

1.3. СВОЙСТВА СВЕТОВОДА, ОСНОВАННЫЕ НА ЗАКОНАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

1.3.1 Волновая трактовка световых процессов. Классы волн

Волны подразделяются на классы и типы.

На уровне электромагнитного взаимодействия с молекулами учитывается явление электрической поляризации, пространственные электрические E и магнитные H поля. Они допускают колебания соответствующих векторов (E , H) только в определённых плоскостях.

Волноведущую систему можно представить идеальным цилиндром с продольной осью z , а оси x и y образуют поперечную (xy), горизонтальную (xz) и вертикальную (yz) плоскости. В этой системе выделяют 4 класса волн по признаку отсутствия либо наличия продольных составляющих E_z и H_z (рисунок 1.7).

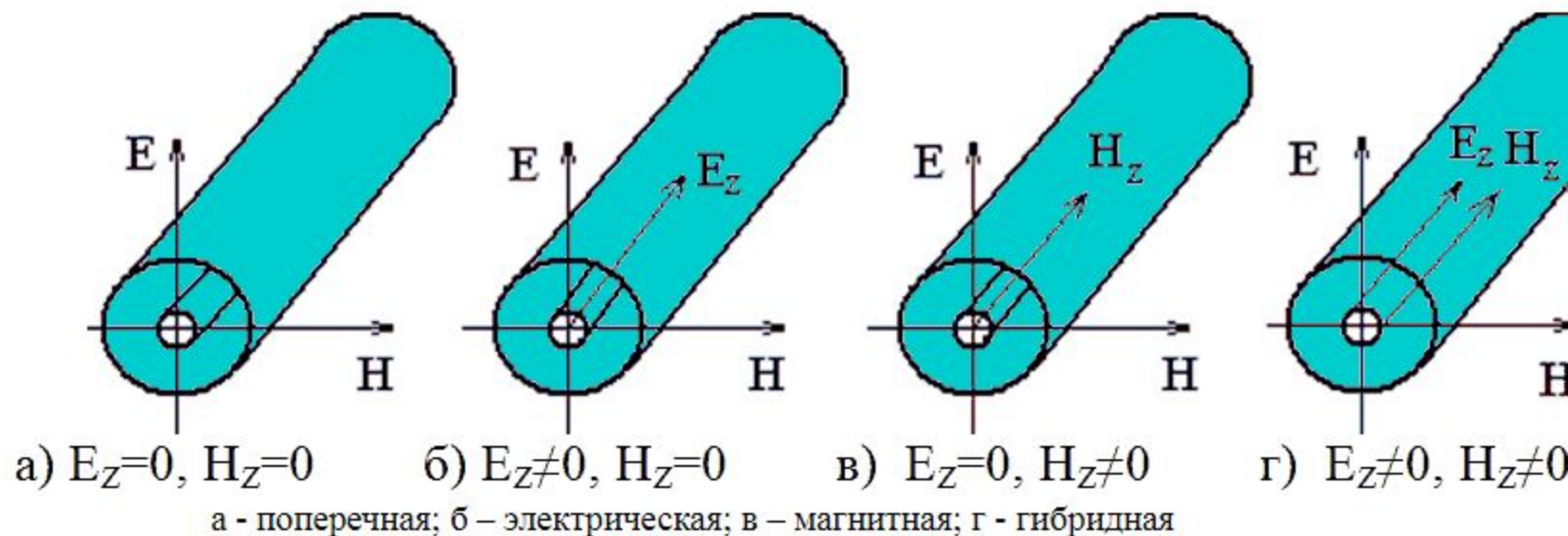


Рисунок 1.7 – Классы волн

1. При $E_z=0$ и $H_z \neq 0$ направляемую волну называют поперечной электромагнитной волной или Т-волной (Т – первая буква латинского слова transverses – поперечный). В



Линии передачи

- Устройства, в которых происходит образование и распространение направляемых электромагнитных волн называют **линиями передачи**.
- Выделяют 2 основные группы линий передач:
 - **Открытые линии передачи** – в них поле не экранировано снаружи и частично существует в пространстве, окружающем линию.
 - **Волноводные (закрытые) линии передачи** – имеют одну или несколько проводящих поверхностей с поперечным сечением в виде замкнутого проводящего контура, охватывающего область распространения электромагнитной волны. Поле в волноводе полностью экранировано его внешней оболочкой.

<http://foos.sfedu.ru/ogl.html> оптические линии связи

По режиму работы ЛП бывают с *бегущей* или *стоячей* волнами. Чтобы получить режим бегущей волны, надо сопротивление нагрузки и волновое (характеристическое) сопротивление линии сделать равными, т.е. надо согласовать линию с нагрузкой ($RH = ZЛ$). На СВЧ режим чисто бегущей волны при коэффициенте бегущей волны (КБВ), равном единице, получить обычно невозможно. Практически очень хорошо, если КБВ = 0,8...0,9. Ухудшение работы линии при этом незначительно. Во многих случаях довольствуются величиной КБВ = 0,5-0,7.

Распространяемые по волноводу электромагнитные волны условно можно разделить на два основных типа:

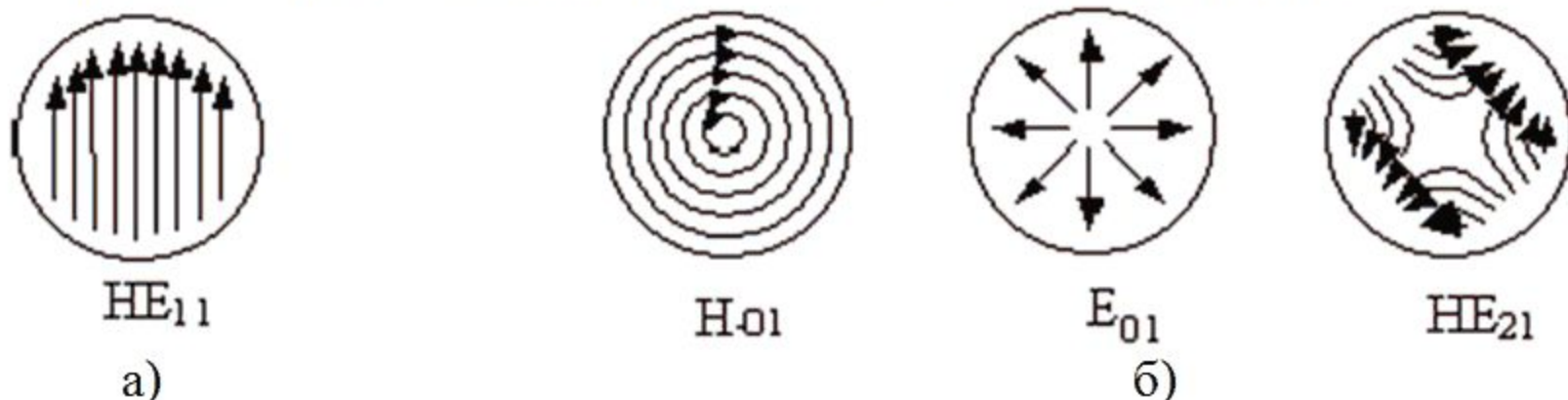
Поперечно-электрические (магнитные) волны обозначаемые условно **TE** (символ **T** — обозначает поперечные, символ **E** — электрические), либо **H** — волны.

Поперечно-магнитные (электрические) волны обозначаемые условно **TM** либо **E** — волны.

Каждый тип волны обозначается соответствующей буквой с индексом из двух цифр (**m**, показывающим число стоячих полуволн вдоль **большой** (**m**) и **меньшей** (**n**) сторон поперечного сечения волновода. Таким образом, по названию волны можно определить

1.3.3 Структура поля

Как мы убедились, вдоль круглого неоднородного диэлектрического световода с осесимметричным распределением ε в сердцевине возможно распространение дискретного числа различных по структуре поля типов колебаний (мод) (рисунок 1.9).



а – мода самого низкого порядка; б – первый ряд мод более высоких порядков

Рисунок 1.9 – Картины векторов поперечного электрического поля в поперечном сечении сердцевинны ступенчатого волоконного световода для четырёх мод самых низких порядков. Они отличаются кроме числа вариаций поля по азимуту и радиусу ещё и соотношением между продольными компонентами E_z и H_z .

1.3.4 Оптические параметры световода

Основными электродинамическими характеристиками регулярного световода при небольшом числе распространяющихся мод являются:

- дисперсионные характеристики;
- характеристики распределения полей.

На рисунке 1.10. представлены результаты расчётов зависимости c/v_ϕ (c – скорость света, v_ϕ – фазовая скорость световой волны) основной и нескольких высших мод от нормированной частоты V .

радиальные (число полных изменений поля по диаметру) (рисунок 1.8).

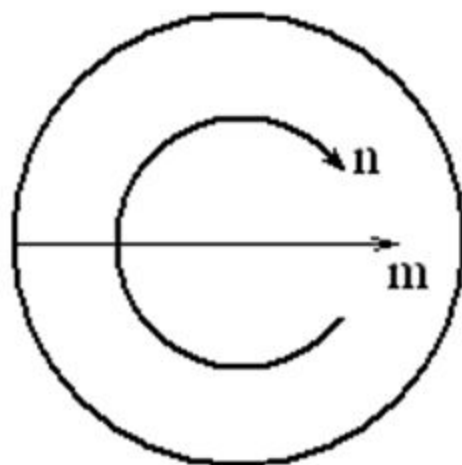


Рисунок 1.8 – Пояснение к понятию «тип волны»

Оказывается, что в ВС существуют только два типа волн HE_{nm} и EH_{nm} .

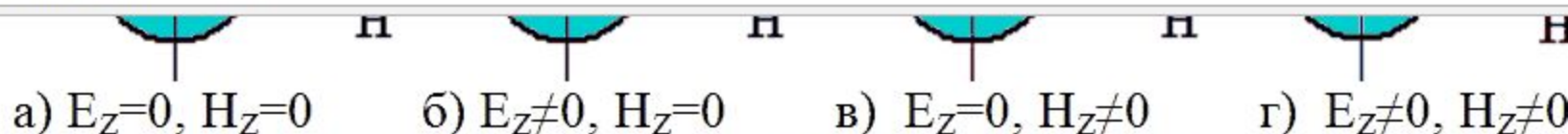
При $n=0$ имеем симметричные моды E_{0m} и H_{0m} .

При $n \geq 1$ имеем несимметричные (гибридные) моды HE_{nm} и EH_{nm} .

Часть внеапертурных лучей распространяется в оболочке, соответствующие им моды называют *оболочечными*. Они играют определённую роль в улучшении характеристик световодов. Чем меньше диаметр сердцевины d_c , тем меньше сечение светового потока, поступающего в оптическое волокно, тем меньше различных типов колебаний (обусловленных множеством решений уравнений Максвелла), или мод, возникает в нём.

В ОМ волокноном световоде поддерживается только одна гибридная мода HE_{11} , называемая *основной модой*. В ММ волоконном световоде поддерживаются различные, как гибридные моды так и Е- и Н- моды.

Не все моды указанных наборов можно реализовать. Чтобы понять, какие моды могут возникнуть, нужно провести достаточно сложный и кропотливый анализ. Сопоставляя волновую теорию с геометрической оптикой, следует отметить, что симметричные моды E_{0m} и H_{0m} соответствуют *меридиональным* лучам, несимметричные (смешанные) моды HE_{nm} и EH_{nm} – *косым* лучам.



а - поперечная; б - электрическая; в - магнитная; г - гибридная

Рисунок 1.7 – Классы волн

1. При $E_z=0$ и $H_z \neq 0$ направляемую волну называют поперечной электромагнитной волной или Т-волной (Т – первая буква латинского слова transverses – поперечный). В поперечной электромагнитной волне векторы напряжённости электрического и магнитных полей лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. В диэлектрическом волноводе поперечная электромагнитная волна распространяться не может.
2. При $E_z \neq 0$ и $H_z=0$ направляемую волну называют электрической или Е-волной. Электрическая волна – это электромагнитная волна, вектор напряжённости электрического поля которой имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор напряжённости магнитного поля лежит в плоскости, перпендикулярной направлению распространения.
3. При $E_z=0$ и $H_z \neq 0$ направляемую волну называют магнитной или Н-волной. Магнитная волна – это электромагнитная волна, вектор напряжённости магнитного поля которой имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор напряжённости электрического поля лежит в плоскости, перпендикулярной направлению распространения.
4. При $E_z \neq 0$ и $H_z \neq 0$ направляемую волну называют гибридной или смешанной. Гибридную волну называют также НЕ- или ЕН-волной. Первое обозначение используется, когда структуру поля определяет в основном составляющая H_z и направляемая волна ближе по структуре к Н-волне. Если определяющая E_z , то волну обозначают как ЕН-волна.
В гибридной волне векторы электрического и магнитного полей имеют отличные от нуля поперечные и продольные составляющие.

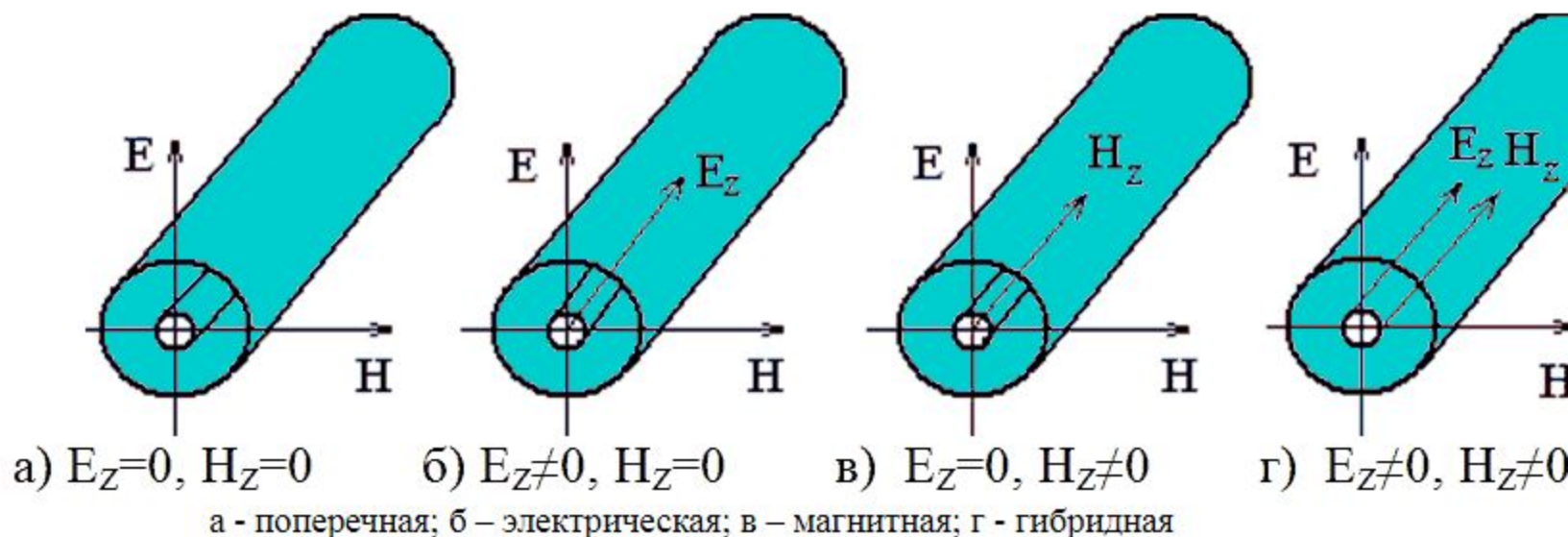


Рисунок 1.7 – Классы волн

1. При $E_z=0$ и $H_z \neq 0$ направляемую волну называют поперечной электромагнитной волной или Т-волной (Т – первая буква латинского слова transverses – поперечный). В поперечной электромагнитной волне векторы напряжённости электрического и магнитных полей лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. В диэлектрическом волноводе поперечная электромагнитная волна распространяться не может.
2. При $E_z \neq 0$ и $H_z=0$ направляемую волну называют электрической или Е-волной. Электрическая волна – это электромагнитная волна, вектор напряжённости электрического поля которой имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор напряжённости магнитного поля лежит в плоскости, перпендикулярной направлению распространения.
3. При $E_z=0$ и $H_z \neq 0$ направляемую волну называют магнитной или Н-волной. Магнитная волна – это электромагнитная волна, вектор напряжённости магнитного поля которой имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор напряжённости электрического поля лежит в плоскости, перпендикулярной