# Задача 1

Определить затухание (ослабление), дисперсию, полосу пропускания и максимальную скорость передачи двоичных импульсов в волоконно-оптической системе с длиной секции L (км), километрическим (погонным) затуханием (ослаблением) α (дБ/км) на длине волны излучения передатчика λ0 (мкм), ширине спектра излучения Δλ0,5 на уровне половины максимальной мощности излучения.

Длина секции L=113 км.=113**.**103 м.

Тип волокна - LEAF (одномодовое оптическое волокно со смещённой ненулевой дисперсией).

Затухание α=0,24 дБ/км.=0,24**.**10-3 дБ/м.

Длина волны λо=1,56 мкм.=1,56**.**10-6 м.

Спектр ∆λ0,5=0,15 нм.=0,15**.**10-12 м.

Хроматическая дисперсия D=4,2 пс/(нм**.**км)

Результирующее максимальное затухание секции находится из соотношения:

αм=α**.**L+αс**.**Nс дБ.

где:

αс – потери мощности оптического сигнала на стыке волокон строительных длин кабеля (αс = 0,05 дБ)

Nс – число стыков, определяемое:

Nс = Е[L/lС–1] = 113/2–1 = 55

где:

lС = 2 км.

αм = 0,24**.**10-3**.**113**.**103+0,05**.**55 = 29,87 дБ.

Результирующая совокупная дисперсия секции находится:

 с.

Полоса пропускания оптической линии определяется из соотношения:

 Гц.

Максимальная скорость передачи двоичных оптических импульсов зависит от ∆Fов и их формы, которую принято считать прямоугольной или гауссовской:

Вг=1,34**.**∆Fов=1,34**.**5,25**.**106=7,03**.**106 бит/с.

# Задача 2

Определить характеристики многомодового лазера с резонатором Фабри – Перо (FP) и одномодового лазера с распределенной обратной связью (DFB).

Определить число мод в лазере FP, для которых выполняется условие возбуждения в полосе длин волн Δλ при длине резонатора L и показателе преломления активного слоя n.

Определить частотный интервал между модами и добротность резонатора на центральной моде λО при коэффициенте отражения R.

Изобразить конструкцию полоскового лазера FP.

Изобразить модовый спектр.

Определить частоту и длину волны генерируемой моды в одномодовом лазере DFB для известных значений дифракционной решетки m и длины лазера L.

Изобразить конструкцию лазера DFB.

Конструкция полоскового лазера FP:

Модовый спектр:

Конструкция лазера DFB:

Параметры лазера FP:

Длина лазера L=300 мкм.=300**.**10-6 м.

Δλ=45 нм.=45**.**10-9 м.

n=3,3.

λО=0,4 мкм.=0,4**.**10-6 м.

R=0,39.

Частота моды определяется из соотношения:

где:

С – скорость света (3**.**108 м/с),

m – номер моды,

L – длина резонатора,

n – показатель преломления.

Расстояние между модами определяется из соотношения:

 м.

Добротность резонатора на центральной моде λ0 определяется из соотношения:

Число мод в интервале Δλ определяется отношением:

M=Δλ/Δλm=45**.**10-9/0,8**.**10-10=556,9

Параметры лазера DFB:

Длина лазера L=250 мкм.=250**.**10-6 м.

Порядок решётки m=7.

Шаг решётки d=0,7 мкм.=0,7**.**10-6 м.

Показатель преломления nэ=3,68.

Для определения длины волны и частоты генерации одномодового лазера DFB необходимо воспользоваться соотношениями:

λ0**.**m=2d**.**nэ =>

м.

 Гц.

 Гц.


#

# Задача 3

Построить зависимость выходной мощности источника оптического излучения от величины электрического тока, протекающего через него.

Для заданных тока смещения и амплитуды модулирующих однополярных импульсов определить графически изменение выходной модуляционной мощности Рмакс и Рмин и определить глубину модуляции η. По построенной характеристике указать вид источника.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| I, мА | 0 | 5 | 10 | 15 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| P1, мкВт | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 90 | 160 | 230 | 310 | 370 |

Ток смещения I=13 мА.

Амплитуда тока модуляции Im=4 мА.

Рис. Ватт - амперная характеристика.

Pmax = 46 мкВт.

Pmin = 33 мкВт.

Для определения глубины модуляции используем соотношение:

 (в разах).


# Задача 4

Построить график зависимости чувствительности фотодетектора от длины волны оптического излучения по данным.

Используя график и данные определить величину фототока на выходе p-i-n фотодиода. По графику определить длинноволновую границу чувствительности фотодетектора. Определить материал для изготовления прибора.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Чувствительность, А/Вт | 0,3 | 0,45 | 0,53 | 0,58 | 0,62 | 0,67 | 0,7 | 0,73 | 0,65 | 0,1 |
| Длина волны, мкм. | 0,85 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,78 |

Мощность излучения Pu=2,0 мкВт.

Длина волны λ=1150 нм.=1,15 мкм.

При решении задачи необходимо учесть соотношения:

где:

ЕФ – энергия фотона,

е – заряд электрона = 1,6**.**10-9 Кл,

ηВН – внутренняя квантовая эффективность фотодиода = 0,5,

h – постоянная Планка= 6,26**.**10-34 Дж**.**с,

С – скорость света = 3**.**108 м/с.

По графику определяем, что материал для изготовления прибора - германий.

Энергия фотона:

 эВ.

Ток фотодиода:

 А.

Чувствительность фотодиода:

А/Вт

Длинноволновая граница чувствительности фотодетектора определяется соотношением:

где:

Еg для германиевых диодов = 0,66 В.

 мкм


# Задача 5

Определить полосу пропускания и отношение сигнал/шум для фотоприемного устройства, содержащего интегрирующий (ИУ) или транс-импедансный усилитель (ТИУ) и фотодетектор (ЛФД или p-i-n).

Характеристики ФПУ:

Тип ФД: ЛФД.

Тип усилителя: ТИУ.

Rэ=90 кОм=90**.**103 Ом.

Сэ=3,8 пФ.=3,8**.**10-12 Ф.

ηвн=0,8 М=15.

Fш(М)=7.

Т=310.

Дш=5.

Кус=150.

Характеристики передачи:

Pпер=0 дБм.

L=60 км.

α=0,6 дБ/км.

λ=0,85 мкм.

Полоса частот усиления ФПУ с ТИУ ограничена полосой пропускания усилителя и находится из соотношения:

 Гц

Фототок детектора создаётся падающей оптической мощностью и зависит от типа фотодетектора. Величина фототока вычисляется из соотношений:

 Вт

 А.

где:

h - постоянная Планка;

е - заряд электрона;

ηВН - внутренняя квантовая эффективность;

М - коэффициент умножения ЛФД;

РПР - мощность сигнала на передаче;

Α - километрическое затухание кабеля;

L - длина кабельной линии.

Для вычисления основных шумов ФПУ, а это квантовый и тепловой шумы, необходимо воспользоваться соотношениями:

 Вт.

 Вт.

где К- постоянная Больцмана 1,38**.**10-23

Отношение сигнал/шум вычисляется из соотношения:


# Задача 6

Используя приложения для оптических интерфейсов аппаратуры SDH, определенных рекомендациями МСЭ-Т G.957, рассчитать число промежуточных регенераторов и расстояние между ними.

Составить схему размещения оконечных и промежуточных станций с указанием расстояний. Определить уровень приема РПР [дБ] на входе первого, считая от оконечной станции, регенератора, вычислить допустимую вероятность ошибки одного регенератора.

Тип оптического интерфейса: S-4.1

Затухание оптического кабеля αк=0,5 дБ/км.

Дисперсия оптического кабеля D=3 пс/(нм**.**км)

Длина линии L=1247 км.

Строительная длина кабеля Lс=4,5 км.

Затухание на стыке длин αс=0,09 дБ.

Из таблицы к методическим указаниям:

Pпер.макс = -4 дБ – излучаемая мощность.

Pпр.мин = -32 дБ – минимальный уровень оптической мощности.

Расстояние между регенераторами определяется из соотношения:

где:

А – энергетический потенциал оптического интерфейса:

A=Pпер.макс.-Рпр.мин.=-4-(-32)=28 дБ.

Э – энергетический запас на старение передатчика и приёмника и восстановление повреждённых линий, рекомендуется:

Э=3 дБ.

αк- затухание оптического кабеля, дБ/км

αс- затухание на стыке строительных длин, дБ

Lс- строительная длина кабеля, км

 км.

Число регенераторов определяется из соотношения:

Совокупная дисперсия регенерационного участка определяется соотношением:

σ=D**.**∆λu**.**Lp

где:

∆λu=0,5**.**∆λ0,5

∆λ0,5- среднеквадратическая ширина спектра источника излучения на уровне 0,5 от максимальной мощности, что соответствует обозначению –3 дБм от максимального уровня.

Для интерфейса S-4.1 приведено значение на уровне –3 дБм это 2,1 нм.

∆λu=0,5**.**∆λ0,5=0,5**.**2,1=1,05 нм.

σ=D**.**∆λu**.**Lp=3**.**1,05**.**48,07=151,44 пс.

Необходимо проверить совокупную дисперсию для регенерационного участка. Она должна быть меньше приведённой в таблице приложения для интерфейса.

По данным таблицы максимальная хроматическая дисперсия составляет 90 пс/нм, т. е. условие не выполняется: 3**.**48,07 = 144,21 пс/нм что больше 90 пс/нм.

Производим пересчет длины регенерационного участка, чтобы совокупная дисперсия не превышала максимальной хроматической.

LP=90/3=30

для того чтобы обеспечить запас выберем длину регенерационного участка равной 29 км.

Тогда:

3**.**29 = 87 пс/нм что меньше 90 пс/нм, т.е. условие выполняется.

Число регенераторов определяем из соотношения:

Допустимая вероятность ошибки одного регенератора вычисляется из норматива на ошибки для магистрального участка сети 10000 км:

Pош=10-7

Таким образом на 1 км линии:

Pош=10-12

Вероятность ошибки вычисляется из соотношения:

Минимальную длину участка регенерации определяют по нижеприведённой формуле, уменьшая в ней энергетический потенциал А на величину D.

D-динамический диапазон регенератора (D=20-26 дБ), примем D=23 дБ.

Уровень приёма Pпр на входе регенератора:

Pпр=Рпер-αк**.**Lp=-4-0,5**.**48,07=-28,04 дБ.

Схема размещения оконечных и промежуточных станций:

