

идеально проводящие стенки (они всегда замыкаются сами на себя). Простейшая волна этого типа — TM_{11} (рис. 5). С увеличением размера V . м. число мод растёт. При этом поперечное сечение V . м. разбивается на ячейки, каждая из k -рых как бы представляет собой элементарный V . м. с одной из простейших мод — типа TE_{10} , TE_{11} или TM_{11} .

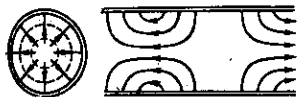


Рис. 6. Структура поля волны TM_{01} в круглом волноводе.



Рис. 7. Структура поля волны TE_{01} в круглом волноводе.

Аналогично можно построить распределение полей в V . м. любого поперечного сечения. На рис. 6—9 показаны структуры полей для мод внутри V . м. круглого сечения. Простейшей является мода TE_{11} (рис. 9), k -рая топологически соответствует волне TE_{10} в прямоугольном V . м.

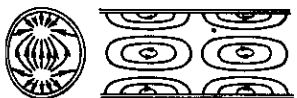


Рис. 8. Структура поля волны TM_{11} в круглом волноводе.



Рис. 9. Структура поля волны TE_{11} в круглом волноводе.

Если ω меньше мин. критич. частоты данного волновода, то в нём не существует распространяющейся волны. Однако если сечение неоднородно, как, напр., в двухпроводной линии или в коаксиальном кабеле, то одна волна имеет нулевую критич. частоту, т. е., по крайней мере, распространяется при сколь угодно низкой частоте, в ней $E_z=0$, $H_z=0$, фазовая скорость в случае вакуумного заполнения не зависит от частоты и равна c , групповая скорость тоже равна c . Это кабельная, или TEM -мода; она используется практически во всех НЧ энергетич. линиях передач и линиях связи.

Иногда, особенно на миллиметровых волнах или при передаче большой мощности, применяют т. н. сверхразмерные V . м., сечение k -рых настолько велико, что в них может распространяться не только осн. волна, но и неск. других волн. При этом возможен нежелат. процесс преобразования — перехода энергии от одного типа волны к другому. Такие преобразования происходят на любой нерегулярности, напр. на изгибе V . м., на неточном (со смещением или изломом) стыке двух волноводных секций и т. д. Для предотвращения преобразований и для ослабления вызываемого ими нарушения структуры поля применяют, в частности, разл. корректирующие диэлектрич. пластинки, вводимые внутрь V . м. Используя ферритовые материалы, можно создать V . м. с невзаимными свойствами (обычно однододовые), в k -рых волны одного и того же типа, распространяющиеся в противоположных направлениях, имеют разл. свойства. Такие системы используют в качестве СВЧ-вентилей.

Нераспространяющиеся волны, для k -рых $\omega < \omega_{кр}$, образуются вблизи любой нерегулярности, элементов связи, волноводных элементов, но поле их быстро убывает при удалении от этих элементов. В нек-рых устройствах эти волны используют для создания градуируемых аттенуаторов поля в V . м.

Все волноводные моды (кроме кабельных) быстрые: их фазовая скорость $v > c$ (в общем случае больше скорости однородной плоской волны в среде, заполняющей V . м.) и всегда величина зависит от частоты ω , причём $dv/d\omega < 0$, т. е. V . м. подобен среде с норм. дисперсией (см. *Дисперсия волн*). Групповая скорость волны любого типа в V . м. обратно пропорциональна v : $v_{гр} = c^2/v$; она меньше скорости света c в вакууме. Т. к. v и $v_{гр}$ различны для разных мод, то для неискажённой пере-

дачи сигналов следует либо работать в диапазоне частот, допускающих распространение только одной, простейшей моды, либо, наоборот, пользоваться сверхразмерными многододовыми V . м., когда при $v \rightarrow c$ из множества распространяющихся мод может быть сформирован почти оторванный от стенок волновой пучок (см. *Квазиоптика, Оптический резонатор*).

Возбуждение V . м. осуществляется с помощью антенн: металлич. штыря (электрич. диполь), петли (магн. диполь), отверстия или щели (щелевая антенна). Электрич. диполь должен быть ориентирован по линиям поля E нужной моды, петли должны пронизываться линиями H , а щели прорезываться в стенках поперёк линий тока, т. е. вдоль линий H . Эффективность возбуждения зависит также от характеристик антенны, обычно оптимальным является равенство её внутр. сопротивления *сопротивлению излучения* в данную моду.

Затухание волн в V . м. обусловлено потерями энергии в металлич. стенках или диэлектрич. среде. Частотная зависимость коэф. затухания $\beta(\omega)$ из-за потерь в стенках показана на рис. 10; при очень больших

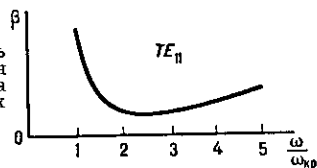


Рис. 10. Частотная зависимость коэффициента затухания β для моды TE_{11} круглого волновода из-за потерь в проводящих стенках.

ω потери растут с частотой для всех мод, кроме волны TE_{0n} в круглом V . м.

V . м. служат фидерными устройствами в радиолокац. и др. системах, т. е. используются для передачи сигнала от передатчика в передающую антенну и от приёмной антенны к приёмнику. Фидерная система на СВЧ имеет вид волноводного тракта, состоящего из разл. волноводных узлов.

Осн. преимуществом V . м. по сравнению с обычными линиями передачи (двухпроводной линией и коаксиальным кабелем) являются относительно малые потери энергии. Причина состоит в том, что при одинаковых внеш. размерах V . м. и двухпроводной линии (или коаксиального кабеля) поверхность волновода, по k -рой протекают электрич. токи (при распространении волны), обычно больше, чем поверхность проводов двухпроводной линии (или жилы коаксиального кабеля). Т. к. глубина проникновения токов во всех случаях определяется скин-эффектом, то плотности токов, а следовательно, и джоулевы потери в V . м. меньше, чем в линии.

Лит.: Лебедев И. В., Техника и приборы СВЧ, 2 изд., т. 1, М., 1970; Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П., Справочник по элементам волноводной техники, 2 изд., М., 1967; Харвей А.-Ф., Техника сверхвысоких частот, т. 1—2, пер. с англ., М., 1965; Каценеленбаум В. З., Высокочастотная электродинамика, М., 1966; Фелсен Л., Маркувиц Н., Излучение и рассеяние волн, т. 1—2, пер. с англ., М., 1978; Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П., Теория волн, М., 1979. М. А. Миллер.

ВОЛНОВОД ОПТИЧЕСКИЙ — см. *Световод*.

ВОЛНОВОД ПЛАЗМЕННЫЙ — искусственное или естественное плазменное образование с неоднородным профилем диэлектрич. проницаемости, один из размеров k -рого значительно больше других. В плазме при определ. условиях может образоваться канал, по k -рому происходит направленное распространение эл.-магн. энергии. В. п. — разновидность *волновода диэлектрического*. В. п. могут быть со свободной границей (плазменный цилиндр, удерживаемый магн. давлением, ионосферные слои) или жёсткой (плазменный цилиндр, заполняющий стеклянную трубку, плазма твёрдых тел). Плотность плазмы в В. п. может быть постоянной (однородный В. п.) или переменной, обычно убывающей от центра к краям (неоднородный В. п.). В. п. используют для транспортировки эл.-магн. энергии в плазме, изучения свойств и нагрева плазмы, измерения её