

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ  
ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ**

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов направления  
200700.62 – Фотоника и оптоинформатика

2014

## **Мягков Александр Сергеевич**

Моделирование характеристик фотоприемных устройств для волоконно-оптических систем связи: методические указания к лабораторной работе для студентов направления 200700.62 – Фотоника и оптоинформатика / А.С. Мягков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2014. - 10 с.

Целью данной лабораторной работы является моделирование характеристик фотоприемных устройств для волоконно-оптических систем связи.

В ходе выполнения работы у студентов формируется способность проектировать элементы и устройства, основанные на различных физических принципах действия (ПК-7); способность подготовить научно-технические отчеты и обзоры, публикации по результатам выполненных исследований (ПК-16); способность разрабатывать элементы и устройства фотоники и оптоинформатики на основе существующей элементной базы (ПК-20); способность выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства (ПК-21); способность конструировать в соответствии с техническим заданием типовые оптические и оптоинформационные системы с использованием стандартных средств компьютерного проектирования; проводить расчеты (ПК-25); способность разрабатывать технические задания на конструирование отдельных узлов приспособлений, оснастки и специального инструмента, предусмотренных технологией (ПК-34); способность составлять техническое задание на научно-исследовательскую, проектно-конструкторскую, производственно-технологическую деятельность (ПК-37).

Пособие предназначено для студентов очной формы и заочной формы обучения, обучающихся по направлению 200700.62 – Фотоника и оптоинформатика по дисциплине «Приборы квантовой электроники и фотоники»

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Моделирование характеристик фотоприемных устройств для  
волоконно-оптических систем связи

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов направления  
200700.62 – Фотоника и оптоинформатика

Разработчик  
\_\_\_\_\_ А.С. Мягков  
\_\_\_\_\_ 2014 г

## Содержание

1 Введение.....	5
2 Теоретическая часть.....	5
2.1 Основные понятия .....	5
2.2 Контрольные вопросы.....	6
3 Экспериментальная часть.....	7
3.1 Задание.....	7
3.2 Описание экспериментальной установки .....	7
3.3 Описание компьютерного эксперимента .....	8
3.4 Содержание отчета.....	8
Рекомендуемая литература .....	9

## 1 Введение

Целью данной лабораторной работы является моделирование характеристик фотоприемных устройств для волоконно-оптических систем связи.

## 2 Теоретическая часть

### 2.1 Основные понятия

Одним из главных функциональных элементов схемы среди блоков волоконно-оптической системы передачи является Фотоприемное устройство. Фотоприемник изготавливается из полупроводниковых материалов. Существуют определенные требования к его качеству и надежности, поскольку отказ любого элемента данного ФПУ приводит к нарушению правильной работы всего ствола линии.

Качество работы ФПУ характеризуется следующими основными параметрами:

- чувствительность;
- динамический диапазон;
- коэффициент ошибок.

Фотодетектор должен вносить минимальные шумы в приемную систему, отличаться стабильностью рабочих характеристик, иметь небольшие размеры, быть высоконадежным и недорогим.

В связи с тем, что ВОСПИ должна функционировать постоянно, а на приемной стороне будет использован автономный источник питания, для увеличенного непрерывного времени работы линии необходимо иметь ФПУ с возможно меньшим уровнем потребления мощности.

Как известно чувствительность любого усиливающего устройства потенциально ограничивается собственными шумами. Для того, чтобы была возможна устойчивая работа устройства, уровень сигнала должен превышать уровень шума в некоторое количество раз.

ФПУ должно обеспечивать заданное качество приема сигнала при минимально возможном уровне входной мощности. удовлетворение этого требования позволит увеличить длину участка связи при фиксированной мощности передатчика или при той же длине снизить необходимую мощность передатчика. Уменьшение мощности передатчика в свою очередь создает предпосылку для увеличения срока службы лазера – самого надежного и дорогостоящего элемента ВОСПИ.

ФПУ должно сохранить требуемое качество приема при изменении уровня входного сигнала (ФПУ должно иметь необходимый динамический диапазон работы).

Динамический диапазон – отношение максимальной средней мощности оптического сигнала на входе приемного оптического модуля, при котором характеристики модуля не выходят за допустимые пределы.

Таким образом, Фотоприемное устройство характеризуется системой параметров, важнейшими из которых являются:

- рабочая длина волны, для которой нормированы параметры приемного оптического модуля;
- полоса пропускания, то есть интервал частот, в котором модуль коэффициента передачи больше или равен половине его максимального значения;
- напряжение шума, то есть среднеквадратичного значения флуктуации выходного напряжения в заданной полосе частот в отсутствие оптического сигнала на его входном оптическом торце;
- отношение сигнал/шум – отношение амплитуды переменной составляющей выходного напряжения при заданных характеристиках принимаемого оптического сигнала к среднеквадратичному значению флуктуаций выходного напряжения при приеме немодулированного оптического излучения той же средней мощности;
- порог чувствительности – минимальная средняя мощность оптического сигнала на входе при заданных характеристиках этого сигнала, при котором обеспечивается заданное отношение сигнал/шум или заданный коэффициент ошибок. Усреднение обычно производится в течении интервала времени во много раз превышающего период модулирующей частоты или длительности светового импульса.

Фотоприемные устройства также должны позволить осуществить стыковку с каналобразующей или другой оконечной аппаратурой.

Вместе с тем, в ВОСПИ возникают специфические помехи, связанные с распространением сигналов по световодам.

Режимы работы ФПУ ВОСПИ существенно отличаются от режимов ФПУ, применяемых в атмосферной связи или оптической локации. Главное отличие состоит в стабилизации канала и отсутствии фоновой засветки.

Техника фотоприемных устройств развивается в направлениях повышения быстродействия, освоения новых спектральных диапазонов, совершенствования технологии изготовления, конструкции и улучшения основных параметров в соответствии с приведенными требованиями.

## 2.2 Контрольные вопросы

1. Что понимается под фотоприёмным устройством с прямым детектированием?

2. Раскройте алгоритм расчета порога чувствительности в цифровой системе передачи данных.

3. Как на порог чувствительности ФПУ влияет изменение следующих параметров:

- а) уменьшение шумов схемы усиления
- б) уменьшение коэффициента ошибок?

4. Каким критерием необходимо руководствоваться при выборе активного элемента схемы усиления? Обосновать критерий

5. Для какого вида кода передачи был сделан расчет порога чувствительности ФПУ в данной работе?

### 3 Экспериментальная часть

#### 3.1 Задание

1. Получить зависимости порога чувствительности ФПУ  $P_0$  от  $B$  для заданных значений параметра  $r$ , коэффициента ошибок  $Q$  и полученного из соотношения  $B_{MAX}$  для значений  $M$  в диапазоне до 1000 единиц.

2. Построить зависимость порога чувствительности  $P_0$  от коэффициента умножения носителей  $M$  для заданного значения информационно-пропускной способности  $B_i$  со схемой усиления на полевом транзисторе.

3. Построить зависимость порога чувствительности  $P_0$  от коэффициента умножения носителей  $M$  для заданного значения информационно-пропускной способности  $B_i$  со схемой усиления на биполярном транзисторе.

4. Оценить диапазон значений  $M$ , в котором шумы ФПУ преобладают над шумами схемы усиления.

5. Оценить диапазон значений  $M$ , в котором шумы схемы усиления преобладают над шумами ФПУ.

6. Сформулировать (по п.2,3 и п. 4,5) выводы о преимуществах и недостатках транзисторов двух типов.

#### 3.2 Описание экспериментальной установки

При начальной загрузке моделирующей программы (загружается она с командной строки DOS; имя файла frt.exe) возникает краткая справка о возможностях программы с рекомендациями по проведению имитационного моделирования. Данная информация может быть при необходимости вызвана вновь в главном меню. После этого необходимо войти в “меню ввода исходных параметров” и после ввода необходимых в нем данных, вернувшись к “главному меню”, запустить программу. После построения зависимости  $P_0$  от  $B$ , можно уточнить его значение  $P_0$  по заданному значению величины  $B$ .

Для продолжения моделирования необходимо вернуться к “главному меню”, из него войти в “меню ввода исходных параметров”, и внести в нём необходимые изменения и, вернувшись в главное меню, вновь запустить программу и т.д.

Необходимо обратить особое внимание на способ ввода типа активного элемента схемы усиления. Такой ввод необходимо осуществлять малыми латинскими буквами, при этом литере “p” соответствует вариант использования полевого транзистора, а “b”- соответственно- вариант с биполярным.

Самостоятельный выход из программы в DOS поставит под сомнение полученные результаты имитационного моделирования.

### 3.3 Описание компьютерного эксперимента

Моделирующая программа осуществляет построение порога чувствительности  $P_0$  цифровой системы передачи данных с ФПУ с непосредственным (или прямым) детектированием в зависимости от выбранного интервала информационно-пропускной способности  $B$ . Расчетной формулой является соотношение:

$$P_0 = (0.5/S_\lambda M) \{ (1+r)/(1-r) \} [ (1+r)Q^2 q \cdot BI_1 M^{n-2} / (1-r) + \{ 4r(Q^2 q \cdot BI_1 M^{n-2} / (1-r))^2 + Q^2 i_{cx}^2 / M^2 \}^{1/2} ] .$$

Все параметры модели скорректированы и не требуют уточнений студентом. Однако при этом предусмотрен алгоритм случайного выбора конкретных параметров модели в компьютерной реализации по шумовым параметрам схемы усиления. Данная акция осуществлена намеренно и моделирует обыденную ситуацию при разработке схем усиления, когда транзисторы одной партии имеют отклонение параметров от справочных на единицы и даже десятки процентов.

Зная величину  $r$ , можно определить пороговую величину  $B_{MAX}$ , если предположить, что ВОЛС реализована на градиентном волокне, в котором преобладает межмодовая дисперсия. Расчетное соотношение зависимости  $B$  от  $r$ :

$$B_{MAX}(r) \approx 7.2\sqrt{r} .$$

### 3.4 Содержание отчета

По предложенной лабораторных работе необходимо составить отчет, который должен содержать:

- титульный лист;
  - цель работы;
  - краткие сведения из теории, содержащие расчетные формулы;
  - результаты расчетов и экспериментов в виде таблиц и графиков;
- выводы по проведенной работе.



## Рекомендуемая литература

1. Киселев Г.Л. Квантовая и оптическая электроника. – СПб.: Изд-во "Лань", 2011. – 320 с. .- 2-е изд. испр. и доп.. ISBN: 978-5-8114-1114-6 [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=627](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=627)
2. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. – СПб.: Изд-во "Лань", 2011. – 528 с ISBN: 978-5-8114-1136-8 [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=684](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=684)
3. Волоконная оптика в системах связи : Пер. с англ. / Глен Р. Элион, Херберт А. Элион. - М. : Мир, 1981. - 198, [2] с
4. Волоконная оптика: Приборы и системы : Пер. с англ. / Питер К. Чео. - М. : Энергоатомиздат, 1988. - 278[2] с.
5. Цифровые и аналоговые системы передачи : учебник для вузов / В. И. Иванов [и др.] ; ред. В. И. Иванов. - 2-е изд. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 231[1] с. : ил. - (Учебник) (Специальность для высших учебных заведений). - Библиогр.: с. 229-230. - ISBN 5-93517-116-3

Учебное пособие

Мягков А.С.

Моделирование характеристик фотоприемных устройств для волоконно-  
оптических систем связи

Методические указания к лабораторной работе  
по дисциплине «Приборы квантовой электроники и фотоники»

Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40