

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

Заведующий кафедрой СВЧ и КР

_____ С.Н. Шарангович

“ ____ ” _____ 2019 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО
ФОТОПРИЕМНИКА ИК - ДИАПАЗОНА**

Методические указания к лабораторной работе для бакалавров направления
подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, дисциплины:
«Метрология в оптических телекоммуникационных системах», «Направляющие среды»

Разработчики:

профессор. каф. СВЧ и КР

_____ А.Е. Мандель

магистрант группы 157 - М

_____ А.Ю.Яковлева

Содержание

1 Введение	3
2 Теоретическая часть	3
3 Описание экспериментальной установки	5
4 Порядок выполнения работы	8
5 Содержание отчета	9
7 Контрольные вопросы.....	10
Рекомендуемая литература	10

1 Введение

Цель работы: Исследовать основные характеристики фотоприемного модуля ИК - диапазона.

2 Теоретическая часть

Фотоприемное устройство (ФПУ) является составной частью линейного тракта ВОСП. Оно входит в состав оконечных и промежуточных обслуживаемых и необслуживаемых пунктов линии связи. В фотоприемном устройстве происходит преобразование оптического сигнала в электрический сигнал и его усиление. При необходимости в ФПУ могут быть включены схемы обработки сигнала, позволяющие получить параметры сигнала, при которых аппаратура, подключенная к выходу ФПУ, может нормально функционировать. Типичная функциональная схема фотоприемного устройства с прямым детектированием приведена на рисунке 2.1. Оптический соединитель осуществляет ввод излучения в ФПУ и согласование с приемником излучения. Преобразование оптического сигнала в электрический в ФПУ осуществляется фотоэлектрическим полупроводниковым приемником излучения.

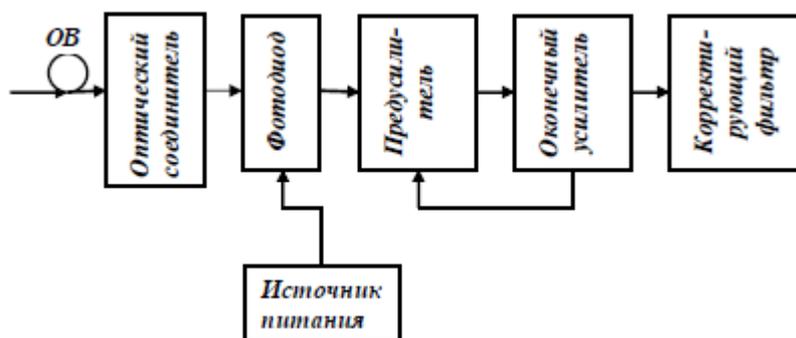


Рисунок 2.1 – Схема фотоприемного устройства

Усиление, необходимое для восстановления уровня сигнала и достижения максимально возможного при данных условиях отношения сигнала к шуму, обеспечивают усилители, входящие в состав ФПУ. После усилителя сигнал поступает в схему цифровой обработки (в цифровых ВОСП) или к потребителю информации (в аналоговых ВОСП).

Из множества фотоприемных преобразователей излучения наибольшее распространение в ВОСП получили быстродействующие р-і-n- фотодиоды и лавинные фотодиоды (ЛФД). Они хорошо стыкуются со световодом, имеют высокую квантовую эффективность, позволяют получать малое время фотоотклика. Спектральный диапазон приборов, в основном, определяется материалом. Для изготовления фотодиодов р-і-n- структуры наиболее часто используемым материалом в области, близкой к инфракрасной

(850 нм), является кремний Si. Фотодиоды p-i-n-структуры на длину волны, превышающую 1 мкм, выполняют из Ge, InGaAs и InGaAsP. ЛФД изготавливают на основе Si, InGaAs, InGaAsP. Структура ЛФД совмещает в себе свойства p-i-n и обычного лавинного диода, позволяя получать значительное усиление фототока при сохранении высокой квантовой эффективности и быстродействия. По сравнению с p-i-n- фотодиодом, ЛФД позволяет выиграть в пороге чувствительности, работает в меньшем диапазоне температур, но требует повышенного напряжения питания. При использовании ЛФД в качестве фотодетектора можно изменять подаваемое на него напряжение обратного смещения и таким путем регулировать коэффициент лавинного умножения (усиления) фотодиода. Это позволяет существенно расширить динамический диапазон ФПУ, но требует наличия блока автоматической регулировки усиления (АРУ). Лавинные фотодиоды, имеющие за счет эффекта внутреннего умножения на порядок более высокую чувствительность, чем p-i-n-диоды, находят применение в линиях связи большой протяженности. В локальных системах высокая чувствительность является излишней, и оптические приемники аппаратуры построены исключительно на p-i-n-диодах.

Приемники в оптических сетях должны обеспечивать низкий порог чувствительности, большой динамический диапазон для регистрации сигнала. При использовании в измерительной аппаратуре добавляются требования высокой линейности, широкого спектрального диапазона измерений, равномерной чувствительности в заданном спектральном диапазоне или на длинах волн калибровки.

На практике применяются различные типы полупроводниковых материалов в качестве чувствительного элемента. Кремний (Si) – хорошо работает в диапазоне 500 – 1100 нм. Германий (Ge) перекрывает диапазон 500 – 1550 нм. У него выше чувствительность, чем у кремния. InGaAs – тройная система, обладающая высокой чувствительностью в диапазоне 800 – 1600 нм и линейностью чувствительности в рабочем диапазоне.

В лабораторной работе используется фотоприемный модуль на основе InGaAs. Данный модуль можно использовать в системах передачи данных до 600 Мбит/с.

Основными метрологическими параметрами приемников излучения являются чувствительность, уровень собственных шумов, пороговая мощность, отношение сигнал / шум.

В данной лабораторной работе необходимо измерить темновой ток и чувствительность фотодиода. Чувствительность фотодиода представляет собой отношение изменения уровня сигнала на выходе приемника, вызванного падающим на него излучением, к количественной характеристике этого излучения, представленной любой энергетической или фотометрической величиной. Чувствительность к монохроматическому излучению

заданного спектрального состава называется интегральной чувствительностью S_u . В тех случаях, когда рассматривается реакция приемника на монохроматическое излучение, говорят о монохроматической чувствительности. Для приемников ВОСП обычно указывается монохроматическая чувствительность по току S_λ (А/Вт). Монохроматическая чувствительность может быть абсолютной и относительной. В последнем случае величина абсолютной монохроматической чувствительности нормируется на максимум спектральной чувствительности.

3 Описание экспериментальной установки

Типовой комплект для выполнения лабораторной работы состоит из лабораторной установки и дополнительного оборудования. Внешний вид установки представлен на рисунке 3.1

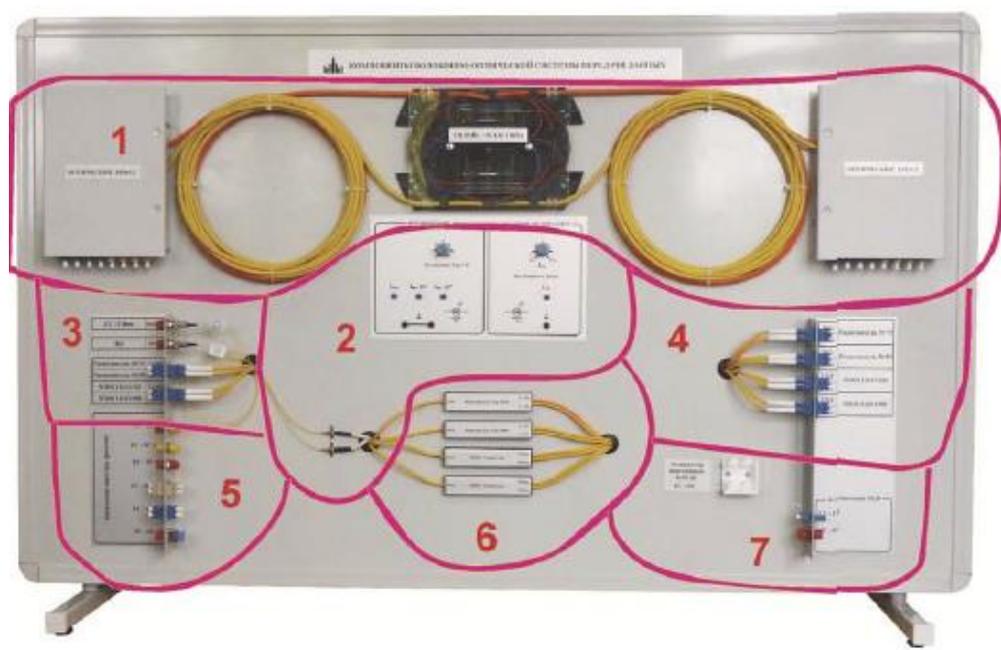


Рисунок 3.1 – Внешний вид лабораторной установки

На рисунке 3.1 лицевая панель лабораторной установки разбита на области разного функционального назначения. Для выполнения данной лабораторной работы необходимо задействовать области под номерами 2,3,4 и 6.

Область под номером 2 – блок активных компонентов волоконно – оптической системы передачи данных, включающий блок «источник оптического сигнала» и блок «фотоприемник» (см. рис. 3.2). Область под номером 3,4 – блок оптических розеток с коннекторами активных и пассивных элементов. Область под номером 6 – блок пассивных компонентов ВОЛС: разветвитель 70/30, разветвитель 50/50, два WDM сплиттера 1310/1550, оптический циркулятор.

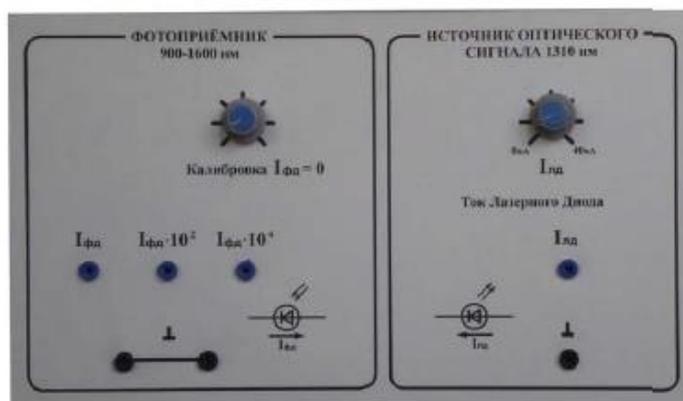


Рисунок 3.2 – Панель блока активных компонентов

«Источник оптического сигнала» состоит из лазерного модуля с длиной волны 1310 нм и электрической части, представляющей собой регулируемый источник тока, ограниченный около 45 мА. Ручка регулировки находится на лицевой части панели (см. рис. 3.2).

Блок «фотоприемник» состоит из фотоприемного модуля с чувствительным элементом InAsGa и электрической части. Оба модуля (лазерный и фотоприемный) снабжены LC – коннекторами, которые присоединены к розеткам на планке.

Электрическая часть блока «фотоприемник» представляет собой каскад усилителей с выводами $I_{ФД}$, $I_{ФД} \times 100$, $I_{ФД} \times 10000$, включенные последовательно. По мере увеличения тока через фотодиод, усилители последовательно входят в режим насыщения, который ограничен током порядка 3 мА. Это означает, что при токе фотодиода 1 нА на последнем усилителе $I_{ФД} \times 10^4$ будет ток 10 мкА. Набор выводов тока позволяет измерять токи от единиц наноампер до 10 миллиампер. Выводы используются для измерения чувствительности фотоприемника и темнового тока фотоприемника. При измерениях чувствительности фотодиода рекомендуется использовать $I_{ФД}$, меняя диапазон измерений на приборе от 200 мкА до 20 мА.

Схема экспериментальной установки для измерения чувствительности полупроводникового фотоприемника ИК – диапазона представлена на рисунке 3.3.

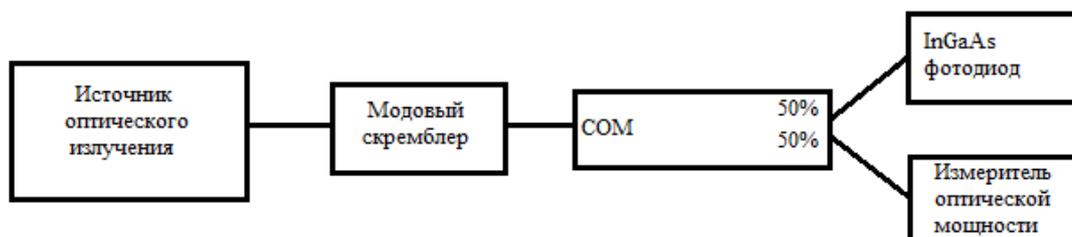


Рисунок 3.3 – Схема измерений чувствительности полупроводникового фотоприемника ИК - диапазона

В качестве источника оптического сигнала в данной работе рекомендуется использовать лазерный модуль с длиной волны 1310 нм и источник оптического излучения «Топаз 3105». Перед использованием источника оптического излучения «Топаз 3105» необходимо дополнительно ознакомиться с инструкцией по его эксплуатации.

Электрическая схема блока «источник оптического сигнала» представлена на рисунке 3.4. Миллиамперметр (тестер) подключается к гнездам 1 и 2 на лицевой панели. Сопротивление шунта тестера составляет около 3,2 Ом, что дает систематическую погрешность около 10%. Реальный ток через лазерный диод на 10% выше, чем показания на приборе.

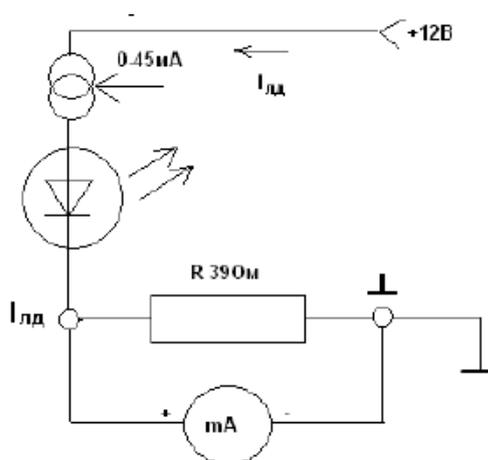


Рисунок 3.4 – Электрическая схема блока «источник оптического сигнала»

Модовый скремблер (смеситель мод) соответствует спецификации TIA/EIA – 568 – В.1 и представляет собой катушку диаметром 22 мм, на которую требуется 5 витков оптического кабеля в буфере 3 мм. Для фиксации витков на катушке необходимо использовать винт М3, закрепленный на ней. На рисунке 3.5 представлен внешний вид модового скремблера.



Рисунок 3.5 – Модовый скремблер

Оптический разветвитель 50/50, оконцованный LC/UPC коннекторами для соединения с LC – LC розетками находится на лицевой панели лабораторной установки в области под номером 6 – блоке пассивных компонентов ВОЛС.

Измеритель оптической мощности «Топаз 7210А» находящийся в кейсе лабораторного комплекта, представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Кейс с источником оптического излучения «Топаз 3105», измерителем оптической мощности «Топаз 7210А» и блоком питания «Топаз 7210А»

Перед началом работы с измерительным оборудованием, необходимо ознакомиться с инструкцией по эксплуатации измерителя оптической мощности «Топаз 7210А».

4 Порядок выполнения работы

1. Возьмите модовый скремблер и намотайте на него 3- 5 витков оптического кабеля, используя ММ FC – LC оптический шнур. Для фиксации витков на катушке необходимо использовать винт М3, закрепленный на ней.
2. С помощью данного оптического шнура, намотанного на скремблер, необходимо соединить источник оптического излучения с оптическим разветвителем 50/50, подключив к соответствующим разъемам блока активных и пассивных компонентов.
3. Далее возьмите два оптических кабеля ММ FC – LC из лабораторного комплекта и подключите к выходу оптического разветвителя 50/50, находящемуся на лицевой панели лабораторной установки (область под номером 4). Затем один оптический шнур подключите на вход фотодиода, находящемуся на лицевой панели лабораторной установки (область под номером 3), а второй – к измерителю оптической мощности «Топаз 7210А».
4. Выставить регулятор тока лазерного диода на 0 мА;
5. Подключить мультиметр к общей клемме и $I_{\text{фд}}$ фотоприемника, который находится в блоке активных компонентов на лицевой панели лабораторной установки. Выставить мультиметр на измерение постоянного тока до 200 мкА;

6. Увеличивая ток лазера, снимать значения мощности с помощью измерителя оптической мощности «Топаз 7210А», а ток фотодиода с помощью мультиметра. В случае необходимости менять диапазон измерений на мультиметре;

7. Повторить измерения не менее 2х раз;

8. Рассчитать чувствительность фотоприемника в зависимости от мощности излучения;

9. Построить измеренные точки и аппроксимированные графики: зависимость тока фотодиода от мощности излучения, зависимость чувствительности фотоприемника от мощности излучения, зависимость чувствительности фотоприемника от тока через него;

10. Выставить регулятор тока лазерного диода в 0 мА. Определить значение темнового тока по следующей методике:

Для измерения темнового тока от момента включения установки до начала измерений должно пройти не менее 10 минут.

Произведите калибровку измерительной схемы методом последовательных приближений. Для этого переключкой из комплекта замкните гнездо « $I_{\text{фд}}$ » и « \perp », подключите мультиметр к гнездам « $I_{\text{фд}} \times 10^4$ » и « \perp », выберите диапазон 20 мА постоянного тока и, поворачивая регулятор «Калибровка» добейтесь показаний около 0 мА. Переключите мультиметр на диапазон 200 мкА и, поворачивая регулятор «Калибровка», добейтесь показаний около 0. Переключить мультиметр на диапазон 200 мкА и, поворачивая регулятор «Калибровка» добейтесь показаний в районе от +10 до -10 мкА. Подождите 5 мин. Зафиксируйте показания прибора. Снимите переключку. Зафиксируйте показания прибора. Разница показаний равна темновому току фотодиода. Повторите измерения не менее 3 раз с перерывами между замерами 2 – 3 минуты.

11. Заменить лазерный модуль на источник оптического излучения «Топаз 3105». Выставить длину волны 1550 нм. Отметить значения для длины волны 1550 нм на графиках из п. 10;

12. Сделать выводы относительно диапазона применимости и ограничений применения фотоприемника;

5 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы и схему экспериментальной установки с полным описанием работы;

2. Результаты измерений, занесенные в таблицы и расчет чувствительности фотоприемника;

3. Графики;
4. Выводы относительно ограничений применения фотодиода InGaAs.

7 Контрольные вопросы

1. Что такое «темновой ток» фотоприемника? Чем он определяется?
2. Является ли ватт – амперная характеристика ИК - приемника линейной? Почему?

Рекомендуемая литература

1. Мандель, А.Е. Метрология в оптических телекоммуникационных системах: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. – 139 с.
2. «Компоненты волоконно – оптической линии связи» ВОЛС – 01 – Ц – С: Методические рекомендации по проведению исследовательских работ с использованием типового комплекта. – Челябинск: ООО НПП «Учтех – Профи», 2018. – 36 с.