коннекторы*) допускают многократные соединения (разъединения). Они предназначены для обеспечения разъемного подключения соединительных и оконечных шнуров к ОВ, к коммутационному оборудованию в кроссовых и информационных розетках рабочих мест.

Промежуточное положение занимают соединения типа механического сплайса. Это простое в использовании устройство для быстрой стыковки обнаженных волокон посредством специальных механических зажимов. Используется как для одноразового, так и для многократного использования.

**Разъемные соединители.** Номенклатура стандартных соединителей достаточно велика: Biconic, B4, D-hole FC, FC, SC, MIC (FDDI), ESCON, SMA, Лист-Х и другие. Наиболее широкое распространение получили соединители SC, ST, FC (см. таблица 2.1). Общие тенденции говорят о том, что в будущем будет преобладать соединитель SC.

**Неразъемные соединители.** Существуют два метода неразъемного соединения ОВ:

- 1) *Сварка плавлением* (соединение предварительно съюстированного волокна методом плавления);
- 2) *Механический метод* (соединение волокна, при котором юстировка его осуществляется элементами сростка) [4].

Таблица 2.1 Основные параметры оптических коннекторов

Тип разъема	Фиксатор	Среднее затухание на 1300 нм, дБ	
		многомодовый	одномодовый
FC	накидная гайка	0,2	0,3
SC	защелка	0,2	0,25
ST	байонетный	0,25	0,3





Рисунок 2.3 – Разъемные соединители FC (а), SC (б) и ST (в)

**Сварное соединение ОВ.** Сварка создает неразрывное соединение и поэтому обеспечивает наилучшие характеристики по вносимым и обратным потерям по сравнению с разъемным соединением или механическим сплайсом. Как правило, сварка используется в местах соединения участков оптических кабелей при их пролегании вне зданий и в местах оконцевания кабелей внутри зданий. При наружном соединении места сварки защищаются герметичными муфтами. Если же сварные соединения выполнены внутри здания, они помещаются в специальные сплайс-боксы.

Сварка волокон производится с помощью автоматизированных сварочных аппаратов, осуществляющих не только сварку волокон, но и оценку величины потерь в месте соединения волокон. Юстировка и оценка величины потерь в месте соединения волокон производится по смещению сердцевин волокон, что позволяет создавать сварные соединения со средними потерями порядка 0,02 дБ. Эта величина сравнима с точностью измерения потерь в сварных соединениях (~ 0,01 дБ) как с помощью рефлектометров, так и с помощью мультиметров, то есть можно полагать, что в лабораторных условиях волокна свариваются практически без потерь.

Как показывает практика, три параметра ОВ оказывают наибольшее влияние на характеристики сростка: концентричность сечений сердцевин и оболочки, допуск на диаметр оболочки и собственный изгиб волокна.

**Механическое соединение ОВ.** По мере расширения применения оптических волокон в сетях PON, и в частности в концепции FTTx, возрастает интерес к механическому сплайсу, поскольку в этом случае требуются, как правило, малогабаритные и недорогие инструменты для прокладки.

Механическое соединение ОВ включает следующие основные элементы: поверхность для юстировки торцов соединяемых волокон; фиксатор для удержания волокон в положении юстировки; материал для согласования, имеющий требуемый показатель преломления, который располагают между торцами соединяемых волокон.

Величина затухания сплайса, как правило, менее 0,25 дБ.

**Потери на стыке кварцевых ОВ.** Важнейшей характеристикой любой стыковой неоднородности являются вносимые потери. При радиальном смещении потери на стыке определяются из оценочной формулы

$$a_{\delta} = 10 \lg_{\frac{\mu}{\eta}} \frac{d}{d - \delta} \frac{\mu}{\eta}, \quad (2.8)$$

где  $d$  – диаметр сердцевин ОВ;  $\delta$  – радиальное смещение ОВ.

При угловом смещении волокон потери на стыке определяются по

оценочной формуле [5]:

$$\alpha_{\theta} = 10 \lg \left( \frac{\theta_A}{\theta_A - \theta} \right), \quad (2.9)$$

где  $\theta_A$  – апертурный угол волокна;  $\theta$  – угловое смещение ОВ.

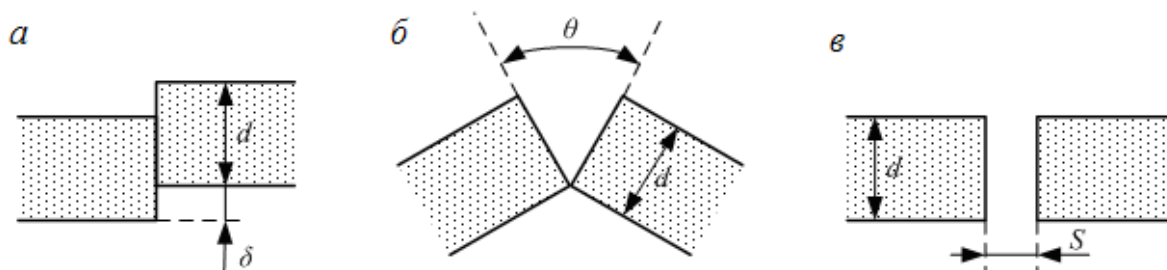


Рисунок 2.4 – Радиальное (а), угловое (б) и осевое (в) смещение на стыке ОВ

Потери при осевом смещении стыкуемых волокон оцениваются как [5]

$$\alpha_s = 10 \lg \left( \frac{2d}{2d - S \cdot \operatorname{tg}(\theta_A)} \right), \quad (2.10)$$

где  $S$  – осевое смещение ОВ.

### 2.3. Полимерные оптические волокна

Полимерные оптические волокна – ПОВ (POF – Plastic Optical Fiber) – также как и кварцевые ОВ состоят из сердцевины и оболочки. Сердцевина ПОВ выполняется из полиметилакрилата, оболочка – из углеродного полимера.

Первые полимерные волокна имели сердечник с диаметром 980 мкм при толщине оболочки 20 мкм, показатель преломления материала сердцевины

$n_1 = 1,492$ , оболочки –  $n_2 = 1,417$ , числовую апертуру  $NA = 0,47$ . В соответствии с международным стандартом IEC существует четыре типа пластиковых ОВ: А4а, А4б, А4с и А4д, которые используются при построении кабельных систем с дальностью передачи до 100 м (см. таблицу 2.2).

Таблица 2.2 Типы полимерных ОВ

Параметр	Типы ПОВ			
	А4а	А4б	А4с	А4д
Диаметр оболочки, мкм	1000 ± 60	750 ± 45	500 ± 30	1000±60
Диаметр защитного покрытия, мм	2,2 ± 0,1	1,5 ± 0,1	2,2 ± 0,1	2,2 ± 0,1
Затухание ( $\lambda = 650$ нм), дБ/км	≤ 40			
Полоса пропускания ( $\lambda = 650$ нм), МГц·100 м	≥ 10	≥ 5	≥ 100	
Числовая апертура	0,5 ± 0,15		0,3±0,05	

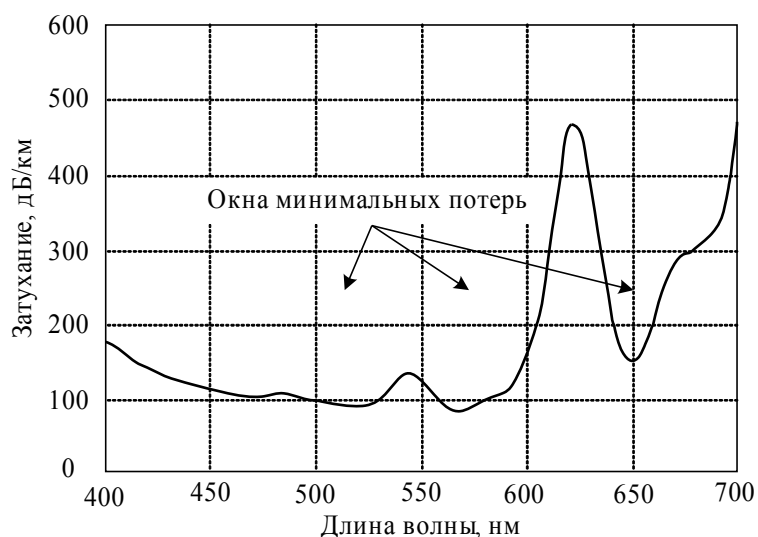


Рисунок 2.5 – Спектр потерь в ПОВ

Новые типы полимерных ОВ в десятки раз дешевле кварцевых. Основной недостаток полимерных волокон – весьма большой коэффициент затухания. Однако этот недостаток для абонентских участков протяженностью до  $2 \div 3$  км не столь существенен, поскольку затухание участка  $16 \div 24$  дБ перекрывается современным оборудованием. Наряду с низкой стоимостью к достоинствам полимерных волокон можно отнести большой диаметр сердцевины и большое значение числовой апертуры, что дает возможность использования в качестве источников оптических сигналов дешевых полупроводниковых лазеров и светодиодов с большими размерами излучающих площадок (то есть увеличения эффективности ввода излучения по сравнению с кварцевыми ОВ), а также простоту процесса оконцевания ОВ, не требующего специфического оборудования и высокой квалификации монтажного персонала [4].

### 3. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка для исследования эффективности ввода излучения и потерь на стыках оптических волокон (см. рис. 3.1) состоит из источника питания Gwinstek GDM-8145 (ИП), полупроводникового лазера (ППЛ), фотодиода, цифрового мультиметра Gwinstek GPS-4251 (ЦМ), полимерного оптического волокна и коннекторов.

Работа макета осуществляется следующим образом. В качестве источника излучения используется полупроводниковый лазер, работающий в непрерывном режиме на длине волны  $\lambda = 630$  нм. ППЛ подключен к ИП напряжением 2,8 В. Излучение лазера через коннектор (К1) попадает на торец полимерного ОВ (ПОВ1), другой торец которого закреплен на столике (С1) с микрометрическим винтом (МВ1), изменяющим величину осевого смещения ПОВ относительно второго стыкуемого волокна. Цена деления микрометрического винта составляет 10 мкм.

Второе стыкуемое полимерное ОВ также закреплено на столике (С2) с микрометрической подвижкой, обеспечивающей радиальное смещение

стыкуемых ОВ. ПОВ при помощи коннектора (К2) соединяется с фотодиодом, который детектирует оптический сигнал. Измерение электрического сигнала с ФД осуществляется ЦМ.

Полимерное ОВ, применяемое в лабораторной установке, имеет диаметр сердцевины  $d = 980$  мкм и числовую апертуру  $NA = 0,5$ .

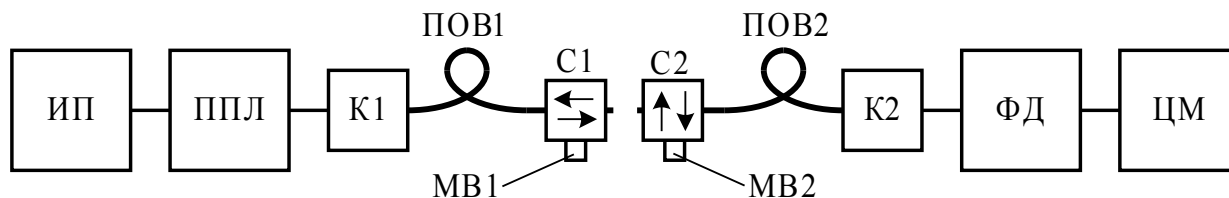


Рисунок 3.1 – Схема экспериментальной установки

#### 4. Задание к лабораторной работе

1) Получить у преподавателя допуск для выполнения лабораторной работы.

2) Рассчитать значение эффективности ввода излучения в полимерное ОВ по формуле (2.1).

3) Рассчитать параметры системы фокусировки излучения для ПОВ:

- Диаметр фокусирующей линзы;
- Фокусное расстояние линзы.

4) Рассчитать значение потерь на стыке полимерных ОВ и построить соответствующий график для:

- Радиального смещения ОВ;
- Углового смещения ОВ;
- Осевого смещения ОВ.

5) Измерение значения эффективности ввода излучения в ОВ. Для этого необходимо сначала подсоединить фотодиод с помощью коннектора непосредственно к лазеру и измерить цифровым мультиметром значение тока, соответствующего мощности излучения ППЛ. Затем то же самое проделать при ФД, подключенном к выходному торцу первого полимерного ОВ.

Значение эффективности ввода определяется как

$$\eta = \frac{I_{\text{ОВ1}}^2}{I_{\text{ППЛ}}^2}, \quad (4.1)$$

где  $I_{\text{ППЛ}}^2$  – ток мультиметра при соединении ФД и ППЛ,  $I_{\text{ОВ1}}^2$  – ток мультиметра при соединении ФД и полимерного волокна (ПОВ1).

6) Исследование зависимости потерь на стыке ОВ от величины осевого смещения  $S$ . Следует собрать лабораторную установку в соответствии с рис. 3.1. Установить оба микрометрических винта в положение, отвечающее максимальным показаниям цифрового мультиметра. Далее, изменяя микрометрическим винтом (МВ1) величину  $S$ , через каждые 10 мкм фиксировать показания мультиметра. Повторить измерения 2 – 3 раза. Величина потерь на стыке ОВ при осевом смещении  $S$  определяется как

$$\alpha = 10 \log_3 \frac{I_{\text{OB1}}^2}{I_{\text{OB2}}^2} \quad (4.2)$$

где  $I_{\text{OB2}}$  – ток мультиметра при соединении ФД и полимерного волокна (ПОВ2).

Значение потерь на стыке ОВ  $\alpha$  при осевом смещении  $S$  необходимо нормировать

$$\alpha_{\check{y}} = \alpha - \alpha_0, \quad (4.3)$$

где  $\alpha_0$  – значение потерь, рассчитанное по (4.2) при  $S = 0$ ;  $\alpha$  – значение потерь, рассчитанное по (4.2) при  $S \neq 0$ .

Результаты измерений занести в таблицу 4.1. Построить график зависимости потерь на стыке ОВ от величины осевого смещения  $S$ .

Таблица 4.1 Результаты измерений зависимости  $\alpha = f(S)$

$S$ , мкм					
$I_{\text{OB2}}$ , мкА					
$\alpha_{\check{y}}$ , дБ					

7) Исследование зависимости потерь на стыке ОВ от величины радиального смещения  $\delta$ . Следует установить оба микрометрических винта в положение, отвечающее максимальным показаниям цифрового мультиметра. Далее, изменяя микрометрическим винтом (МВ2) величину  $\delta$ , через каждые 10 мкм фиксировать показания мультиметра. Повторить измерения 2 – 3 раза. Величина потерь на стыке ОВ при радиальном смещении  $\delta$  определяется выражениями (4.2) и (4.3). Результаты измерений занести в таблицу 4.2. Построить график зависимости потерь на стыке ОВ от величины радиального смещения  $\delta$ .

Таблица 4.2 Результаты измерений зависимости  $\alpha_s = f(\delta)$

$\delta$ , мкм					
$I_{\text{OB2}}$ , мкА					
$\alpha_{\check{y}}$ , дБ					

8) Сравнить результаты расчетов с результатами эксперимента для:

- Эффективности ввода излучения в ПОВ (разделы 2 и 5);
- Потерь на стыке ОВ при осевом смещении (разделы 4 и 6);
- Потерь на стыке ОВ при радиальном смещении (разделы 4 и 7).

9) Сделать выводы по проделанной работе.

## 5. Контрольные вопросы

- 1) Что такое числовая апертура ОВ и от чего она зависит?
- 2) Какие потери возникают при вводе излучения в ОВ и каковы их причины?

3) Какие источники излучения используются в ВОЛС? Каковы их достоинства и недостатки?

4) Какими параметрами источника излучения определяется эффективность ввода излучения в ОВ?

5) Какие существуют способы повышения эффективности ввода излучения в ОВ?

6) Каковы преимущества и недостатки полимерных оптических волокон?

7) К какому типу рассогласования наиболее критична величина потерь на стыке ОВ?

8) Каково значение эффективности ввода излучения СИД для ступенчатого МОВ, соответствующего рекомендации МСЭ G.651?

9) Какова величина потерь на стыке ООВ, если угловое смещение составляет  $0,5^\circ$ ?

### **Список использованных источников**

1) Ефанов, В. И. Электрические и волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие [Электронный ресурс] / В. И. Ефанов. — Томск: ТУСУР, 2012. — 150 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/802>

2) Портнов Э.Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи: учеб. пособие для вузов. – М: Горячая линия – Телеком, 2007. – 464 с.: ил.