

Лекция: ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Современные источники света, или передатчики, состоят из интегральных схем и лазерных диодов (ЛД) или светоизлучающих диодов (СИД). Их излучение модулируется с помощью отдельных интегральных схем, которые в настоящее время в большинстве своем заменили используемые раньше оптические передатчики, собранные из дискретных электрических компонентов и электрооптических устройств. Сегодня на сцену вышли СБИС, чтобы удовлетворить еще более высоким скоростям и повысить надежность.



Рис. 4.1. Упрощенная блок-схема волоконно-оптического передатчика.

Светоизлучающие диоды

Светоизлучающие диоды — СИДы, используемые в связи, излучают свет в ближней ИК области. Они недороги, по сравнению с большинством лазеров.

Первоначально СИДы использовались с многомодовым волокном, учитывая, что они излучали свет в широком конусе, который мог быть захвачен эффективно только многомодовым волокном, имеющим большую числовую апертуру.

Светоизлучающие диоды

СИД в самом простейшем случае является диодом с р-п гомопереходом, смещенным в прямом направлении.

Рекомбинация пар электрон-дырка в обедненной зоне генерирует свет.

Часть его выходит из диода и может быть собрана и направлена в оптоволокну. Излучаемый свет некогерентен, имеет достаточно широкий спектр (30-60 нм) и излучается в конусе под относительно большим углом.

Структура СИДа может быть классифицирована как структура с излучающей поверхностью или с излучающим срезом, в зависимости от того, излучает ли СИД свет из поверхности, параллельной плоскости перехода, или из среза области перехода. На рис. 4.2 показана конструкция этих двух типов СИДа.

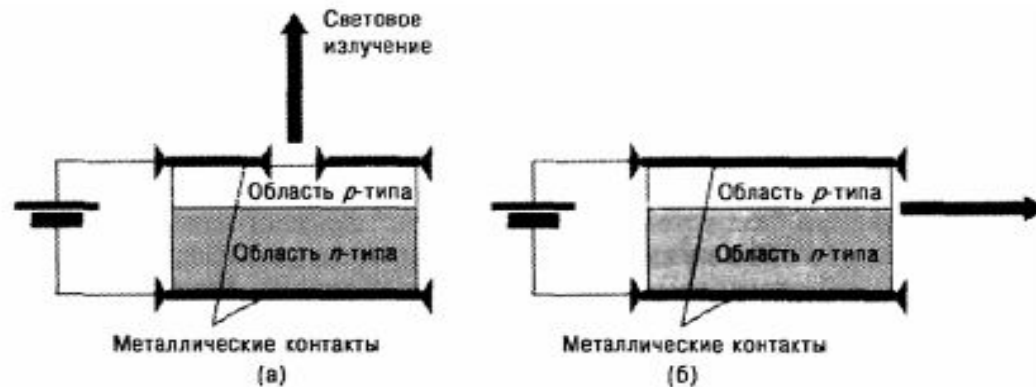


Рис. 4.2. Поперечный разрез СИДа с излучающей поверхностью (а) и СИДа с излучающим срезом (б)

Лазерные диоды

Если системные требования не так строги, то в качестве источника света обычно выбирается СИД. Лазерные диоды обычно используются для линий связи большой длины или при большой скорости передачи (выше 155 Мбит/с). Существует несколько типов ЛД (все моды, рассмотренные ниже, продольные — LM):

- многомодовые (MLM) или с резонаторами Фабри—Перо;
- одномодовые (SLM);
- одномодовые с распределенной обратной связью (DFB), часто называемые DFB-лазерами;
- DFB-лазеры с внешним модулятором;
- лазеры с вертикальной резонаторной полостью и излучающей поверхностью (VCSEL).

Многомодовые (MLM) лазеры, или лазеры с резонаторами *Фабри—Перо*

Многомодовые лазеры, или лазеры с резонатором Фабри-Перо, излучают несколько мод, спектр которых приведен на рис. 4.3. Картина спектра демонстрирует наличие доминантной моды желаемой длины волны и боковые моды меньшей амплитуды, отделенные промежутками шириной примерно в 1 нм. При модуляции излучения лазера модулируется не только основная мода, но и, точно также, боковые моды. Полная ширина спектра оптического излучения такого лазерного источника на уровне половины от максимума (FWHM) при наличии модуляции равна 4-5 нм.

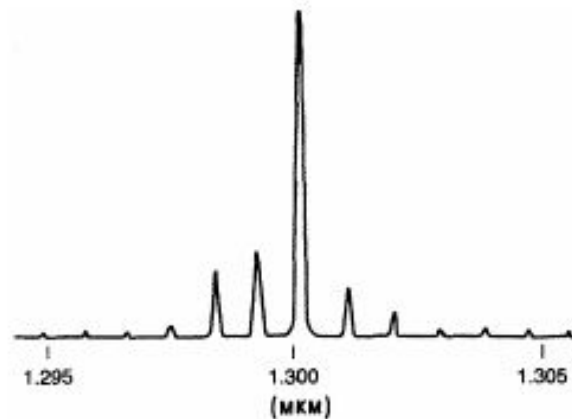


Рис. 4.3. Спектр многомодовых лазеров, или лазеров с резонатором Фабри-Перо

Более тщательное изучение спектра лазера показывает, что несмотря на относительную стабильность полной выходной мощности, мощность каждой отдельной моды может значительно изменяться. Это явление, известное как распределение мощности по модам, имеет важное практическое значение. Когда лазерный сигнал передается по волокну, то, с учетом групповой задержки (хроматической дисперсии), зависящей от длины волны, распределение мощности по модам приводит к возрастанию уровня шума в выходном сигнале. В результате в характеристике системы появляется не зависящий от мощности нижний уровень ошибок, который нельзя снизить путем выделения дополнительной мощности в бюджете системы.

Для систем, работающих со скоростями передачи данных большими, чем несколько сотен Мбит/с, на волокне с малыми потерями, это явление может стать основным фактором, ограничивающим длину пролета секции. Более того, даже небольшие отражения (обратно в сторону лазера) от внешних поверхностей оптического разъема, могут вызвать значительные изменения в «поведении» при распределении мощности по модам, а значит и в характеристиках самой системы.

Замечено, что имеется конечная вероятность того, что уровень четных мод, составляющих, в среднем, несколько процентов от общей мощности, может достичь больше половины общей мощности. В этом смысле было бы правильным определить эффективную ширину спектра лазера, как спектральный диапазон, в пределах которого моды, в среднем, могут переносить 1 или больше процентов общей мощности.

Одномодовые (SLM) лазеры

SLM-лазеры сконструированы так, что потери в резонаторе различны для его различных продольных мод, в противоположность тому, что имеет место для MLM, потери которых независимы от мод. В MLM-лазере продольная мода с минимальными резонаторными потерями достигает порога первой и становится доминантной модой. Другие соседние моды при этом дискриминируются, благодаря их более высоким потерям, которые удерживают нарастание мощности от спонтанного излучения. В этом случае мощность, переносимая этими «вторичными» модами, обычно низкого уровня, меньше 1% полной излучаемой мощности. Если SLM-лазер настроен правильно, то можно ожидать, что первая боковая мода по крайней мере на 30 дБ ниже, чем доминантная мода.

Полупроводниковый лазер с распределенной обратной связью (DFB)

Структура DFB-лазера имеет встроенные возможности выбора длины волны благодаря механизму обратной связи. Обратная связь не локализована в одном месте, а распределена по длине резонаторной полости. Этот тип лазера содержит периодические дифракционные решетки между двумя слоями лазерной структуры (обычно между интерфейсной $p\text{-InP}$ подложкой и $n\text{-InGaAsP}$ слоями) для создания обратной связи на фиксированной длине волны, которая определяется шагом дифракционной решетки. Это соответствует периодическому изменению показателя преломления моды.

DFB-лазер очень чувствителен к оптической обратной связи, в особенности от оптических разъемов, которые служат интерфейсами между лазером и волокном основной линии связи. Даже относительно небольшая обратная связь (уровнем меньше, чем 0,1%, например, [4.1]) может дестабилизировать лазер и повлиять на характеристики системы. Так, например, если ширина линии увеличивается, то может произойти скачкообразное изменение моды и увеличение шума относительной интенсивности (RIN) - шума, генерируемого DFB-лазером).

Полупроводниковый лазер с распределенной обратной связью (DFB)

Важным параметром DFB-лазера является коэффициент подавления моды (MSR). При проектировании таких типов полупроводниковых лазеров основная цель состоит в ослаблении побочных продольных мод и получении максимально возможной мощности доминантной моды.

DFB-лазер — очень дорогое устройство, хотя и жизненно важное для ВОСП. Чтобы быть уверенным в оптимальной работе DFB-лазера и мониторить его, можно добавить несколько компонентов при его сборке. Например, фотодиод (PIN-диодный приемник) для мониторинга его выхода; термоэлектрический охладитель (ТЕС), который управляет температурой интегральной схемы лазера; схему обратной связи, управляющую его выходом и поддерживающую желаемую частоту. Идеальная температура ИС лазера равна 25°C.

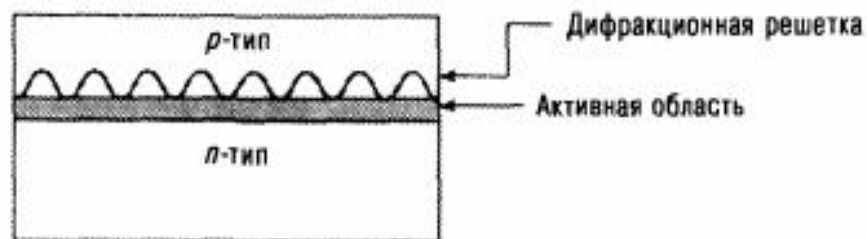


Рис. 4.4. Схема DFB-лазера.

DFB-лазеры с внешним модулятором

До сих пор мы изучали, или, по крайней мере, упоминали, оптические источники с непосредственной модуляцией, так называемой модуляцией интенсивности. Принципиально, все, что мы делаем - это включаем и выключаем лазер, где включение соответствует двоичной 1, а выключение двоичному 0. Фактически же лазер никогда не выключается полностью. Эквивалент такого выключения - это точка на рабочей характеристики лазера, чуть выше порога (т.е. при очень малой выходной мощности) или чуть ниже порога. Установка такого порога важна для уменьшения «чирпа» (линейной частотной модуляции - ЛЧМ), который будет рассмотрен ниже.

Другой подход в формировании двоичных 1 и 0 - это использовать оптический модулятор. Концепции использования непосредственной модуляции и оптического (внешнего) модулятора представлены на рис. 4.5. Заметьте, что оптический модулятор расположен между лазерным источником несущей волны (CW) и выходным интерфейсом волокна. Источник CW -это источник света, который всегда включен, т.е. находится в рабочем состоянии с определенным заданным уровнем мощности на выходе.



(а) Непосредственная модуляция



(б) Внешний модулятор

Рис. 4.5. Иллюстрации концепций лазерного (DFB) передатчика с непосредственной модуляцией (а) и того же лазера, использующего внешний модулятор (б).

Оптические модуляторы являются интегральными устройствами, спроектированными для управления уровнем непрерывной оптической мощности, передаваемой оптическому волноводу. Они работают как затворы; затвор закрыт для двоичного 0 и открыт для двоичной 1.

Характеристики внешнего модулятора численно описываются так называемым коэффициентом ослабления сигнала (ER) — отношением уровней сигнала при включенном и выключенном состояниях и модуляционной шириной полосы.

Модуляторы изготавливаются из электрооптических полимеров. На них достигнута модуляция потоков с предельной скоростью порядка 60 Гбит/с. Такие модуляторы часто интегрируются с электронными схемами привода (драйверами) модулятора.

Другой тип модулятора изготавливается на основе полупроводников. К ним относятся модуляторы, использующие электроабсорбцию. Эта технология использует эффект Франца-Келдыша, в соответствии с которым ширина запрещенной зоны полупроводника уменьшается, если к нему прикладывается поперечное электрическое поле.

Лазер с вертикальной резонаторной полостью и излучающей поверхностью (VCSEL)

Для функционирования лазеров типа MLM (Фабри—Перо), SLM и DFB требуется ток порядка нескольких десятков миллиампер. Кроме того, его выходной (расходящийся) луч, подаваемый на стык с круглым оптоволоком, имеет в поперечном сечении эллипс с коэффициентом сжатия 3:1. Такой луч плохо стыкуется с цилиндрической формой луча, который сердцевина оптоволокну способна принять. Нецилиндрический луч часто требует дополнительной оптики, чтобы состыковать его с круглым поперечным сечением сердечника оптоволокну. Лазер типа VCSEL излучает столь желательный круговой луч. Сравнение геометрий пучков этих двух типов излучения можно провести на основе рис. 4.6.



СИД и лазеры
типа MLM



Лазер типа VCSEL

Рис. 4.6. Сравнение эллиптического выходного луча СИД и лазеров типа MLM, SLM и DFB с круговым выходным лучом, характерным для лазера типа VCSEL.