

Лекция 18

Тема: Анализ принципов формирования оптических модулированных сигналов

- Учебные вопросы:
- 1 Модуляция оптической несущей.
- 2 Непосредственная модуляция оптического излучения.
- 3 Амплитудная модуляция оптического излучения.

1-й вопрос: Модуляция оптической несущей

1. Принцип модуляции оптической несущей.
2. Аналоговые виды модуляции оптической несущей.
3. Импульсные виды модуляции.
4. Особенности видов импульсной модуляции.
5. Требования к ОМ.
6. Группы методов модуляции.
7. Применение методов модуляции.
8. Эффекты для ОМ.
9. Сущность ОМ.

Принцип модуляции оптической несущей

- В оптических системах передачи несущей является оптическое излучение СИД (светодиода) или ПЛД (полупроводникового лазерного диода), которое характеризуется рядом параметров, среди которых имеются и специфические параметры, такие как **интенсивность** и пространственное положение волны оптического излучения или её **поляризация**.
- Модулирующий сигнал может быть электрическим (ток, напряжение), акустическим, механическим и даже оптическим. Модуляция оптической несущей осуществляется либо аналоговым сигналом, либо последовательностью импульсов и поэтому различают аналоговые и импульсные виды

Аналоговые виды модуляции оптической несущей

- – амплитудная модуляция (АМ), когда по закону информационного сигнала изменяется амплитуда оптической несущей;
- – частотная модуляция (ЧМ), когда по закону информационного сигнала изменяется частота оптической несущей;
- – фазовая модуляция (ФМ), когда по закону информационного сигнала изменяется фаза оптической несущей;
- – комбинационные виды аналоговой модуляции (АМ-ЧМ, АМ-ФМ);
- – модуляция по интенсивности (МИ), когда по закону информационного сигнала изменяется интенсивность оптической несущей;
- – поляризационная модуляция (ПМ), когда по закону информационного сигнала изменяется пространственное положение волны оптической несущей.

Импульсные виды модуляции

- АМ, ЧМ, ФМ находят применение в основном для модуляции когерентной оптической несущей, т. е. излучения ПЛД.
- Модуляция интенсивности относится не к амплитуде колебаний поля несущей, а к мощности оптического излучения. При одномодовом излучении это соответствует модуляции квадрата амплитуды, а в случае многомодового – сумме квадратов всех мод (типов колебаний), составляющих поле оптической несущей.
- В импульсном режиме допускается большая глубина модуляции СИД или ПЛД, чем в режиме непрерывной генерации. Поэтому представляет практический интерес использование в оптических системах помехоустойчивых импульсных видов модуляции, к числу которых относятся: амплитудно-импульсная (АИМ) – практически аналог импульсной модуляции интенсивности (ИМИ), широтно-импульсная (ШИМ), частотно-импульсная (ЧИМ), ФИМ или иногда называемая позиционно импульсной модуляцией (ПИМ), интервально-импульсная (ИИМ) импульсная ПИ и др.

Особенности видов импульсной

модуляции

- Применение ШИМ в оптических системах передачи оказывается нецелесообразным, т. к. при этом виде модуляции сравнительно неэффективно используется мощность источника излучения и, кроме того, помехоустойчивость ниже по сравнению с ЧИМ или ФИМ.
- При ФИМ, ЧИМ и ИИМ для передачи информации применяются относительно короткие импульсы одинаковой длительности, что позволяет более эффективно использовать выходную мощность оптического излучения.
- В случае ФИМ информация об отсчётных значениях передаваемого аналогового сигнала заключена во временных интервалах между тактовыми точками и сигнальными импульсами. Данный вид модуляции требует обязательной синхронизации приёмной и передающей аппаратуры, что обеспечивается либо передачей специального синхросигнала, либо синхронизацией приёмной аппаратуры по информационному ФИМ сигналу.
- При ЧИМ частота импульсной последовательности изменяется по закону передаваемого сигнала и нет необходимости поддержания синхронизма приёмопередающей аппаратуры.

Требования к ОМ

- – широкополосность при передаче аналоговых сигналов или быстроедействие при передаче импульсных сигналов;
- – линейность модуляционной характеристики;
- – большой динамический диапазон;
- – технологичность изготовления при воспроизводстве параметров;
- – экономичность в потреблении энергии.

Группы методов модуляции

- 1) **прямая или непосредственная модуляция**, при которой модуляция излучения СИД или ПЛД осуществляется путём изменения тока инжекции или накачки;
- 2) **внешняя модуляция**, осуществляемая воздействием на оптическое излучение вне его источника, т. е. вне ПЛД или СИД; Чаще всего, сигналы, несущие информацию, воздействуют тем или иным образом на вещество, через которое проходит световой луч после выхода из СИД или ПЛД;
- 3) **внутренняя модуляция**, при которой преобразование излучения происходит в процессе его формирования непосредственно в источнике оптического излучения – в структуре ПЛД с помощью соответствующего оптического модулятора, помещаемого внутрь лазерного резонатора, (например, Фабри – Перо), и изменяющего его добротность. Иногда такой вид модуляции оптического излучения называется **автомодуляцией**. Внутренняя модуляция по существу представляет собой разновидность непосредственной модуляции. Благодаря простоте реализации таких модуляторов они довольно широко используются в оптических системах. Главным недостатком является сложность обеспечения

Применение методов модуляции

- Для спонтанных источников света, какими являются СИД, применяется непосредственная модуляция интенсивности излучения посредством управления возбуждением СИД.
- Наибольшее применение в настоящее время уделяется применению методов внешней модуляции. Для внешней модуляции необходимо, чтобы модулирующий сигнал воздействовал на оптическое излучение через модулятор, представляющий собой систему, в которой происходит взаимодействие света с веществом. В таких модуляторах используются кристаллы из материала, у которых либо показатель преломления, либо поглощение света изменяются модулирующим сигналом.

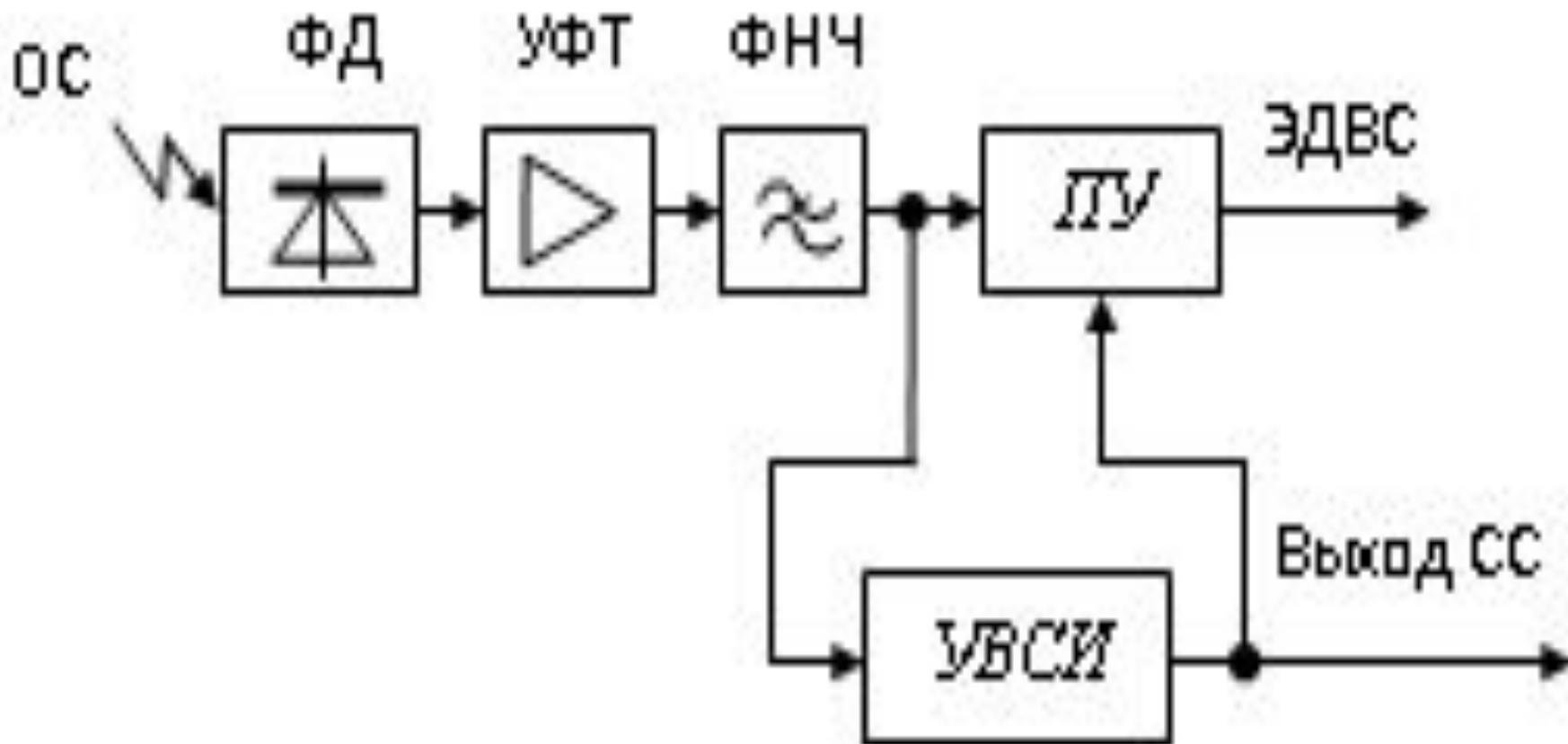
Эффекты для ОМ

- – **электрооптический**, у которого изменение оптических свойств материала осуществляется под воздействием электрического тока или напряжения; модуляторы, использующие этот эффект называются **электрооптическими модуляторами (ЭОМ)**;
- – **магнитооптический**, у которого изменение оптических свойств материала осуществляется под воздействием напряженности магнитного поля; модуляторы, использующие этот эффект называются **магнитооптическими модуляторами (МОМ)**;
- – **акустооптический**, у которого изменение оптических свойств материала осуществляется под воздействием внешнего давления, создаваемого акустическими волнами; модуляторы, использующие

Особенность оптического модулятора

- Принципы действия оптических модуляторов реализуются на основе физических эффектов, протекающих при распространении светового потока в различных средах, как правило, в кристаллах соответствующей структуры.
- Так как прием оптического излучения, модулированного по частоте, фазе или поляризации, сопряжен с техническими трудностями, то на практике все эти виды модуляции оптической несущей преобразуют в амплитудную модуляцию (или модуляцию по интенсивности) непосредственно в модуляторе, либо с помощью специальных устройств, помещаемых перед оптическим модулятором.
- Оптический амплитудный модулятор представляет устройство, в котором происходит взаимодействие оптического излучения (света) с кристаллом, свойства которого изменяются под воздействием управляющего или модулирующего сигнала: электрического или магнитного полей или внешнего давления.

Схема демодулятора оптического излучения



Работа схемы демодулятора

- Демодулятор оптического сигнала, промодулированного по интенсивности двоичным цифровым сигналом, представляет классический приемник оптического сигнала. Оптический сигнал (ОС) с модуляцией интенсивности (МИ) поступает на фотодетектор (ФД), где преобразуется в электрический – фототок, который усиливается усилителем фототока (УФТ), высокочастотные помехи отфильтровываются фильтром
- нижних частот (ФНЧ). Затем сигнал поступает на схему принятия решения – пороговое устройство (ПУ), на выходе которого формируется электрический двоичный сигнал (ЭДВС).
- Принятие решений осуществляется с помощью устройства восстановления синхроимпульсов (УВСИ), поступающих на вход ПУ и в устройство синхронизации генераторного оборудования

2-й вопрос: Непосредственная модуляция оптического излучения

1. Принцип модуляции в цифровых ВОСП.
2. Модуляция в цифровых ВОСП.
3. Время модуляции.
4. Скорость модуляции.
5. Задержка генерации.
6. Явление резонанса.
7. Эффект Патана.
8. Непосредственная модуляция ПЛД.
9. Схема непосредственного модулятора.
0. Работа схемы модулятора.

Модуляция в цифровых ВОСП

- В цифровых ВОСП в настоящее время применяется непосредственная (прямая) модуляция интенсивности оптического излучения путём управления током накачки ПЛД или СИД двоичным сигналом, представляющим случайную последовательность «1» и «0». Этим элементарным сигналам будет соответствовать мощность излучения, равная $P(t) = P_{и}$ при передаче «1» и $P(t) = 0$ (пауза) при передаче «0».
- Характеристики непосредственной модуляции в значительной степени определяются рядом специфических

Скорость модуляции

- Скорость непосредственной модуляции (т. е. переход от $P(t) = P_{и}$ к $P(t) = 0$ и наоборот) определяется временем жизни **спонтанного излучения** $\tau_{сп}$, а именно, временем затухания излучения, вызванного рекомбинацией носителей. На скорость влияет время жизни фотонов резонатора $\tau_{ф}$, т. е. время затухания световой волны резонатора, которое определяется прозрачностью отражательных зеркал и поглощением в материале, а также отношение тока смещения $I_{см}$ и порогового значения инжектированного тока $I_{п}$
- Время жизни спонтанного излучения составляет от долей до нескольких наносекунд, что обеспечивает возможность быстрого «включения/выключения» модулятора, а, следовательно, обеспечения модуляции частотами **в несколько гигагерц**

Задержка генерации

- При возбуждении лазера скачком тока I наблюдается задержка генерации на время t_3 , необходимое для возрастания плотности носителей до порогового уровня.
- Величина t_3 может быть несколько уменьшена, если на ПЛД подать ток смещения $I_{см}$.
- Релаксационные колебания переходного процесса нежелательны, так как приводят к тому, что форма выходного светового потока

Явление резонанса

- При возникновении временной задержки t_3 и ее совпадении с периодом модулирующего сигнала глубина модуляции резко возрастает и возникает **явление резонанса**. При непосредственной модуляции мощность излучения практически остаётся постоянной до частоты, близкой к резонансной. При превышении частоты f_p мощность излучения на выходе модулятора резко падает и модуляция становится невозможной.
- Релаксационные колебания переходной характеристики ПЛД соответствуют резонансной частоте. Можно считать, что при импульсной модуляции током накачки длительностью $t_n \gg$ в каждый момент времени интенсивность принимает стационарное значение согласно статической ватт-амперной характеристики ПЛД.
- При $t_n = 2\pi$ и $f \approx f_p$ существенное влияние начинают оказывать переходные процессы.
- Релаксационные колебания можно подавить с помощью оптической накачки обратной связью по выходному световому потоку.

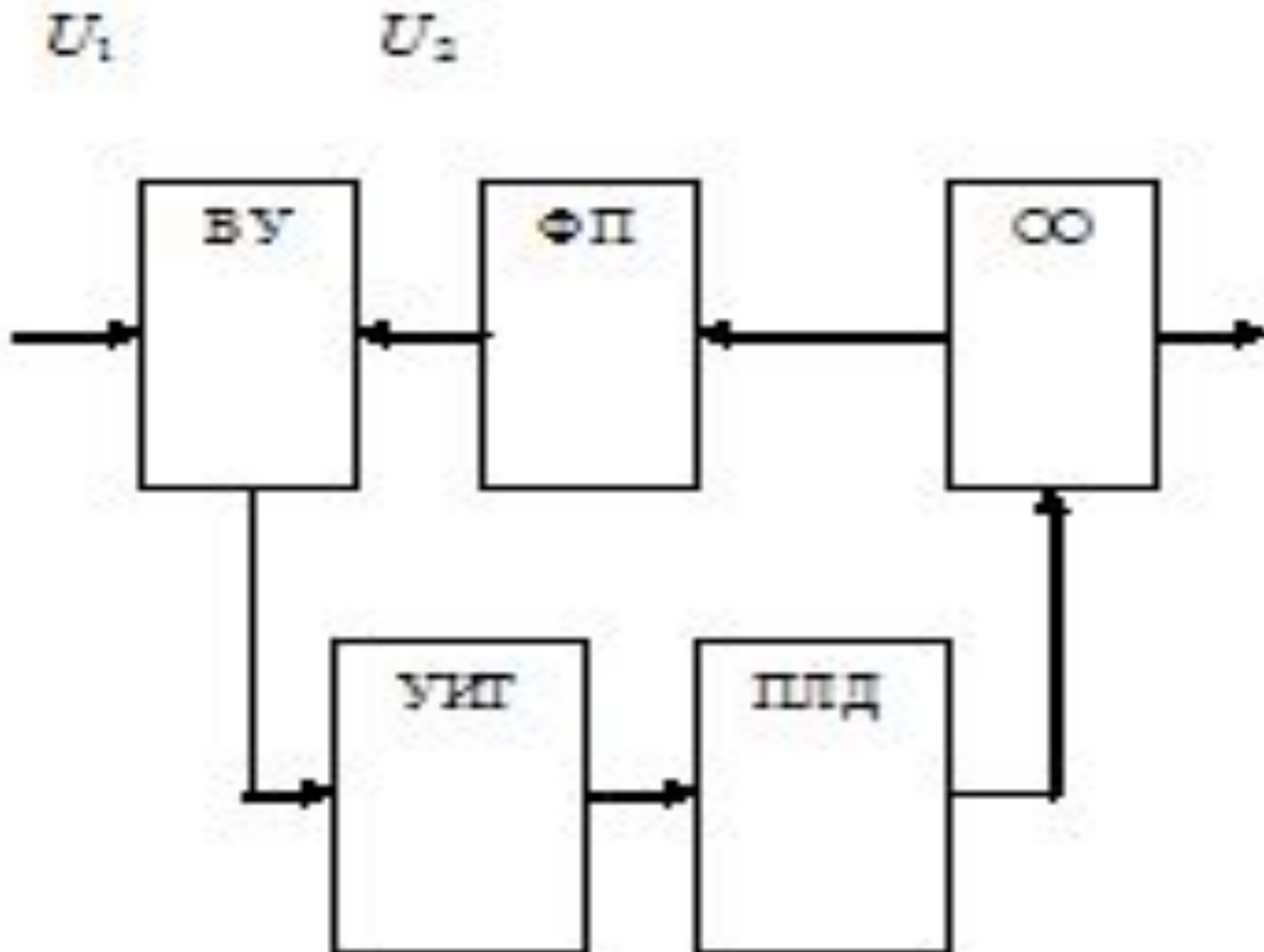
Эффект Патана

- Даже после того как импульс тока инжекции (накачки) достигает нулевого значения, инжектированные носители продолжают существовать в течение времени t_n и, накапливаясь, вызывают спонтанное излучениеⁿ света (лазер работает как СИД). Такое накопление носителей приводит к изменениям модуляционной характеристики, поскольку при подаче следующего импульса к образующимся носителям добавляются те, что были накоплены в течение предыдущего. Это явление называется **эффектом Патана**. Однако если по окончании основного импульса тока инжекции приложить импульс отрицательной полярности, то накопленные носители не вызывают излучения и эффект Патана не возникает. Ширина импульса при этом сокращается, что и позволяет осуществлять импульсную модуляцию с более высокой скоростью.

Непосредственная модуляция ПЛД

- Непосредственная модуляция ПЛД отвечает требованиям импульсной модуляции. Если выбрать ток смещения $I_{\text{см}}$ больше порогового $I_{\text{п}}$, то обеспечивается возможность модуляции небольшой мощностью с высоким быстродействием с частотами, достигающими десятков гигагерц. Однако при этом существует недостаток: при длинной серии «1» создаются благоприятные условия для возникновения эффекта Патана, приводящего, в частности, к тому, что вместо «0» возникает импульс «1».
- Модуляторы для непосредственной модуляции оптического излучения ПЛД реализуются с использованием **управляемых источников оптического излучения** (УИОИ), построенных по принципу непрерывного сравнения входного сигнала с выходным, который предвари-

Схема непосредственного модулятора



Работа схемы модулятора

- ВУ – вычитающее устройство; УИТ – управляемый источник тока; ПЛД – полупроводниковый лазерный диод; ФП – фотоприемник; ОО – оптический ответвитель, формирующий сигнал оптической обратной связи. Модулирующий сигнал U_1 поступает на вход вычитающего устройства, на второй вход которого поступает сигнал обратной связи U_2 . Последний формируется фотоприемником цепи обратной связи, который воспринимает часть полезного светового потока, излучаемого ПЛД, преобразует его в электрический сигнал U_2 и подает на ВУ. Устройства ОО, ФП и ВУ представляют цепь отрицательной обратной связи, которая, как известно, обладает стабилизирующими свойствами и позволяет значительно уменьшить уровень

3-й вопрос: Амплитудная модуляция оптического излучения

1. Реализация амплитудной модуляции.
2. Правовинтовая система для векторов E и H .
3. Поляризация света.
4. Двулучепреломление.

Реализация амплитудной модуляции

- В полупроводниковых лазерных диодах может быть осуществлена модуляция амплитуды **когерентного** оптического излучения ПЛД путём изменения мощности накачки (инжекции) в пределах от пороговых до оптимальных значений.
- Оптические модуляторы, осуществляющие амплитудную модуляцию, в настоящее время реализуются на основе различного вида оптических эффектов в кристаллах, помещенных в электрическое, магнитное поле или путем механических деформаций под воздействием акустических волн.

Правовинтовая система для векторов \mathbf{E} и \mathbf{H}

Световой поток представляет собой электромагнитное поле, из теории которого следует, что световые волны являются поперечными, т. е. для них векторы электрического (\mathbf{E}) и магнитного (\mathbf{H}) полей волны взаимно перпендикулярны и лежат в плоскости, перпендикулярной к вектору ***скорости*** распространения \mathbf{v} волн. Три вектора \mathbf{E} , \mathbf{H} и \mathbf{v} составляют ***правовинтовую систему***: ***из конца вектора \mathbf{v} вращение передается от \mathbf{E} к \mathbf{H} по кратчайшему расстоянию против***

Поляризация света

Если в световом потоке есть электромагнитные волны с самыми различными направлениями колебаний векторов \mathbf{E} и \mathbf{H} , то такой свет называют ***неполяризованным*** или естественным светом. Свет, в котором вектор \mathbf{E} , а, следовательно, и вектор \mathbf{H} имеют одно единственное направление, называется ***плоско-поляризованным***, или ***прямолинейно-поляризованным***.

Двулучепреломление

- Если направить на анизотропный кристалл поток неполяризованного света, то при преломлении на границе кристалла этот поток расщепляется на два потока, распространяющихся по разным направлениям. При достаточно узком исходном потоке на выходе кристалла достаточной толщины будет получено два световых потока, разделенных по двум взаимно-перпендикулярным направлениям. Кристаллы, обладающие такими свойствами, называются **двойкопреломляющими**.
- Двойное лучепреломление наблюдается и в том случае, когда поток света направлен перпендикулярно поверхности кристалла, т. е. угол падения равен нулю. При этом на выходе одноосного кристалла один из двух лучей распространяется без преломления, он служит продолжением первичного потока и называется **обыкновенным лучом**, а второй – преломляется, т. е. угол преломления для него отличается от нуля, и называется **необыкновенным лучом**. Эти два луча на выходе из кристалла являются линейно поляризованными в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.
- Распространение обыкновенного и необыкновенного лучей в одноосном кристалле осуществляется по разным законам. Для обыкновенного луча одноосный кристалл является *изотропным*, т. е. показатель преломления (ПП) обыкновенного луча n_o не зависит от направления его распространения. В то же время для необыкновенного луча эта закономерность не наблюдается: ПП необыкновенного луча n_e зависит от направления его распространения относительно оптической оси кристалла. Только вдоль оптической оси оба луча распространяются с

Формирование эллиптической поляризации

- Предположим, что перпендикулярно к поверхности пластинки одноосного кристалла, которая вырезана параллельно оптической оси, падает монохроматический плоско-поляризованный свет. Обыкновенный и необыкновенный лучи в этом случае будут распространяться в кристалле по одному направлению, но с различной скоростью. Электрический вектор необыкновенного луча направлен вдоль оси кристалла, а обыкновенного – перпендикулярно оси. В результате прохождения пластинки за счет различных скоростей распространения между колебаниями обоих лучей образуется разность фаз – обыкновенный луч отстает по фазе от необыкновенного. Амплитуды этих колебаний также будут различными.
- Сложение двух взаимно-перпендикулярных колебаний с различными амплитудами и разностью фаз приведет к образованию эллиптического колебания, т. е. колебания, при котором конец результирующего вектора описывает эллипс с угловой частотой ω исходного колебания. Такой свет называется эллиптически поляризованным.