

## Л 11 Основные характеристики линий передачи.

Назначение направляющих систем – линий передачи.

Определение и классификация электромагнитных волн в линиях передачи.

Полосковые и волноводные линии. Т-волна в коаксиальной линии передачи.

Под направляющей системой понимают устройство, ограниченное в двух измерениях и осуществляющее передачу ЭМ энергии в третьем измерении.

Электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль направляющей границы такого устройства называются *направляемыми*, а сама направляющая граница (линия) – *линией передачи (ЛП)* или *фидером*. Две основные группы линий передачи (ЛП):

Открытые: поле не экранировано снаружи и частью может существовать в пространстве, окружающем ЛП.

Закрытые или волноводные: имеют одну или несколько проводящих поверхностей с поперечным сечением в виде замкнутого проводящего контура, охватывающего область распространения ЭМВ. Поле в волноводе полностью экранировано его внешней оболочкой.

Направляющая система называется **регулярной**, если ее поперечное сечение неизменно по длине. Среда, заполняющая волновод, также должна обладать неизменными свойствами в указанном направлении. Если в направлении распространения энергии характеристики волновода изменяются, волновод называют **нерегулярным**. Волноводы могут быть однородными и неоднородными. Волновод, заполненный средой, свойства которой в поперечном сечении остаются неизменными, называется **однородным**.

КПД любых линий передачи не может равняться единице, так как в них наблюдается затухание направляемых волн вследствие потерь энергии, которые характеризуются **коэффициентом затухания  $\alpha$** .

Направляющие системы должны удовлетворять ряду технических требований:

- малый коэффициент затухания, обеспечивающий высокий КПД фидера, либо достаточный уровень сигнала для качественного приема на конце участка линии связи;
- обеспечение заданной передаваемой мощности, что существенно для мощных фидеров. При этом не должен возникать электрический пробой и температурный перегрев системы;
- экономическая целесообразность, определяемая умеренными поперечными размерами, малым весом, доступными материалами, простотой конструкции и технологии производства и т. п.

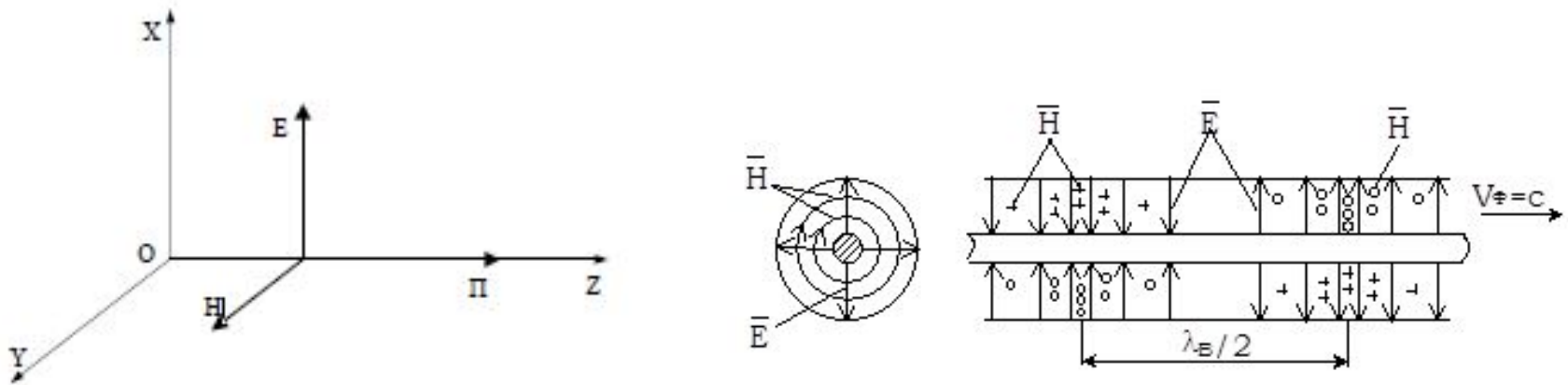
Основной задачей анализа полей в направляющих системах является определение структуры поля – получение расчётных формул составляющих векторов поля, построение по ним силовых линий и эюргов распределения поля для некоторого времени  $t = \text{const}$ .

При расчёте структуры поля следующей методикой:

1. по уравнению Гельмгольца определяют одну из продольных составляющих векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$
2. используя уравнения Максвелла, через продольные составляющие определяют поперечные.

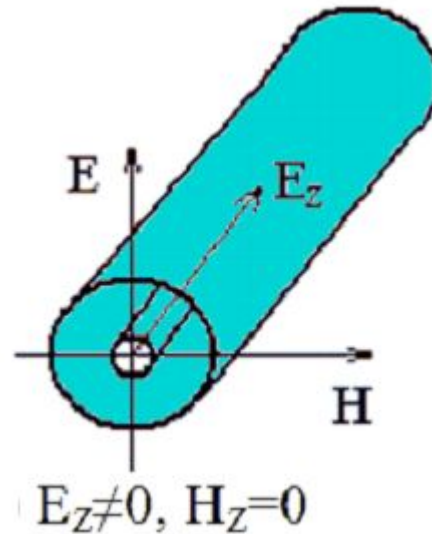
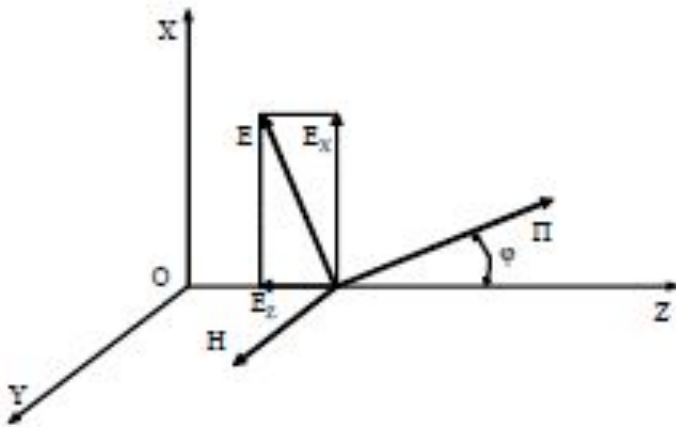
ЭМВ классифицируются в зависимости от наличия или отсутствия в них продольных составляющих электрического либо магнитного векторов.

1. Оба вектора, электрический и магнитный, перпендикулярны оси ЛП и, следовательно, не имеют продольных составляющих, т.е.  $H_z = 0$ ,  $E_z = 0$ . Вектор Пойнтинга  $\Pi$  направлен вдоль оси  $Z$ . Такие волны носят название *поперечных* электромагнитных волн – волн типа Т или ТЕМ (Transverse Electromagnetic).

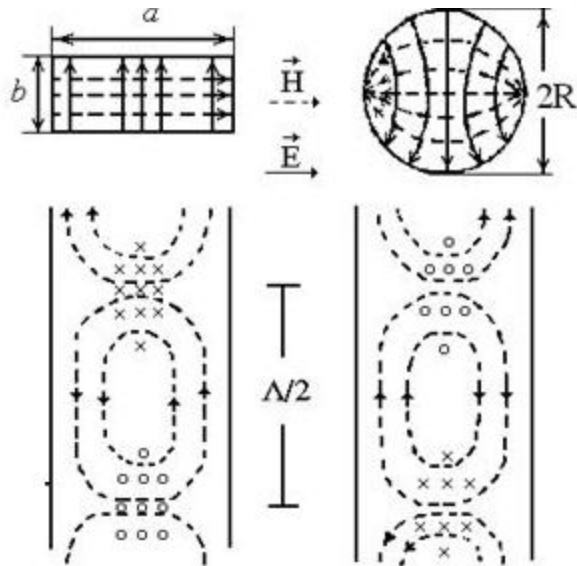
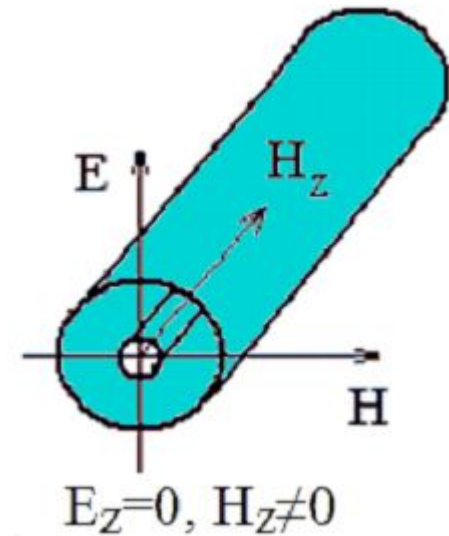
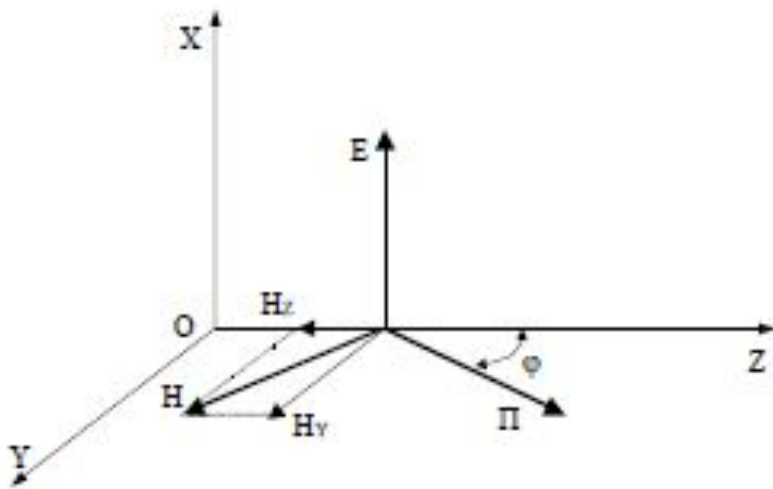


1. При  $E_z=0$  и  $H_z=0$  направляемую волну называют поперечной электромагнитной волной или Т-волной (Т – первая буква латинского слова transverses – поперечный). В поперечной электромагнитной волне векторы напряжённости электрического и магнитных полей лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. В диэлектрическом волноводе поперечная электромагнитная волна распространяться не может.

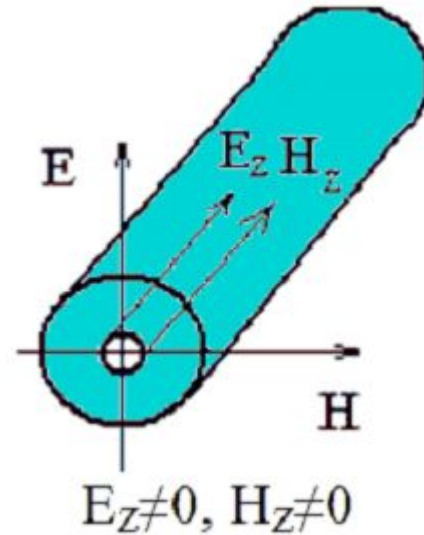
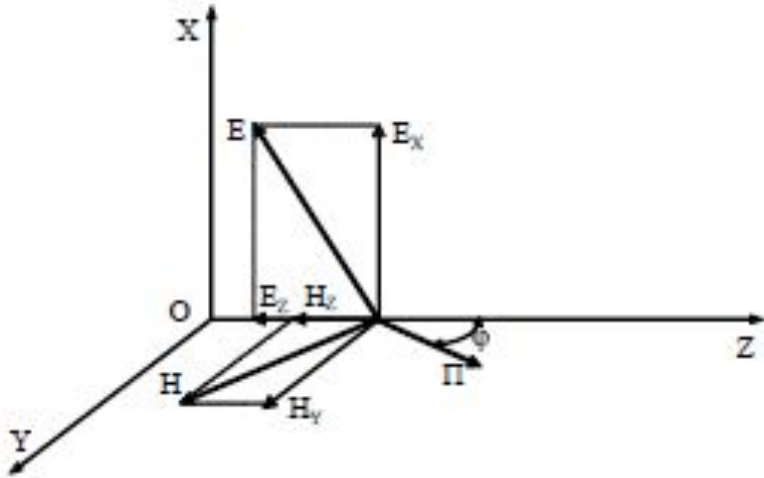
2. Электрический вектор имеет отличную от нуля продольную составляющую  $E_Z$  не равен 0, в то время как магнитное поле волны поперечно, т.е.  $H_Z = 0$ . Вектор Пойнтинга  $\Pi$  лежит в плоскости  $XOZ$  и направлен под углом  $\varphi$  относительно оси  $Z$ . Такие направляемые волны называются волнами типа E (Electric).

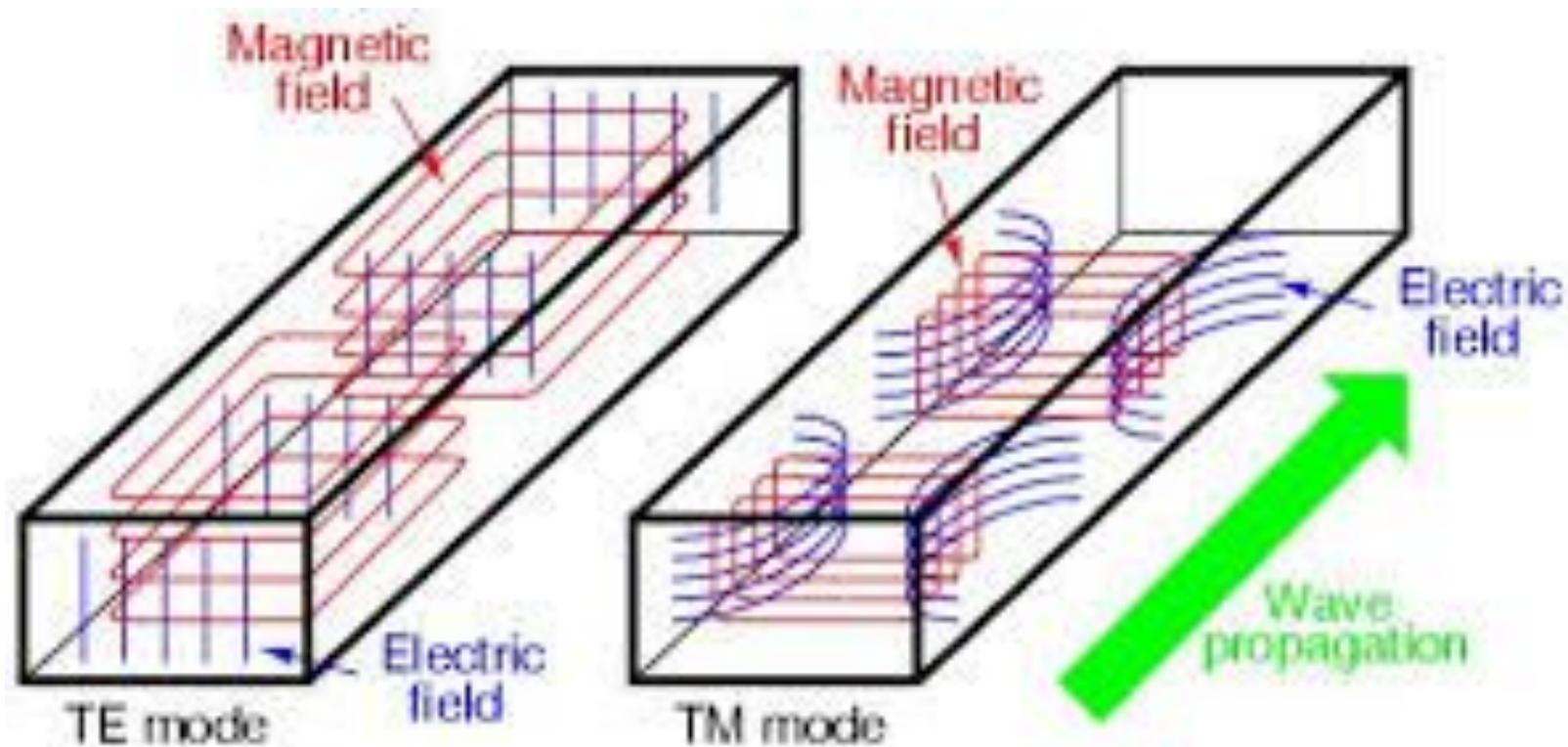


3. Продольную составляющую имеет магнитный вектор ( $H_z \neq 0$ ), а электрическое поле поперечно ( $E_z = 0$ ). Вектор Пойнтинга  $\Pi$  лежит в плоскости  $YOZ$  и направлен под углом  $\varphi$  относительно оси  $Z$ . Такие направляемые волны называются волнами типа  $H$ .



4. В ЛП могут существовать волны, одновременно имеющие продольные составляющие электрического и магнитного полей ( $E_z$  и  $H_z$  не равны нулю). Вектор Пойнтинга  $\Pi$  не лежит в плоскости  $YOZ$  или  $XOZ$ . Такие волны получили название смешанных или гибридных.

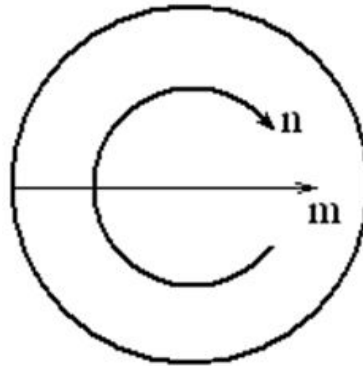




*Magnetic flux lines appear as continuous loops*  
*Electric flux lines appear with beginning and end points*



## Типы волн (моды)



В теории применяется дополнительная классификация волн для конкретных линий передачи. Эта классификация учитывает изменения структуры поля в поперечных координатах. Она реализуется введением в обозначение типов волн (мод) индексов  $n$  и  $m$  ( $n, m = 0, 1, 2, \dots$ ).

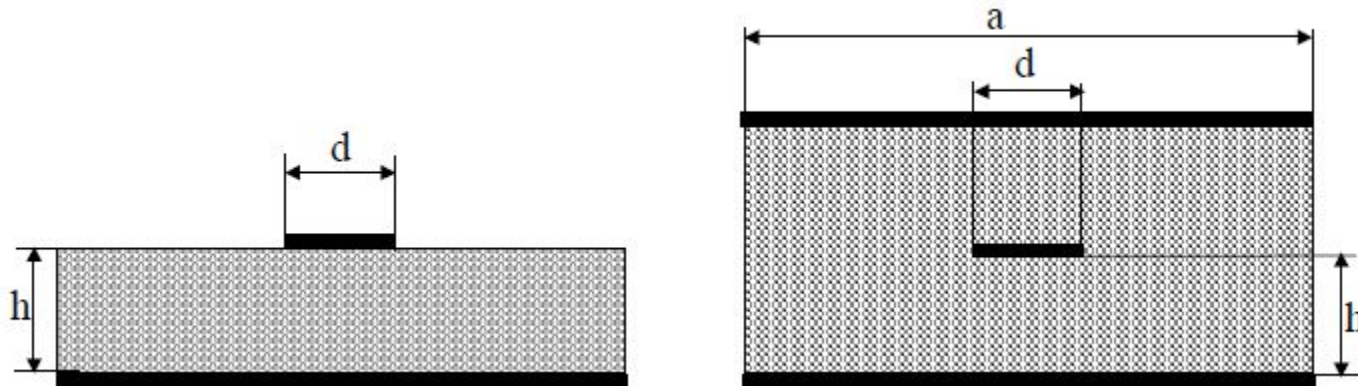
Типы колебаний - моды – определяются решениями системы уравнений Максвелла. Уравнения Максвелла дают набор из  $n, m$  решений, т.е. различных типов волн (появляются целые индексы  $n$  для каждого целого  $m$ ). На основе такого анализа можно показать, что по одному световоду может распространяться только определённый дискретный набор электромагнитных волн (мод). В результате формируется набор мод, перебор которых основан на использовании двойных индексов. Индекс  $n$  характеризует азимутальные (угловые) свойства волн (число полных изменений поля по окружности), а  $m$  – радиальные (число полных изменений поля по диаметру)

$HE_{nm}$  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  $EH_{nm}$ .

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.

## ПОЛОСКОВЫЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

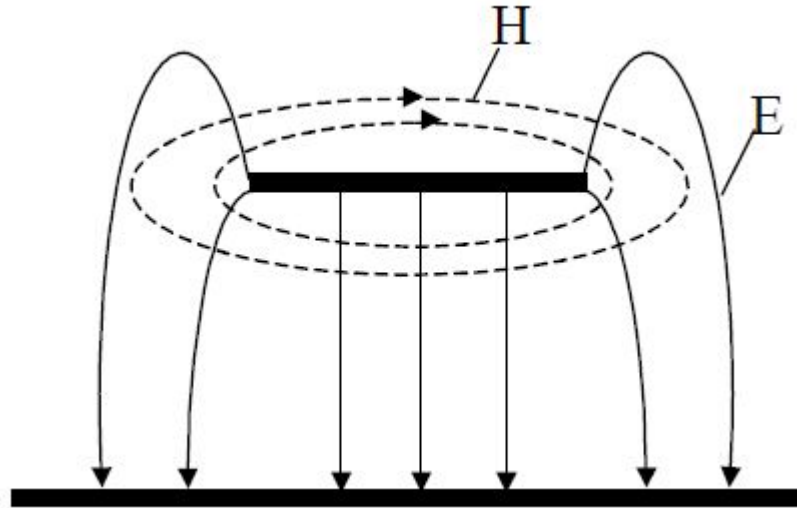
На дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волнах применяют полосковые ЛП. В большинстве случаев их изготавливают путём нанесения металлических слоёв на диэлектрик с малыми потерями. Эти линии являются практически единственно пригодными для применения в интегральных микросхемах (плёночных и полупроводниковых). В этом случае ЛП называют *микростриповыми*.



В несимметричной полосковой ЛП имеются два проводника, один из которых представляет собой металлическую полоску (полосок) постоянных размеров, другой – широкую металлическую пластину (подложку).

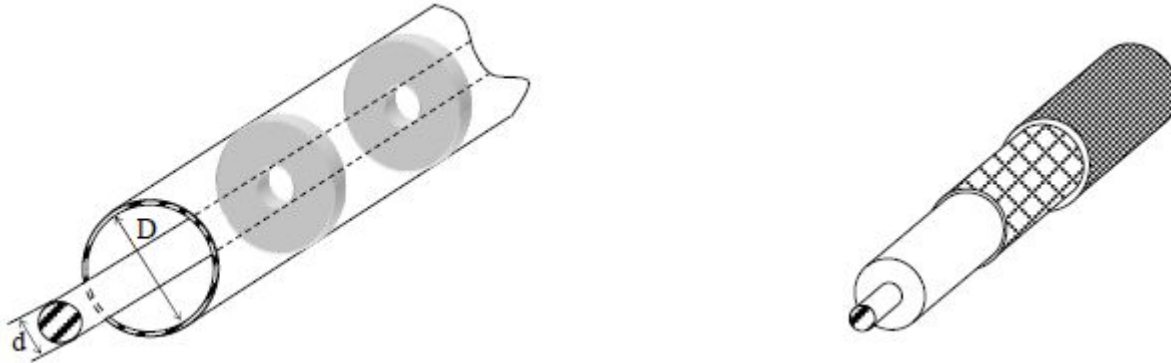
В симметричной полосковой ЛП имеется три проводника. Полосок в большинстве случаев имеет сложную конфигурацию (топологию) и наносится напылением металла сквозь маски либо выполняется фотохимическим способом.

Полосковые линии передачи занимают промежуточное положение между двухпроводными ЛП и волноводами. Можно считать, что в полосковых ЛП распространяется поперечная ЭМВ, хотя наличие твёрдого диэлектрика несколько искажает структуру поля. Такая ЭМВ называется *квазипоперечной*.



## Т-ВОЛНА В КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Коаксиальная ЛП – два соосных проводника с заданными размерами, центрированные диэлектрическими шайбами или сплошным диэлектрическим заполнением.



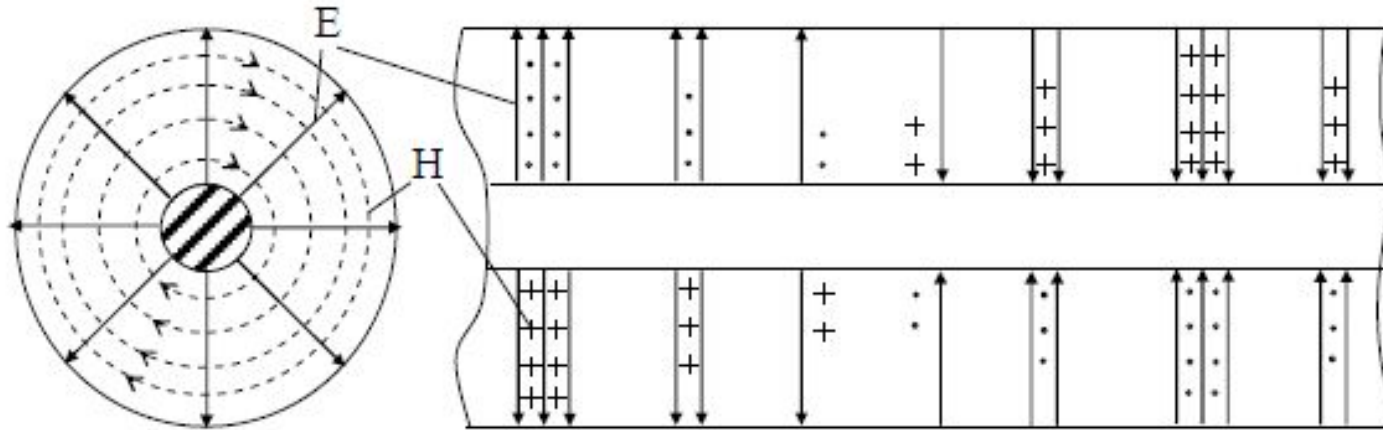
В коаксиальной ЛП могут существовать ЭМВ различных типов: Т, Е, Н и гибридные. Основной является Т-волна, остальные считают паразитными.

Для того, чтобы в коаксиальной ЛП распространялась только поперечная волна, выбирают геометрические размеры фидера:  $\pi(D + d) < l$ .

Для предотвращения излучения геометрические размеры ЛП должны удовлетворять условию:  $\pi(D - d) \ll \lambda$ .

Для передачи больших мощностей из-за опасности пробоя невозможно использовать коаксиальную ЛП в диапазоне частот короче дециметровых волн (ДМВ).

## Структура Т-волны в поперечном и продольном сечениях коаксиальной линии передачи



электрическая составляющая ЭМП имеет только радиальную, а магнитная – только азимутальную компоненты в цилиндрической системе координат  $r, \varphi, z$ :

$$\dot{E}_r = -ik \frac{A}{r} e^{-ikz},$$

$$\dot{H}_\varphi = -i\omega\epsilon_a \frac{A}{r} e^{-ikz},$$

где  $A$  – некоторая произвольная постоянная, характеризующая амплитуду. Коаксиальные ЛП нашли применение в технике связи и РТО для передачи СВЧ-энергии, построения элементов СВЧ-тракта в диапазонах длин волн от дециметровых до дециметровых.

<https://studopedia.org/2-23634.html>

<http://siblec.ru/index.php?dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC8zc2VtL2NvdXJzZTkzL2xIYy90OV8xLmh0bQ==#9.2>

<http://stydopedia.ru/2x7a28.html>