

В.Б. Пясецкий

Источники и приемники излучения

Приемники излучения

Параметры, характеристики и методы расчета

Курс лекций



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 7

УДК 535.215
ББК 32.86
П99

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/112/book1586.html>

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»
Кафедра «Лазерные и оптико-электронные системы»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Пясецкий, В. Б.

П99 Источники и приемники излучения. Приемники излучения.
Параметры, характеристики и методы расчета : курс лекций. —
Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. —
70, [6] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4587-5

Рассмотрены основные характеристики и параметры приемников излучения, методика их расчета применительно к рабочим условиям использования. Представлены теории прямого и гетеродинного методов детектирования оптического излучения фотоприемными устройствами оптико-электронных приборов и формирования различных видов шума, приведены примеры расчета основных шумовых параметров, включая расчет отношения сигнал/шум.

Для студентов 4–6-го курсов МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по специальностям «Оптико-электронные приборы и системы» и «Лазерная техника и лазерные технологии».

УДК 535.215
ББК 32.86

ISBN 978-5-7038-4587-5

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Предисловие

Основная цель настоящего пособия — формирование у студентов знаний, умений и навыков, позволяющих проводить энергетический расчет различных оптико-электронных приборов с некогерентными и когерентными источниками излучений.

Данный материал представляет первую часть теоретического курса лекций по дисциплине «Источники и приемники излучения», который читают в течение 6-го и 7-го семестров студентам кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы». Изучение этой дисциплины предполагает знание основ оптики и, прежде всего, фотометрических величин, их взаимосвязи, законов теплового излучения [1, 2]. Освоение указанной дисциплины необходимо для овладения профессиональными методами расчета фотоприемных систем оптико-электронных приборов на основе определения отношения сигнал/шум и с учетом габаритных параметров оптических систем.

В первом разделе пособия изложены основные сведения о приемниках излучения: дана их классификация на основе принципа действия и наиболее существенных конструктивных признаков; рассмотрены основные параметры и характеристики [1, 5, 6]; представлены соотношения, позволяющие рассчитывать параметры приемников при решении конкретных практических задач.

Во втором разделе пособия содержатся материалы повышенного уровня сложности: классическая теория основных методов фотодетектирования — прямого и гетеродинного; подробно рассмотрены составляющие шума фотоприемных устройств, источники их формирования и основные соотношения для расчета отношения сигнал/шум различных фотоприемных устройств [4]; приведены примеры такого расчета, иллюстрирующие теоретический материал и способствующие более глубокому пониманию специфики энергетического расчета оптико-электронных приборов.

Основные термины и определения

Амплитудно-частотная характеристика — зависимость амплитуды выходного сигнала приемника излучения от частоты модуляции принимаемого потока излучения (с. 22).

Время нарастания (спада) сигнала — время, в течение которого сигнал приемника изменяется в заданных пределах при мгновенном включении (выключении) принимаемого потока излучения (с. 19).

Генерационно-рекомбинационный шум — шум приемников излучения на основе беспримесных полупроводников, обусловленный флуктуациями в них числа свободных носителей заряда, вследствие случайного характера процессов генерации и рекомбинации (с. 45).

Гетеродинное детектирование — детектирование когерентного оптического излучения путем предварительного смешивания его с когерентным излучением от иного источника и последующим анализом с помощью приемника излучения результата интерференции смешанных когерентных излучений (с. 56).

Гомодинное детектирование — детектирование когерентного оптического излучения путем смешивания с предварительно отделенной его частью и последующим анализом с помощью приемника излучения результата интерференции смешанных когерентных излучений (с. 56).

Детектирование оптического излучения — процесс преобразования оптического излучения в иные виды энергии с целью его обнаружения и использования (с. 35).

Дробовый шум темнового тока — шум приемника излучения, обусловленный флуктуациями числа электронов в его темновом токе (с. 45).

Интегральная чувствительность — отношение сигнала приемника к потоку излучения со сложным спектральным составом, вызвавшему данный сигнал (с. 17).

Интенсивность световой волны — средний за период световых колебаний поток энергии, переносимой электромагнитным излучением через некоторую поверхность с указанной площадью (с. 54).

Квантовый шум — шум приемника излучения, обусловленный случайными флуктуациями числа квантов в принимаемом потоке излучения (с. 39).

Контактный шум — шум, обусловленный флуктуациями числа электронов при их прохождении вблизи или через границу раздела двух разнородных материалов вследствие случайного во времени и пространстве изменения электрических свойств такой границы (с. 50).

Коэффициент модуляции — параметр, учитывающий изменение чувствительности приемника излучения при изменении формы модуляции принимаемого потока оптического излучения (с. 23).

Монохроматическая чувствительность — отношение сигнала приемника излучения к значению потока монохроматического излучения с некоторой длиной волны, вызвавшего появление данного сигнала (с. 16).

Неселективный приемник — приемник, чувствительность которого не зависит от спектрального состава принимаемого излучения (с. 13).

Оптическое излучение — электромагнитное излучение (в интервале длин волн от пяти нанометров до одного миллиметра), для которого характерны общие физические свойства, а также принципы приема, обработки и получения информации (с. 10).

Параметр приемника — числовая величина, служащая мерой определенного свойства приемника в заданных условиях (с. 14).

Паспортный параметр — параметр приемника излучения, соответствующий условиям измерений, указанным в его техническом описании (с. 29).

Порог чувствительности — наименьший поток излучения, принимаемый приемником в указанных условиях (с. 18).

Приемник оптического излучения — устройство для преобразования сигналов оптического излучения в сигналы другой физической природы с целью их обнаружения и использования (с. 10).

Прямое детектирование — детектирование излучения, основанное на прямом преобразовании его энергии в сигналы иной физической природы (с. 53).

Рабочее напряжение — напряжение, приложенное к приемнику, при котором обеспечиваются номинальные параметры при длительной его работе (с. 15).

Рабочий параметр — параметр приемника излучения, соответствующий условиям его практического применения (с. 29).

Световая фотометрическая величина — фотометрическая величина, характеризующая определенное свойство оптического излучения на основе его зрительного восприятия глазом человека (с. 26).

Селективный приемник — приемник оптического излучения, чувствительность которого зависит от спектрального состава принимаемого излучения (с. 13).

Темновой ток — ток, протекающий через приемник в отсутствие потока излучения при указанных условиях (с. 15).

Тепловой приемник — приемник оптического излучения, в котором изменение электрических свойств фоточувствительного элемента происходит вследствие изменения его температуры под действием принимаемого излучения (с. 13).

Тепловой шум — шум, связанный с флуктуациями числа электронов в любом поперечном сечении проводника (полупроводника) вследствие теплового характера их движения, которые сопровождаются флуктуациями электрических потенциалов как в любой произвольной точке, так и между любыми точками на поверхности проводника (полупроводника) (с. 49).

Термогенерация свободных носителей заряда — переход электронов из валентного состояния в состояние проводимости вследствие тепловых эффектов в полупроводнике (с. 44).

Ток шума — среднее квадратическое значение флуктуаций общего тока, протекающего через приемник излучения, в заданной полосе частот (с. 15).

Токовый шум — то же, что Контактный шум (с. 50).

Фазочастотная характеристика — зависимость фазы выходного сигнала приемника излучения от частоты модуляции принимаемого потока излучения (с. 22).

Фликкер-шум — то же, что Контактный шум (с. 50).

Фотогенерация свободных носителей заряда — переход электронов из валентного состояния в состояние проводимости вследствие взаимодействия с квантами излучения в полупроводнике (с. 35).

Фотодетектор — то же, что Приемник оптического излучения (с. 10, 35).

Фотоприемное устройство — самостоятельная функциональная часть оптического прибора, состоящая из приемника излучения, конструктивно неотъемлемой от него оптической системы, а также электронных цепей, отвечающих за поддержание рабочего режима (с. 11).

Фототок — протекающий через приемник излучения ток, обусловленный воздействием потока излучения в указанных условиях (с. 15).

Фоточувствительный элемент — часть приемника излучения, непосредственно взаимодействующая с принимаемым потоком оптического излучения (с. 12).

Фотоэлектрический приемник — приемник оптического излучения, в котором изменение электрических свойств полупроводникового фоточувствительного элемента происходит вследствие прямого взаимодействия принимаемого излучения с атомами кристаллической решетки полупроводника (с. 12).

Характеристика приемника — функциональная зависимость одного параметра приемника от другого (с. 14).

Частотный коэффициент — параметр, учитывающий изменение чувствительности приемника излучения при изменении частоты модуляции принимаемого потока оптического излучения (с. 23, 30).

Шум «1/f» — то же, что Контактный шум (с. 50).

Шум Джонсона — то же, что Тепловой шум (с. 49).

Шум Найквиста — то же, что Тепловой шум (с. 49).

Энергетическая фотометрическая величина — величина, характеризующая определенное свойство оптического излучения, основанная на измерении переносимой им энергии (с. 26).

Энергетическая характеристика — зависимость выходного сигнала приемника излучения от значения какого-либо фотометрического параметра принимаемого излучения (с. 20).

Эффективная шумовая полоса — полоса частот электронного тракта фотоприемного устройства, определяемая на основе анализа спектра его шумового сигнала (с. 42).

Оглавление

Предисловие	3
Основные термины и определения	4
Условные обозначения и сокращения	8
Введение	10
1. Приемники излучения. Параметры и характеристики	12
1.1. Классификация приемников излучения	12
1.2. Параметры и характеристики приемников излучения	14
1.3. Связь между монохроматической и интегральной чувствительностью приемника излучения	25
1.4. Связь между энергетическими и световыми фотометрическими величинами	26
1.5. Пересчет интегральных параметров приемников излучения	28
2. Теоретические основы фотодетектирования	35
2.1. Монохроматическая чувствительность полупроводниковых детекторов оптического излучения	35
2.2. Шумы полупроводниковых фотодетекторов	38
2.3. Схемы детектирования излучения	53
Заключение	65
Вопросы для самоконтроля	66
Литература	69
Приложение	70