

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)

**Волоконно-оптические устройства и системы технологического
назначения**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО – ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА
МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО
ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА**

Методические указания к лабораторной работе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф. СВЧиКР

_____ А.М. Заболоцкий
“ ____ “ _____ 2023 г.

**Волоконно-оптические устройства и системы технологического
назначения**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО – ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА
МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО
ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА**

Методические указания к лабораторной работе

Разработчик:

Доцент кафедры СВЧиКР
_____ В.Г. Круглов

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: Экспериментальное исследование принципа измерения микроперемещений волоконно – оптическим датчиком амплитудного типа на основе полимерного оптического волокна; отработка методики расчета амплитудной характеристики датчика; определение участка характеристики, обеспечивающего заданную величину нелинейности.

2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

Полимерные волоконные световоды.

Общим недостатком стеклянных ВС является небольшое относительное удлинение при воздействии деформаций растяжения, т.е. возможность их механического повреждения при изгибах и растяжении. Значительно лучшими свойствами в этом плане обладают полимерные материалы, что явилось одним из стимулов разработки полимерных ВС. В большинстве из производимых в настоящее время полимерных ВС в качестве материала сердцевины используется полиметилметакрилат. Для оболочки используются фторсодержащие полимеры.

Показатель преломления материала сердцевины для полимерных ВС изменяется от 1,32 (для материалов на основе акрилатов с добавками фтора) до 1,6 (для некоторых фенольных смол). Большая числовая апертура (апертурный угол может достигать 60°) облегчает процесс их согласования при соединении, что снижает требования к точности изготовления элементов соединителя. Этому способствует и значительно больший диаметр сердцевины полимерных световодов, составляющий, как правило $0,8 \div 1$ мм. Такие соединители изготавливают из термопластичных материалов методом литья под давлением, что снижает их стоимость. К недостаткам полимерных ВС можно отнести высокие оптические потери и высокий температурный коэффициент линейного расширения, низкую абразивную прочность, склонность полимерных материалов к быстрому старению, высокую дисперсию.

Амплитудные волоконно – оптические датчики (ВОД) имеют наиболее простую конфигурацию, в то же время они могут обеспечить достаточно высокие характеристики измерительного преобразователя. Один из принципов построения амплитудных ВОД пропускающего типа основан на изменении величины связи между отдельными волоконными световодами или эффективности возбуждения света в световоде при наличии внешних воздействий. Многие воздействия могут быть преобразованы в продольные или поперечные смещения торца световода относительно другого торца либо относительно возбуждающего светового пучка. Оптическое пропускание систем «световой пучок – световод» или «световод – световод» определяется в этом случае величиной интеграла перекрытия между амплитудным распределением светового поля на входном торце приемного световода $U(x)$ и суммарным распределением полей направляемых мод приемного световода в плоскости входного торца $V(x)$:

$$\eta = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} U(x) \cdot V(x) dx \right|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} U^2(x) dx \cdot \int_{-\infty}^{\infty} V^2(x) dx},$$

где x – поперечная координата (данное соотношение записано для одномерного случая).

В случае ограниченных световых пучков величина интеграла перекрытия изменяется как при поперечных, так и при продольных смещениях этих распределений. Действительно, если распределение $V(x)$ зависит только от характеристик световода, то функция $U(x)$ может быть смещена относительно $U(x)$ в поперечном направлении или меняет свой масштаб при продольном сдвиге.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки для исследования принципа измерения микроперемещений (или макроперемещений) с помощью ВОД представлена на рис. 1. Здесь излучение He-Ne лазера вводится в приемный волоконный световод (ВС) непосредственно или путем фокусировки света на входной его торце. Излучение с выходного торца световода поступает на фотоприемный элемент (Ф). Мощность лазера контролируется с помощью второго фотодиода (Ф).

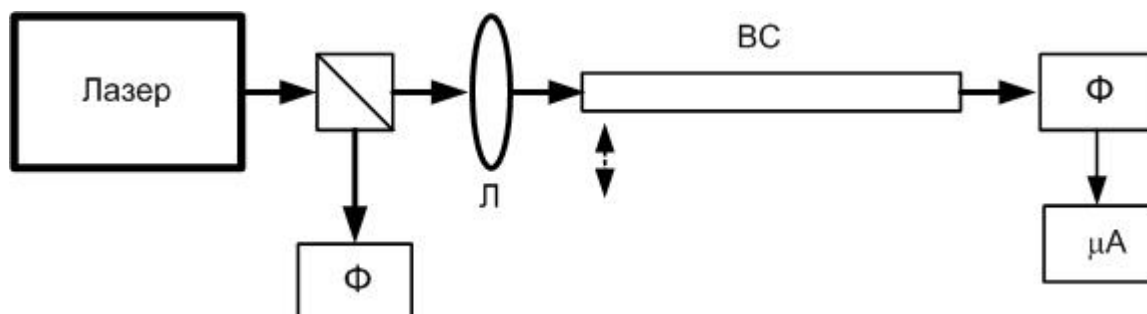


Рис. 1. Лазер – источник излучения; ВС – волоконный световод; Л – фокусирующая линза; Ф – фотодиоды.

Задание на работу

Реальная экспериментальная установка включает полимерный волоконный световод, возбуждаемый фокусированным или нефокусированным излучением He – Ne лазера ЛГН – 207-А. Входной торец световода закреплен на столике с микрометрической подвижкой в поперечном и продольном направлениях. Излучение с выходного торца световода поступает на фотодиод ФД-24К, фототок которого измеряется цифровым микроамперметром. Величина мощности излучения лазера контролируется с помощью второго фотодиода, на который часть световой мощности направляется с помощью светоделительного кубика или полупрозрачного зеркала.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Ознакомиться с экспериментальной установкой и ее отдельными элементами.

4.2. Получить от преподавателя конкретное задание на работу (разные варианты включают фокусировку светового пучка на входной торец световода линзами с разными фокусными расстояниями либо использование нефокусированного лазерного луча для возбуждения света в волоконном световоде).

4.3. Ответить на контрольные вопросы преподавателя.

4.4. После допуска к работе провести экспериментальное исследование зависимости оптической мощности на выходе световода от величины поперечного или продольного смещения его входного торца относительно светового пучка. В процессе измерений контролировать мощность излучения лазера с помощью вспомогательного фотодиода. Результаты измерений занести в таблицу:

Смещение, МКМ				
$I_{\text{вых}}$				
$I_{\text{лаз}}$				
$(I_{\text{вых}}/I_{\text{лаз}})/$ $(I_{\text{вых макс}}/I_{\text{лаз}})$ ср)				

4.5. Построить график полученной зависимости с учетом нормировки сигнала с выхода световода относительно выходной мощности лазера.

4.6. Из построенного графика определить величину линейного участка полученной зависимости, позволяющего обеспечить величину нелинейности измерения смещения не более 5%.

4.7. В предположении гауссова распределения поля светового пучка и однородного распределения для модового поля на торце полимерного световода построить расчетную зависимость оптического пропускания системы от поперечного смещения. Сравнить результаты моделирования с экспериментальными результатами. В расчетах можно использовать следующее выражение для поля гауссова пучка:

$$A = A_0 \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{w^2}\right), \text{ где } w - \text{полуширина лазерного пучка в перетяжке.}$$

4.8. Повторить исследования по пп. 2.2 – 2.4 для случая нефокусированного лазерного пучка.

4.9. Оформить отчет по работе.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть представлены:

- схема экспериментальной установки;
- задание на работу;
- результаты экспериментального исследования в виде таблицы и графика;
- результаты численного моделирования величины интеграла перекрытия для заданных экспериментальных параметров;
- выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Каковы основные достоинства волоконно-оптических датчиков?
- 6.2. Что понимается под ВОД с амплитудной модуляцией?
- 6.3. В чем отличие ВОД зондового типа от ВОД с оптическим преобразователем?
- 6.4. Для чего в ВОД амплитудного типа контролируется мощность источника излучения?
- 6.5. Как определяется нелинейность характеристики ВОД?
- 6.6. Какой из элементов в рассматриваемой схеме в наибольшей степени влияет на динамический диапазон устройства?

7. Рекомендуемая литература

1. В.И.Бусурин, Ю.Р.Носов. Волоконно - оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения. - М.: Энергоатомиздат, 1990 г.
2. Т.Окиси и др. Волоконно - оптические датчики / Под ред. Т.Окиси. Л.: Энергоатомиздат, 1990 г.
3. Ю.Н.Кульчин. Распределенные волоконно – оптические измерительные системы. – М.: Физматлит, 2001 г., 272 с.
4. В.М.Шандаров. Волоконно-оптические устройства технологического назначения: учеб. пособие. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 190с. **ISBN 978-5-86889-377-3.**