

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Колледж электроники и бизнеса

Кафедра электронной техники и физики

Л.А. БУШУЙ

АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО
КУРСА РАЗДЕЛА «РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН»

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
Государственного образовательного учреждения
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2004

ББК 32.84 я73
Б-90
УКД 621.37(075.3)

Рецензент
преподаватель Есипов Ю.В.

Бушуй Л.А.

**Б 90 Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн:
Методические указания по изучению теоретического курса раздела
«Распространение радиоволн». - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 41 с.**

Методические указания предназначены для студентов ГОУ ОГУ КЭиБ электротехнического факультета в помощь при изучении раздела «Распространение радиоволн» дисциплины «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн». Методические указания систематизируют материал по данному разделу предмета и послужат хорошим справочным материалом для подготовки к экзамену и итоговому тестированию.

ББК 32.84 я73

© Бушуй Л.А., 2004
© ГОУ ОГУ, 2004

Введение

Целью методического указания является:

- 1) систематизация теоретического материала из нескольких источников;
- 2) помощь студентам в изучении данного теоретического курса;
- 3) организация более продуктивной работы на уроках по данной дисциплине с использованием данных методических указаний;
- 4) помощь при подготовке к итоговому тестированию;
- 5) помощь в подготовке к экзамену по данной дисциплине.

Методические указания построены на базе учебной литературы по данной дисциплине, которая систематизирована в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта для специальности 2014 «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники».

Учебное пособие может быть использовано преподавателями и студентами при изучении раздела «Распространение радиоволн» предмета «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн», подготовки студентов к экзамену по данной дисциплине и итоговому тестированию.

В пособии представлены примеры расчетов дальности приема радиоволн.

1 Общие сведения о радиосвязи

Радиотелевизионная аппаратура в нашей жизни стала главным информатором, собеседником и даже другом. И, естественно, нам хочется, чтобы изображение было четким, звук чистым, краски полноцветными. К тому же очень хочется, чтобы каналы принимать все, на всех частотах. Как добиться желаемого?

Получить высококачественное изображение и чистый звук можно только при правильно выбранной, тщательно изготовленной и установленной антенне.

Чтобы сделать правильный выбор, мы изучим особенности телевизионного вещания в городской и сельской местности, параметры антенн и усилителей, элементы фидерных линий, способы борьбы с помехами.

Условия приема телепередач разнообразны. В городах с разноэтажной застройкой, многие здания находятся в теневых зонах, поэтому принимаемый сигнал становится слабым и неустойчивым. Трудноустраняемые помехи на экране телевизора в виде повторных изображений создаются телевизионными сигналами, отраженными от зданий, строительных кранов, линий электропередачи, а также сигналами, наведенными электромагнитным полем непосредственно на входные цепи телевизора. Источником интенсивных помех, особенно в городах, являются излучения, связанные с работой радиостанций различного назначения, промышленных предприятий, медицинских учреждений. В сельской местности сложные условия приема возникают в низинах, непосредственно за лесными массивами и железнодорожными насыпями. Очень сложны условия приема в районах с сильно пересеченным рельефом местности, особенно в горных районах.

1.1 Деление радиоволн на диапазоны

Передача информации на малые и большие расстояния может осуществляться с помощью электромагнитных волн (радиоволн), свободно распространяющихся в пространстве (без использования проводов или кабелей) со скоростью света $C=300000$ км/с.

Электромагнитные волны являются одним из видов материи и представляют собой периодически меняющиеся и взаимно связанные переменные электрическое и магнитное поля.

Радиоволны занимают часть спектра электромагнитных колебаний, ограниченную пределами 3 кГц — 3000 ГГц (длина волны 100 км — 0,1 мм

соответственно). Указанные колебания обладают разными свойствами при их генерировании, усилении и распространении.

В настоящее время спектр радиоволн делят на несколько диапазонов (таблица 1).

Таблица 1- Диапазоны радиоволн

Диапазон волн	Длина волны в свободном пространстве	Диапазон частот
СДВ — сверхдлинные волны	10 000— 10000 м	3—30 кГц
ДВ — длинные волны	10 000— 1 000 м	30 — 300 кГц
СВ — средние волны	1000—100 м	300 кГц — 3 МГц
КВ — короткие волны	100— 10 м	3 — 30 МГц
УКВ— ультракороткие волны	10— 1 м	30 — 300 МГц
	1 м — 10 см	300 МГц — 3 ГГц
	10—1 см	3 — 30 ГГц
	1 см — 1 мм	30 — 300 ГГц
	1—0,1 мм	300 — 3000 ГГц

Как видно из таблицы, в основу деления положен десятичный принцип, учитывающий в то же время особенности распространения волн каждого диапазона. Следует помнить, что такое деление весьма условно, так как резкой границы между диапазонами не существует.

В любой радиолинии между передающим и приемным пунктами находится природная среда (атмосфера, искусственные сооружения и естественные препятствия), которая не поддается никакому управлению. Физические свойства среды, в которой распространяются радиоволны, подвержены непрерывному и случайному изменению из-за естественных явлений в природе.

1.2 Атмосфера и ее влияние на распространение радиоволн

Атмосферой называется газообразная оболочка Земли, простирающаяся до высоты примерно 20000 км. В ней различают три области: тропосферу, стратосферу и ионосферу (рисунок 1).

Нижние слои атмосферы до высоты примерно 15 км называют тропосферой. Она представляет собой смесь азота, кислорода, водяных паров и т.д. В тропосфере при нормальных условиях с увеличением высоты температура, влажность и давление воздуха непрерывно уменьшаются. При этом заметно меняются электрические свойства тропосферы.

Выше тропосферы (до 60 км) располагается стратосфера.
Область ионосферы (60-20000 км) состоит из ионизированных газов,

6

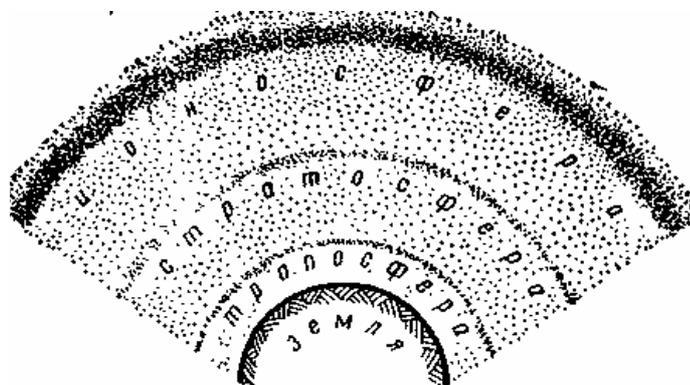


Рисунок 1- Строение атмосферы

Ионосфера оказывает существенное влияние на характер распространения радиоволн. Одни радиоволны проходят через ионосферу, другие отражаются от нее, причем отражение может происходить от разных ее слоев в зависимости от длины распространяющейся волны

По способу распространения радиоволны делятся на поверхностные (земные), распространяющиеся вдоль поверхности Земли, и пространственные, идущие от антенны в пространство с последующим отражением от верхних слоев ионосферы (рисунок 2).

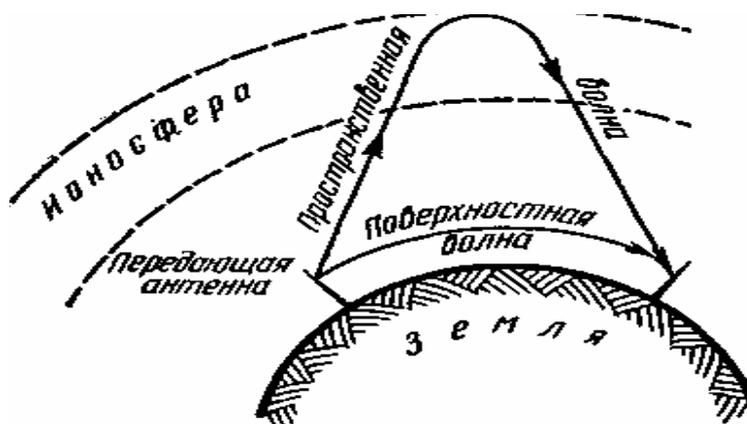


Рисунок 2- Способы распространения радиоволн

В процессе распространения поверхностных волн их энергия частично поглощается Землей. Поглощение энергии тем больше, чем меньше длина

волны. Поверхностные волны при распространении огибают земную поверхность и встречающиеся на пути препятствия. Это явление носит название дифракции

При прохождении через слои атмосферы, имеющие различные диэлектрические постоянные, радиоволны преломляются подобно лучу света при переходе из одной среды в другую. В результате этого траектория волны искривляется. Отклонение радиоволн от прямолинейного направления называется рефракцией.

Радиоволны диапазонов ДВ, СВ и КВ могут быть поверхностными и пространственными, т. е. отраженными от слоев ионосферы. В диапазоне УКВ радиоволны практически не отражаются от ионосферы, они «пробирают» эти слои и уходят в мировое пространство. Поверхностные ультракороткие волны могут быть прямыми и отраженными, например, от Земли (рисунок 3).

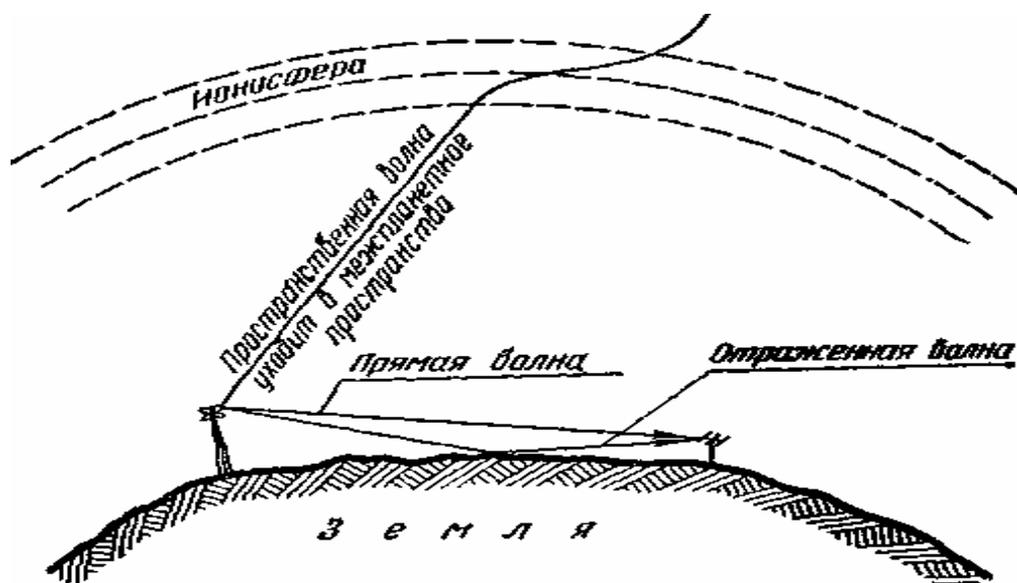


Рисунок 3 - Способы распространения поверхностных ультракоротких волн

Явление дифракции в диапазоне УКВ выражено слабо (радиоволны распространяются почти прямолинейно), поэтому дальность связи на таких волнах определяется главным образом расстоянием прямой видимости.

1.3 Зона гарантированного приема телевизионных передач

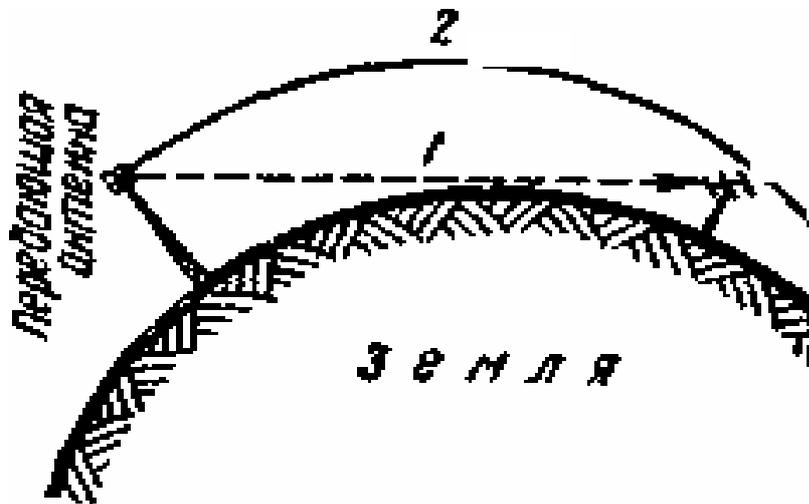
Современному телевизионному вещанию в диапазоне УКВ свойственно одно из ограничений, связанное с тем, что радиус действия передающих станций составляет всего несколько десятков километров. В лучшем случае он несколько превышает сотню километров. Это объяс-

няется тем, что ультракороткие волны распространяются главным образом в пределах прямой видимости.

Как же определить максимальное расстояние прямой видимости R_0 между передающей и приемной антеннами? Если не учитывать влияние тропосферы на распространение УКВ и считать, что они распространяются прямолинейно (линия 1, рисунок 4), то для равнинной местности величина R_0 определяется выражением:

$$R_0 = 3,57(\sqrt{H} + \sqrt{h}), \quad (1)$$

где H и h — высота расположения соответственно передающей и приемной антенн в метрах, а R_0 — в километрах.



- 1 — в пределах прямой видимости;
2 — в пределах радиовидимости.

Рисунок 4 - Распространение ультракоротких волн

Если, например, передающая антенна расположена на высоте 225 м, а приемная — на высоте 16 м, то максимальное расстояние прямой видимости окажется равным:

$$R_0 = 3,57 (\sqrt{225} + \sqrt{16}) = 3,57 (15 + 4) = 67,83 \text{ км.}$$

В действительности же в атмосфере ультракороткие волны могут распространяться не прямолинейно, а по некоторой кривой, обращенной вогнутостью к Земле (линия 2, рисунок. 4). Причиной этого является атмосферная рефракция. Поскольку относительная диэлектрическая проницаемость воздуха при нормальном состоянии тропосферы непрерывно убывает с высотой, траектория радиоволны получается

искривленной, причем степень искривления существенно зависит от характера изменения электрических свойств тропосферы. Поэтому дальность распространения радиоволн несколько превышает получаемое при расчете максимальное расстояние прямой видимости. Эту дальность называют максимальным расстоянием радиовидимости $R_{рв}$ и определяют по формуле:

$$R_{рв} = 4,120(\sqrt{H} + \sqrt{h}), \quad (2)$$

В приведенном выше примере максимальное расстояние радиовидимости составит 78,28 км.

Рассмотрим теперь, что представляет собой зона гарантированного приема телевизионных передач. Под этой зоной следует понимать некоторое пространство, в пределах которого обеспечивается радиовидимость, а напряженность электромагнитного поля в месте установки приемной антенны оказывается достаточной для регулярного и качественного приема телевизионных сигналов с помощью любого промышленного телевизора. Максимальное расстояние радиовидимости, как правило, является границей зоны гарантированного приема и представляет собой радиус действия телевизионного центра. Эта граница характеризуется минимальным значением напряженности поля в месте приема (на высоте приемной антенны), при котором отношение сигнала на входе телевизионного приемника к внутренним шумам, пересчитанным к его входу, равно величине, обеспечивающей требуемое качество изображения.

Радиус действия каждого телецентра зависит от высоты установки передающей и приемной антенн, мощности передатчика, рельефа местности и других факторов. С целью увеличения радиуса действия телевизионных центров, передающие антенны устанавливаются обычно на опорах высотой в несколько сот метров.

Для установки антенн используют естественные возвышения (Киев) или высотные здания (Харьков). Нельзя не упомянуть о телевизионной башне в Останкино — самом высоком в мире свободно стоящем сооружении, общая высота которого составляет 533 м. При этой высоте башни геометрический центр телевизионной антенны 1 канала находится на отметке примерно 403 м, 3-го канала — 467 м, 8 и 11-го каналов — 491 и 33-го канала — 514 м. Для того чтобы зона гарантированного приема всех телевизионных программ была примерно одинаковой, перепад высот установки нижней и верхней антенн выбран сравнительно небольшим. В результате измерений величины напряженности поля вокруг Москвы в радиусе до 140 км установлено, что граница зоны гарантированного приема телевизионных передач (за исключением отдельных сильно «затененных» мест) по 1 и 3 каналам ориентировочно находится на расстоянии 108—140 км, а по 8 и 11 каналам — 90—130 км.

Для получения заданного радиуса действия телецентра необходимо обеспечить соответствующую мощность излучения передающей станции. В этом случае в любой точке зоны гарантированного приема будет

создаваться требуемая напряженность поля телевизионного сигнала, зависящая, кроме того, от расстояния до передатчика, длины волны, высоты подвеса передающей и приемной антенн. Точное значение напряженности в реальных условиях можно определить лишь при помощи специальных измерений.

1.4 Дальний и сверхдальний прием передач

Регулярный прием телевизионных передач с помощью обычных промышленных телевизоров возможен лишь на расстояниях, не превышающих границы зоны гарантированного приема. Это утверждение основывалось на том, что напряженность поля ультракоротких волн за пределами зоны радиовидимости имеет очень малую величину вследствие слабой способности УКВ огибать выпуклость Земли.

Измерения показали, что за пределами зоны радиовидимости регулярно существует поле УКВ, причем его напряженность иногда может достигать значительной величины. Это поле создается за счет рассеяния радиоволн на неоднородностях тропосферы и уровень поля подвержен хаотическим изменениям. Механизм тропосферного рассеяния упрощенно можно пояснить на примере луча прожектора, наблюдаемого в недостаточно прозрачном воздухе в виде светящегося столба, благодаря рассеянию света мельчайшими взвешенными в воздухе частицами.

Тропосферные неоднородности представляют собой небольшие области пространства, в пределах которых давление, влажность и температура воздуха отличаются от средних для окружающей среды значений. Такие неоднородности возникают в зоне вихрей, образующихся при перемещении воздушных масс. Движение воздуха в тропосфере никогда не прекращается и всегда сопровождается образованием вихрей, поэтому неоднородности имеют место при любых метеорологических условиях. Наиболее интенсивное образование неоднородностей происходит в толще воздуха на высоте 1—2 км над поверхностью Земли. Размеры тропосферных неоднородностей различны. В большинстве случаев линейные размеры вихрей (турбулентностей) достигают нескольких десятков метров. Каждая неоднородность отличается от окружающей среды диэлектрической проницаемостью и различной рассеивающей способностью, непрерывно изменяющейся. Неоднородности следует рассматривать как переизлучатели первичной радиоволны. Суммарное действие многих таких переизлучателей, расположенных в некотором объеме, способствует появлению рассеянных радиоволн. Главное направление рассеяния совпадает с направлением распространения первичной волны. Рассеяние в боковых направлениях получается относительно небольшим. Так как рассеяние радиоволн происходит на большой высоте и во все стороны, часть рассеянной энергии проникает далеко за пределы зоны радиовидимости (рисунок. 5), что дает

возможность регулярно принимать там хотя и весьма слабый сигнал. Экспериментальными исследованиями установлено, что дальность распространения УКВ за счет рассеяния на неоднородностях тропосферы достигает 200—300 км. Поэтому прием сигналов на таких удалениях от телецентра принято называть дальним телевизионным приемом.

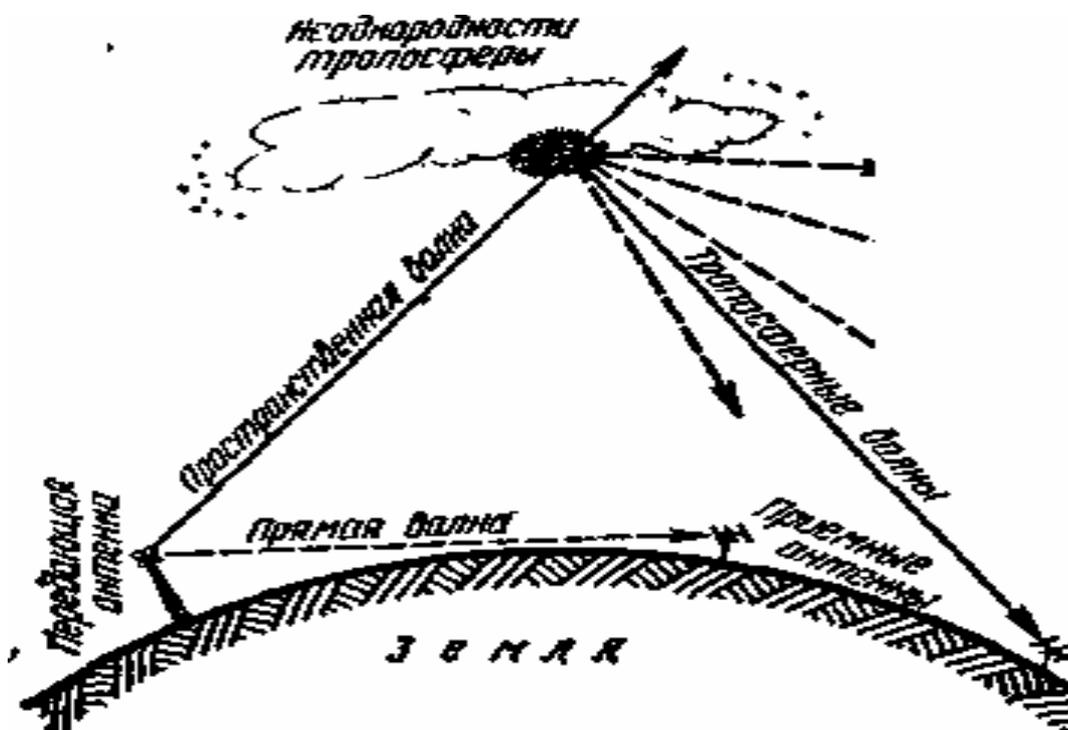
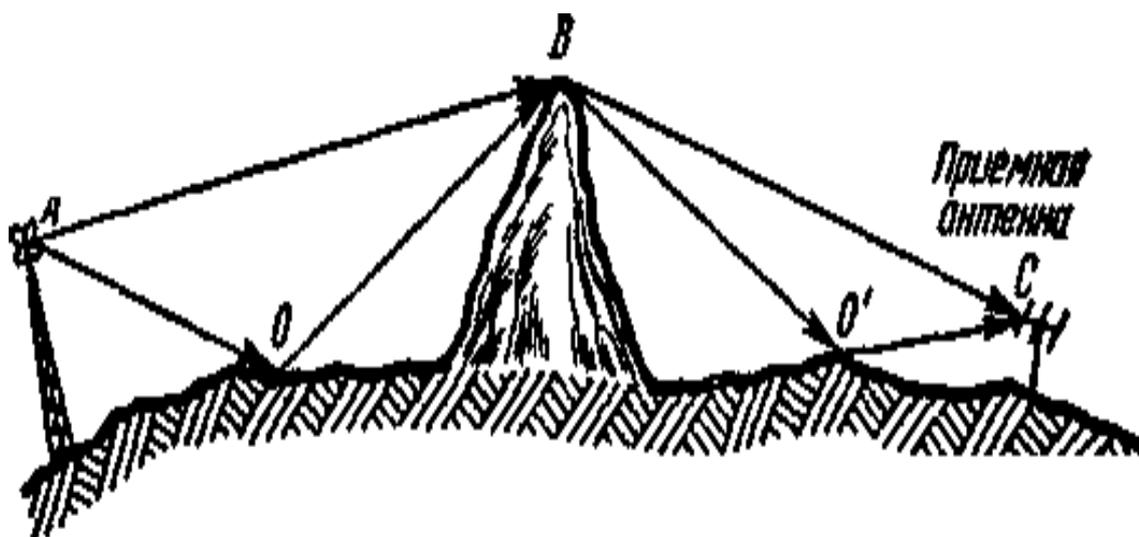


Рисунок 5- Распространение ультракоротких волн за счет рассеяния в тропосфере

Дальнему телевизионному приему за счет тропосферного рассеяния радиоволн присущи некоторые особенности, из которых, прежде всего, следует отметить наличие «замираний». Это связано с тем, что при приеме радиоволн, рассеянных большими объемами тропосферы, на вход телевизионного приемника поступает много электромагнитных колебаний с различными фазами и амплитудами. В зависимости от соотношения фаз эти колебания могут складываться и давать усиленный сигнал или вычитаться, образуя слабый сигнал. Так как фазы отдельных колебаний непрерывно изменяются, изменяется и уровень принимаемого сигнала.

Другой особенностью тропосферного рассеяния УКВ является сезонность изменения потерь энергии при распространении, вследствие чего при прочих равных условиях (мощность передатчика, чувствительность телевизионного приемника, тип антенны и др.) уровень принимаемого сигнала зимой оказывается ниже, чем летом. Это изменение уровней объясняется различным физическим состоянием тропосферы.

Следует отметить и другой механизм дальнего приема телевизионных передач: на длинных закрытых трассах при полной экранировке приемной антенны иногда может наблюдаться так называемый эффект усиления за счет препятствия. Это явление заключается в том, что препятствие на трассе увеличивает напряженность поля по сравнению с тем, которое было бы при отсутствии препятствия. При отсутствии горы на трассе (рисунок. 6) волна распространялась бы к приемной антенне, испытывая по мере удаления от передающей антенны сильное ослабление. При наличии этой горы волна распространяется до ее вершины двумя путями — прямым (АВ) и за счет отражения от поверхности Земли (АОВ). При благоприятных фазовых соотношениях прямой и отраженной волн на вершине горы они могут складываться, увеличивая напряженность результирующего поля. Вершина горы является, таким образом, переизлучателем электромагнитной энергии. В дальнейшем, от вершины до приемной антенны волны опять могут распространяться по двум путям, и в точке приема вновь возможно сложение прямой и отраженной волн. Усиление волны препятствием может быть использовано при осуществлении дальнего телевизионного приема, например в гористой местности.



Препятствие

Рисунок 6- К пояснению эффекта усиления за счет препятствия

Наряду с дальним телевизионным приемом существует еще и сверхдальний — прием телевизионных передач на расстояниях свыше 1000 км. Такому телевизионному приему соответствует особый механизм распространения радиоволн.

Если прием УКВ сигналов на расстояниях до нескольких сот километров происходит в основном за счет рассеяния радиоволн в тропосфере, то на расстояниях, превышающих 1000 км, он возможен в большинстве случаев благодаря отражению радиоволн от ионосферы.

Выше уже отмечалось, что ионосфера состоит из нескольких слоев ионизированного воздуха, причем степень ионизации возрастает с высотой. Исследования показывают, что для сверхдальнего телевизионного приема существенное значение имеет состояние двух ионизированных слоев: спорадического слоя, случайно (нерегулярно) возникающего на высоте 90—130 км, и слоя, расположенного на высоте свыше 300 км над поверхностью Земли. Благодаря высокой электронной плотности эти слои способны отражать метровые волны, на которых работают некоторые телевизионные передатчики.

Граница зоны, в которую сигналы телецентров могут отражаться от второго слоя ионосферы, начинается на расстоянии примерно 1000 км от передатчика и оканчивается на удалении около 2500 км от него. В этой зоне сверхдальний телевизионный прием происходит нерегулярно. Чаще всего прием наблюдается днем в летние месяцы на частотах первых двух-трех телевизионных каналов, причем уровень принимаемого сигнала зависит прежде всего от мощности излучения передатчика и степени ионизации слоя E.

Сверхдальний телевизионный прием за счет отражения радиоволн от верхнего слоя ионизированного поля F2 происходит в годы максимальной солнечной активности, когда электронная плотность этого слоя имеет значение, достаточное для отражения метровых волн.

Граница зоны, в которую сигналы телецентров могут отражаться от слоя F2, начинается примерно с 2500 км от передатчика, а сама зона простирается до 5000 км.

Следует отметить, что при отражении ультракоротких волн от слоев E, и F2 к месту приема иногда приходят очень сильные сигналы. В таких случаях сверхдальний телевизионный прием удастся вести даже на простые антенны, применяемые для ближнего приема, и обычные телевизоры. Однако для увеличения продолжительности приема необходимо применять для этой цели высокочувствительные телевизионные приемники и высокоэффективные приемные антенны.

2 Электромагнитные волны

Английский учёный Дж. Максвелл (1831—1879) на основании изучения экспериментальных работ Фарадея и других учёных высказал гипотезу о существовании в природе особых волн, способных распространяться в вакууме — электромагнитных волн.

По представлениям Максвелла, при любом изменении электрического поля возникает вихревое магнитное поле и, наоборот, при любом изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле. Однажды начавшийся процесс взаимного порождения магнитного и электрического полей должен непрерывно продолжаться и захватывать всё новые и новые области в окружающем пространстве. Переменное электрическое поле

14

распространения электромагнитных волн.

Поскольку электрические и магнитные поля могут существовать не только в веществе, но и в вакууме, должно быть возможным распространение электромагнитных волн, как в веществе, так и в вакууме. Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме, по расчётам Максвелла, должна была быть приблизительно равна 300 000 км/с.

Условием возникновения электромагнитных волн является ускоренное движение заряженных частиц. Изменение магнитного поля происходит при изменении тока в проводнике, а изменение электрического поля происходит при изменении скорости движения заряженных частиц.

Впервые получил электромагнитные волны Г. Герц, используя для этого высокочастотный искровой разрядник («вибратор Герца»). Герц опытным путём определил также скорость распространения электромагнитных волн. Она совпала с теоретически рассчитанным значением скорости электромагнитных волн, полученным Максвеллом.

Простейшие электромагнитные волны - это волны, в которых электрическое - и магнитное поля совершают синхронные гармонические колебания. При этом такие колебания происходят во взаимно перпендикулярных областях. (рисунок 7).

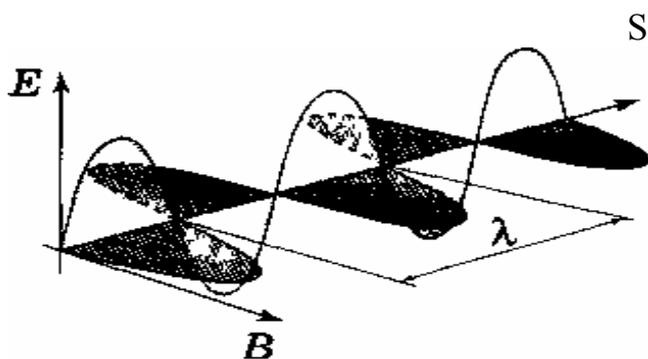


Рисунок 7 - Моментальный снимок взаимно перпендикулярных периодически изменяющихся электрических и магнитных полей

2.1 Распространение электромагнитных волн

Электромагнитные волны обладают всеми основными свойствами волн. Они подчиняются закону отражения волн: угол падения равен углу отражения. При этом от поверхности диэлектрика электромагнитные волны отражаются слабо, а от поверхности металлов почти полностью. При переходе из одной среды в другую электромагнитные волны преломляются и подчиняются закону преломления волн: отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред и равная отношению скорости электромагнитных волн в первой среде к скорости электромагнитных волн во второй среде (эта величина называется показателем преломления второй среды относительно первой).

Электромагнитные волны классифицируются по длине волны или связанной с ней частотой волны. Эти параметры характеризуют не только волновые, но и квантовые свойства электромагнитного поля. Соответственно в первом случае электромагнитная волна описывается классическими законами электродинамики, а во втором — квантовыми законами.

Спектром электромагнитных волн называется полоса частот электромагнитных волн, существующих в природе. Различные участки электромагнитного спектра отличаются по способу излучения и приёма волн, принадлежащих тому или иному участку спектра. По этой причине, между различными участками электромагнитного спектра нет резких границ. Разделение электромагнитных волн по частотам даёт шкалу электромагнитных волн. Она включает в себя радиоволны, инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучения. Свойства электромагнитных волн зависят от их частоты.

Радиоволны изучает классическая электродинамика. Инфракрасное световое и ультрафиолетовое излучение изучает как классическая оптика, так и квантовая физика. Рентгеновское и гамма-излучение изучается в квантовой и ядерной физике.

Радиоволны — это диапазон электромагнитных волн, длины которых превосходят 0,1 мм (их частота меньше $3 \cdot 10^{12}$ Гц).

Радиоволны делятся на:

- сверхдлинные волны с длиной волны больше 10 км (частота меньше $3 \cdot 10^4$ Гц);
- длинные волны — в интервале длин от 10 до 1 км (их частоте соответствует диапазон $3 \cdot 10^4$ Гц — $3 \cdot 10^5$ Гц);
- средние волны — в интервале длин от 1 км до 100 м (частота в диапазоне $3 \cdot 10^5$ Гц — $3 \cdot 10^6$ Гц);

- короткие волны — в интервале длин волн от 100 до 10 м (частота в диапазоне $3 \cdot 10^6$ Гц — $3 \cdot 10^7$ Гц);

- ультракороткие волны с длиной волны меньше 10 м (их частота больше $3 \cdot 10^7$ Гц). Ультракороткие волны в свою очередь делятся на метровые; сантиметровые; миллиметровые; субмиллиметровые или микрометровые волны.

- волны с длиной волны меньше, чем 1 м называются микроволнами или волнами сверхвысоких частот — СВЧ-волны.

Квантовые свойства радиоволн проявляются лишь для самых коротких волн, примыкающих к инфракрасному участку спектра и при распространении так называемых сверхкоротких импульсов с длительностью порядка 10^{-12} - 10^{-15} секунды, сравнимой со временем колебаний электронов внутри атомов и молекул.

2.2 Виды поляризации излучаемой волны

Пространственное положение передающей антенны относительно Земли определяет плоскость поляризации волны, представляющая собой плоскость, в которой расположен вектор напряженности электрического поля E .

Если этот вектор (рисунок 8) расположен в горизонтальной плоскости, то радиоволна называется горизонтально поляризованной, если в вертикальной — вертикально поляризованной. (В принципе радиоволны могут иметь и другие виды поляризации, например, круговую.)

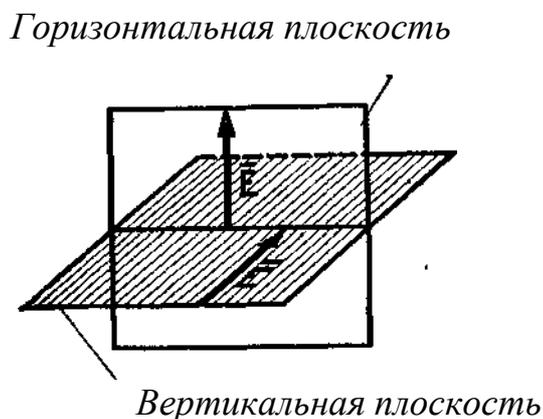


Рисунок 8 - К пояснению вида поляризации радиоволн

Излучение вертикально или горизонтально поляризованных волн осуществляется с помощью соответствующим образом расположенных излучателей. В связи с этим передающие и приемные антенны иногда классифицируют как антенны с вертикальной или горизонтальной поляризацией.

В диапазоне коротких волн поляризация электромагнитного поля антенны имеет второстепенное значение. Так, радиоволна, излучаемая

антенной с вертикальной поляризацией, может быть без особого ослабления принята с помощью антенны, имеющей горизонтальную поляризацию.

Совсем по-другому обстоит дело в диапазоне УКВ. Здесь для получения максимального уровня принимаемого сигнала совершенно обязательно, чтобы поляризация передающей и приемной антенн была одинаковой.

Какой же вид поляризации радиоволн следует считать более предпочтительным для осуществления телевизионного вещания?

Если говорить о поляризации электромагнитных волн в свободном пространстве, то горизонтальная и вертикальная поляризации не имеют друг перед другом каких-либо преимуществ, так как в месте приема они дают поле одинаковой напряженности. Однако в реальных условиях вследствие близости Земли, наличия естественных и искусственных объектов, различных источников помех горизонтальная и вертикальная поляризации становятся неравноценными.

Так, вертикально поляризованные волны при распространении вблизи поверхности Земли (на высотах, равных нескольким длинам волн) в месте приема обеспечивают несколько больший уровень напряженности электромагнитного поля, особенно если поверхность на трассе имеет хорошую проводимость (например, морская вода). Однако с увеличением высоты подвеса передающей и приемной антенн это преимущество вертикальной поляризации уменьшается, а при значительных высотах практически не проявляется совсем. В то же время радиоволны с горизонтальной поляризацией лучше проникают через препятствия и за пределы зоны прямой видимости, обеспечивая в этих условиях сравнительно большую величину напряженности электромагнитного поля.

Кроме того, в городах, где имеется большое количество вертикальных отражающих объектов (стены домов, промышленные башни, трубы, столбы и др.), при горизонтальной поляризации получается меньше отраженных интерферирующих волн, вызывающих заметные замирания сигнала, а также помехи на телевизионном изображении в виде добавочных контуров. Следует также указать на влияние помех, создаваемых системами зажигания двигателей внутреннего сгорания. При проскакивании искры в прерывателе и свечах, например, автомобильных двигателей, возникают ультракороткие волны, которые свободно излучаются, вызывая появление на экране телевизора горизонтальных беспорядочно перемещающихся черно-белых полос, а в громкоговорителе — шумовых помех. Такие ультракоротковолновые помехи обычно имеют более сильную вертикально поляризованную составляющую электромагнитного поля, чем горизонтально поляризованную. Это происходит потому, что источники таких помех, как правило, расположены близко к поверхности Земли, вследствие чего горизонтальная составляющая помехи претерпевает большее затухание. Экспериментальные измерения показывают, что мощность помех на входе телевизионного приемника в диапазоне частот 50—60 МГц при горизонтально расположенной антенне примерно в два раза меньше, чем при

вертикальной антенне. Правда, на частотах выше 100 МГц значительной разницы в уровнях помех уже не наблюдается

Наконец, для приема горизонтально поляризованных волн разработаны разнообразные конструкции горизонтальных антенн, технология изготовления которых проще, чем вертикальных. К тому же горизонтальные антенны можно устанавливать на металлических мачтах, что существенно упрощает их эксплуатацию. Горизонтальные антенны (даже простейшая из них — полуволновой вибратор) обладают направленностью в горизонтальной плоскости, что позволяет за счет пространственной селекции ослабить действие помех и отраженных сигналов. Нелишне отметить, что при отражении радиоволн от различных предметов поляризация может изменяться.

Интенсивность отражения волн с разной поляризацией также различна. Поэтому в некоторых случаях может оказаться полезным отказ от обычного горизонтального расположения приемной антенны, наклонив ее в ту или иную сторону для улучшения условий телевизионного приема.

Таким образом, горизонтальная поляризация обладает рядом преимуществ по сравнению с вертикальной.

3 Геофизические факторы, влияющие на распространение радиоволн

Передача радиосигналов между пунктами, расположенными на земной поверхности, осуществляется с применением разных видов распространения радиоволн, из которых наиболее характерны следующие (рисунок 9):

- вдоль земной поверхности;
- с излучением в верхние слои атмосферы и из них обратно к поверхности Земли;
- с приемом с Земли и обратной передачей на Землю посредством космических ретрансляторов.

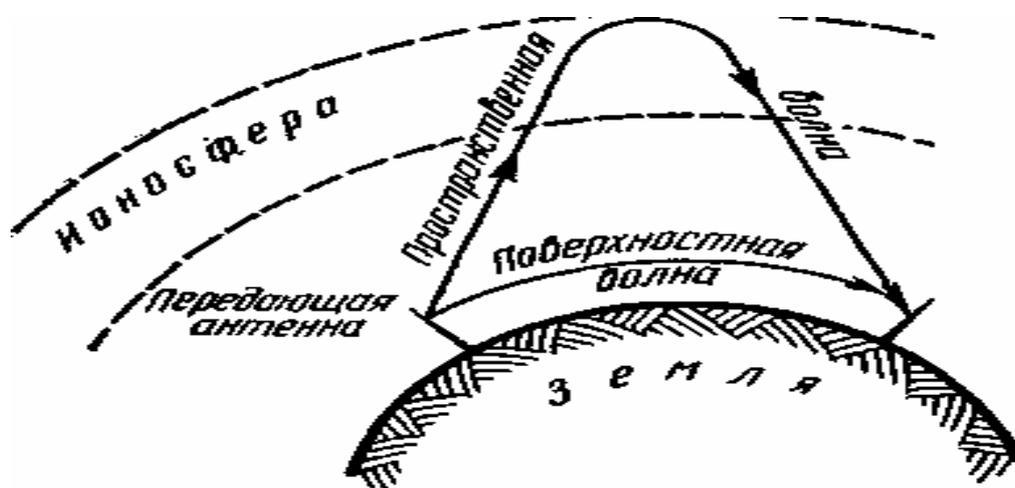


Рисунок 9 - Способы распространения радиоволн

Распространение радиоволн вдоль земной поверхности существенно зависит от её рельефа и физических свойств. Атмосфера также оказывает влияние на передачу и прием сигналов земными радиостанциями, зависящее от целого ряда природных явлений. Эти зависимости проявляются, в разной форме и степени при разных длинах волн.

Поскольку радиоволны имеют ту же физическую природу, как и свет, распространение их подчинено общим для этих излучений закономерностям:

- в однородной среде волны распространяются прямолинейно;
- в средах с неоднородными свойствами происходит рефракция, т. е. отклонение траектории от прямой;
- на границах однородных сред с разными свойствами наблюдаются преломление и отражение волн;
- если на пути распространения встречаются препятствия, непроницаемые для волн, то наблюдается дифракция: огибание препятствий;

- в средах с пониженной прозрачностью, например из-за содержания в них частиц пыли или воды, происходит частичное поглощение волн.

Основными свойствами земной поверхности, оказывающими влияние на распространение над ней электромагнитных волн, помимо её рельефа, являются её электрические параметры: электропроводность и диэлектрическая проницаемость. Влияние неровностей поверхности оказывается значительным, если их размеры сравнимы с длиной волны и превышают её. Например, горы влияют на распространение волн практически всех диапазонов, используемых в радиосвязи, тогда как волнение морской поверхности проявляется при распространении над ней волн, длина которых составляет метры или меньше, т. е. волн диапазонов ОВЧ, УВЧ и более коротких.

От электропроводности почвы зависят потери в ней энергии волн. Если бы верхний слой её был идеально проводящим или был идеальным диэлектриком, то прохождение волн не было бы связано с потерями. В реальных условиях электромагнитные поля индуцируют в почве токи, и при их протекании выделяется тепло. Следовательно, электромагнитная энергия волн, падающих на землю или распространяющихся вдоль неё, частично поглощается.

Атмосфера состоит из трех основных областей, которые неодинаково пропускают электромагнитные волны. Эти области - тропосфера, стратосфера и ионосфера.

Тропосфера - нижняя часть атмосферы толщиной 10-18 км. С высотой температура и давление воздуха, а также содержание водяных паров в тропосфере изменяются, но газовый состав ее практически постоянен: азот и кислород.

Стратосфера простирается примерно до 80 км. Признаком перехода к стратосфере является прекращение понижения температуры, которая в верхней части тропосферы падает до минус (50-60)°С. В стратосфере температура до высоты около 40 км изменяется мало, а затем примерно до высоты 60 км растет до плюс 80°, далее опять падает. Повышение температуры объясняется поглощением энергии ультрафиолетового излучения Солнца содержащимся в воздухе озоном.

Ионосфера представляет собой обширный слой разреженного газа. Падающее на ионосферу излучение Солнца вызывает ионизацию газа, т. е. отрыв электронов от атомов. Поскольку плотность газа на больших высотах мала, вероятность встречи свободного электрона с ионизированным атомом, которая приводит к их объединению (рекомбинации) невелика. По этой причине значительная часть газа остается ионизированной, т. е. представляет собой плазму. Ионизированный газ обладает электропроводностью. Концентрация свободных электронов определяется интенсивностью ионизирующего излучения Солнца и зависит от высоты, времени суток и сезона года.

Как слой ионизированного газа, ионосфера простирается примерно от 60 до 1,5 тыс. километров, но на очень больших высотах плотность газа мала,

соответственно уменьшается и количество ионов, а в итоге и их влияние на прохождение радиоволн. По этой причине существенное влияние на распространение волн оказывает только часть ионосферы до высот около 400 км. Благодаря электропроводности ионосфера может служить космическим зеркалом, отражающим падающие на нее радиоволны.

Хотя свойства ионосферы и подвержены суточным, сезонным и иным изменениям, относительная регулярность этих изменений делает возможным использование этого слоя в постоянно действующих системах радиосвязи. В атмосфере наблюдаются и иные неоднородности и, хотя они менее регулярны, они также учитываются в построении ряда систем радиосвязи.

Волны, распространяющиеся вдоль поверхности Земли, соответственно называются поверхностными или земными.

Волны, распространяющиеся через атмосферу и отражающиеся к поверхности Земли от атмосферных неоднородностей, называются пространственными или небесными.

В третьем варианте, как уже указывалось, волны проходят через ионосферу в заатмосферное пространство и возвращаются в желательную географическую зону на поверхности Земли после обработки и усиления сигналов в бортовых ретрансляторах космических аппаратов.

4 Явления, наблюдаемые при распространении радиоволн

4.1 Рассеяние энергии волн

Волны идут от антенны передатчика во все стороны, и по мере удаления их энергия распределяется на все большее пространство. Величина энергии в каждой части пространства становится все меньше. Единственным средством, снижающим рассеяние энергии, является направленное излучение, при котором радиоволны посылаются узким пучком подобно лучу прожектора. При этом увеличивается дальность действия и во многих случаях исключается возможность подслушивания. Направленное излучение волн используется в радиомаяках для авиации и морского транспорта, в радиолокации, позволяющей определять местонахождение различных объектов, и т. д.

21

При прохождении радиоволн через различные вещества наблюдается поглощение энергии волн этими веществами. Оно отсутствует в безвоздушном пространстве. Очень мало поглощение в неионизированном воздухе. В твердых диэлектриках, полупроводниках и проводниках поглощение радиоволн значительно. Если радиоволна встречает какой-либо проводник, то большая часть ее энергии поглощается им. Объясняется это тем, что волна приводит в движение электроны проводника и создает в нем ток высокой частоты. На образование его и расходуется энергия волны. В частности, на этом основан прием радиоволн антенной. Если же волна движется вдоль проводника, то поглощение энергии гораздо меньше. Поэтому над проводящей поверхностью, например, над морем, вдоль рек, железных дорог и проводных линий, радиоволны распространяются дальше, чем над сухой почвой.

Диэлектрики также поглощают энергию волн. Поле волны создает в молекулах диэлектриков смещение электронов — ток смещения. Он является током высокой частоты, т. е. представляет собой колебание электронов внутри молекул. Токи смещения вызывают нагревание диэлектрика, на что расходуется энергия. Полупроводники объединяют в себе свойства проводников и диэлектриков. В них возникают и токи проводимости и токи смещения. Ионизированные слои атмосферы, являющиеся полупроводниками, заметно поглощают энергию проходящих волн.

При движении радиоволн над земной поверхностью происходит поглощение их энергии самой почвой и различными местными предметами и препятствиями в виде гор, холмов, лесов, городских зданий, проводных линий и т. д. Особенно сильное поглощение создают металлические крыши, железобетонные сооружения, провода, горы с металлическими рудами или влажными пластами земли, сырые каменные дома, леса.

4.3 Отражение и преломление волн

В однородной среде волна распространяется прямолинейно, а в местах перехода волны из одной среды в другую наблюдаются отражение ее и преломление. Эти явления всегда возникают на границе двух сред, имеющих различные диэлектрические проницаемости ϵ_1 и ϵ_2 .

Отражение заключается в том, что волна, дойдя до границы между средами, поворачивает под некоторым углом обратно (рисунок 10 а). Волна, пришедшая под прямым углом к плоской поверхности, отражается обратно также под прямым углом. Если к такой поверхности пришли волны параллельным пучком, то они после отражения пойдут также параллельно. В случае неровной поверхности отраженные волны пойдут в разных направлениях. Лучше всего радиоволны отражаются от проводников. Физический смысл отражения радиоволн заключается в том, что падающая волна создает в поверхностном слое отражающего тела токи, которые дают

22

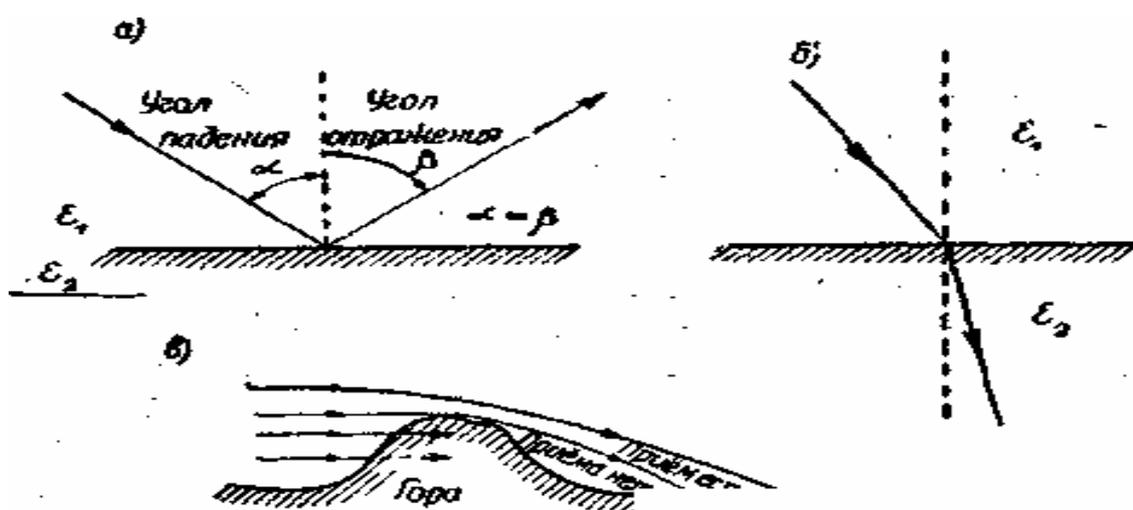


Рисунок 10 - Отражение (а), преломление (б) и дифракция (в) волн

При переходе волн из одного диэлектрика в другой наблюдается их преломление (рефракция), т. е. изменение направления движения волны (рисунок 10, б). Преломление волн объясняется тем, что в различных веществах скорость распространения волн различна. Чем больше разница между диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 и чем длиннее волна, тем сильнее преломление.

Таким образом, радиоволна, встречая проводник, частично поглощается и частично отражается. При встрече радиоволны с диэлектриком или полупроводником она поглощается, отражается и преломляется.

4.4 Дифракция волн

Этим термином называют огибание волнами препятствий. Например, радиоволны способны обогнуть гору, большое здание и т. д. (рисунок 10, в). Чем длиннее волна, тем лучше она огибает препятствия. Конечно, волна не может повернуть очень круто. Поэтому иногда за горами или металлическими сооружениями, сквозь которые радиоволны пройти не могут, образуются местные «зоны молчания». В них не слышны некоторые радиостанции, но несколько дальше, благодаря дифракции, слышимость снова восстанавливается.

4.5 Интерференция волн

Интерференция волн есть сложение в данном месте двух или нескольких волн. Интерферировать, т. е. складываться, могут волны различных передающих радиостанций. Тогда возникают помехи в виде писка, воя, свиста, гудения, хрипения. Если же интерференция наблюдается между волнами одной и той же станции, пришедшими к месту приема разными путями, то благодаря разнице в их фазах получается либо усиление, либо ослабление волны.

5 Распространение радиоволн

Волны, излучаемые горизонтально и распространяющиеся вдоль земной поверхности в нижнем слое атмосферы, называются поверхностными. Они испытывают поглощение землей и различными местными предметами, которое тем больше, чем выше частота. В зависимости от частоты эти волны в большей или меньшей степени огибают кривизну земного шара.

Волны, излучаемые наклонно под различными углами к поверхности земли, называются пространственными. Они поглощаются в слабо ионизированной атмосфере незначительно и доходят до ионосферы, в которой происходит их преломление. Так как в слоях ионосферы ионизация и диэлектрическая проницаемость изменяются постепенно, то путь радиоволны представляет собой плавную кривую. Чем длиннее волна и чем сильнее ионизация, тем больше искривляет путь волна. На рисунке 11 показаны слои E и F_2 , наблюдаемые ночью.

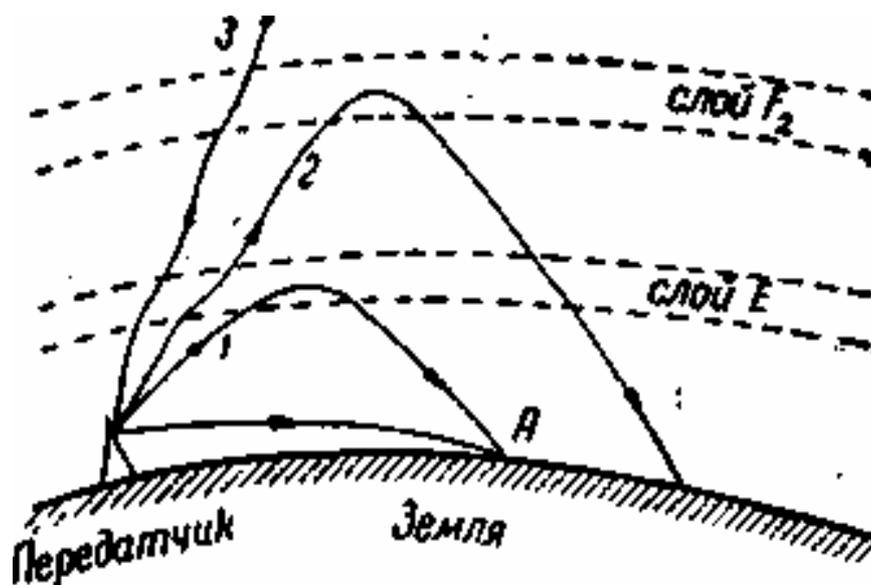


Рисунок 11- Пути радиоволн в атмосфере

Луч 1, соответствующий не слишком короткой волне, сильно преломляется в слое E и возвращается на поверхность земли. Принято говорить, что луч 1 отражается слоем E . Лучи 2 и 3, соответствующие более коротким волнам, проходят слой E насквозь, так как его ионизация недостаточна для того, чтобы вернуть их. Ионизация слоя F_2 недостаточна, чтобы вернуть на землю луч 3. Причина этого либо в том, что волна 3 очень коротка, либо в том, что луч 3 входит в слой F_2 почти под прямым углом и, проходя до середины слоя, где ионизация максимальна, не поворачивает настолько, чтобы вернуться на поверхность земли. Такой луч уходит в межпланетное пространство и для земной радиосвязи является

потерянным. Точка возвращения на землю луча 2 отстоит от передатчика значительно дальше, чем луча 1.

В ионизированных слоях волны испытывают и поглощение, которое возрастает при уменьшении частоты. Так как высота и степень ионизации слоев ионосферы меняются, то пути пространственных волн в атмосфере тоже меняются. Этим объясняется значительное изменение слышимости радиостанций в течение суток и в течение года, а также явление *замирания* сигналов. Причина замирания большей частью заключается в том, что в приемную антенну приходят радиоволны от одного и того же передатчика несколькими путями различной длины. Например, в пункт *A* (рисунок 11) попадают поверхностная волна и пространственная волна, отраженная слоем *E*. Благодаря изменениям, происходящим в ионосфере, длина пути пространственных лучей все время меняется и поэтому меняются их фазы. В результате сложения (интерференции) волн наблюдаются непрерывные колебания слышимости, которые достигают то максимума, когда фазы волн совпадают, то минимума, если фазы противоположны.

Бороться с замиранием довольно трудно. Наиболее эффективным средством является прием на 2—3 антенны, находящиеся на расстоянии 200—300 м друг от друга. Антенны соединяются линиями с приемником, имеющим отдельные усилители высокой частоты и детекторы для каждой антенны, но общий усилитель низкой частоты. Этот метод основан на том, что замирание не происходит одновременно в разных местах. В то время, как в одной антенне сигналы замирают, в другой антенне, наоборот, получается усиление, и, таким образом, слышимость в приемнике мало изменяется. Некоторое уменьшение колебаний слышимости дают также автоматические регуляторы усиления.

5.1 Распространение волн диапазонов СЧ, НЧ и ОНЧ

Волны с длинами от 1 до 10 км, соответствующие диапазону НЧ, а также и ещё более длинные волны, превышают размеры большей части неровностей почвы и препятствий, поэтому при их распространении заметно проявляется дифракция. Благодаря дифракции волны огибают земную поверхность, холмы и даже горные хребты. Поскольку, однако, обогнув высокое препятствие, волны далее распространяются в свободном пространстве прямолинейно, возможно образование "мертвой зоны", в пределах которой прием сигналов затруднен или невозможен. Эта ситуация схематически показана на рисунке 12.

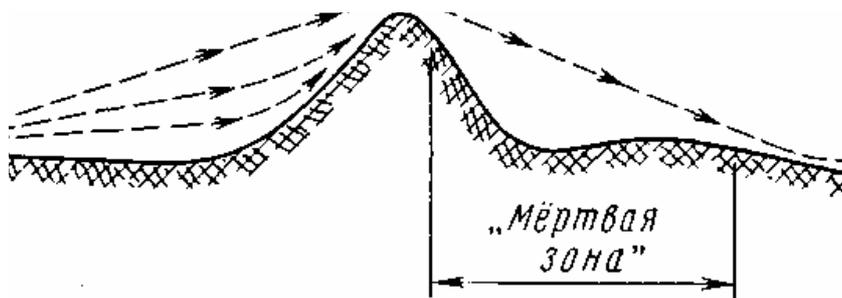


Рисунок 12 - Образование «мертвой зоны»

Поверхностные волны индуцируют в почве ЭДС, создавая токи, которые преобразуются в тепло. В результате часть энергии волн поглощается. ЭДС индукции пропорциональна частоте колебаний, поэтому токи в земле, а соответственно и потери, возрастают с повышением частоты. Напротив, с понижением частоты потери энергии волн уменьшаются. По этой причине волны диапазонов НЧ и ОНЧ при одинаковой мощности излучения способны распространяться на большие расстояния, чем более короткие. При значительной мощности радиопередатчиков (десятки киловатт) напряжённость поля поверхностных волн этих диапазонов достаточна для приема сигналов на расстояниях в тысячи километров.

Пространственные волны этих же диапазонов, если они распространяются в направлении ионосферы, отражаются ею и приходят на Землю на больших расстояниях. Такие пространственные (или небесные) волны, называемые в этом случае также ионосферными, позволяют осуществлять радиосвязь на столь же больших расстояниях.

На рисунке 13 изображена траектория волн, проходящих к ионосфере из пункта А и возвращающихся после отражения к Земле, где они приходят в зону В. Однако здесь в свою очередь происходит отражение от земной поверхности и волны вновь падают на ионосферу. Отражаясь вторично, они достигают еще более отдаленной зоны С. Далее возможны и последующие подобные отражения. Такое распространение называется многоскачковым. Оно делает возможной радиосвязь на почти неограниченные расстояния.



Рисунок 13 – Траектория распространения волн диапазонов НЧ и ОНЧ

Высота и степень ионизации отражающего слоя зависят от интенсивности солнечной радиации. Поэтому в течение суток и в разные сезоны условия распространения изменяются. На эти условия влияют также изменения солнечной активности. По этим причинам длина траектории пространственной волны изменяется, а также изменяется и степень отражения. В итоге сигнал, проходящий в место приема, может иметь изменяющийся фазовый угол, и амплитуда его также непостоянна.

Дальнее ионосферное распространение волн может иметь для радиосвязи негативные последствия, если в зону приема одновременно приходят поверхностные и пространственные волны, как это изображено на рисунке 14. В пункте В происходит сложение волн - интерференция. При взаимном наложении интерферирующих волн амплитуда суммарных колебаний зависит от угла их взаимного сдвига по фазе, который по указанной выше причине может изменяться.



Рисунок 14 – Явление интерференции при распространении волн диапазонов НЧ и ОНЧ

Если волны взаимно противоположны, т. е. угол их взаимного сдвига близок к 180° , то происходит их взаимное вычитание. В случае малого различия волн по величине напряженность результирующего поля падает до

малых величин, в результате чего радиоприем может быть сильно затруднен или невозможен.

Явление ослабления радиосигналов вследствие различных процессов при распространении волн называется замиранием.

Распространение волн в место приема по разным путям называется многолучевым. Замирания, вызванные интерференцией при многолучевом распространении, называются интерференционными. В диапазонах НЧ и ОНЧ глубокие интерференционные замирания сравнительно редки и радиосвязь обычно устойчива.

Волны диапазона ОНЧ обладают способностью проникать на сравнительно большую глубину в поверхностный слой земли и даже в морскую воду. Это делает возможной связь в диапазоне ОНЧ с подземными и подводными объектами.

Так как потери в почве возрастают с повышением частоты, дальность радиосвязи с помощью поверхностных волн в диапазоне СЧ меньше, чем на НЧ, и обычно не превышает 1500 км. Пространственные волны этого диапазона в дневное время сильно поглощаются в ионосфере, поэтому эффективность радиосвязи на этих волнах понижается. Ночью поглощение меньше и радиоприем при достаточно мощном излучении возможен на расстояниях 2...3 тыс. км.

Между зоной радиоприема поверхностных волн, которая называется "ближней" зоной и более отдаленной зоной приема пространственных волн - "дальней" зоной располагается территория, на которой интенсивность тех и других волн имеют одинаковый порядок величины. По этой причине здесь возможны глубокие интерференционные замирания и радиосвязь оказывается неустойчивой.

5.2 Распространение волн диапазона ВЧ

Из-за значительных потерь энергии в почве дальняя связь поверхностными волнами в диапазоне ВЧ редко превышает 100 км. Пространственное распространение волн, напротив, с повышением частоты улучшается благодаря уменьшению потерь. Причина этого состоит в высокой концентрации свободных электронов в ионизированном разреженном газе на больших высотах, что приводит к относительно высокой электропроводности слоя атмосферы и создает способность хорошо отражать к Земле падающие на него волны.

Источником отраженных волн служат колеблющиеся электроны. Воздействуя на свободные электроны падающая волна вызывает их колебания, те переменные токи излучают волны переменными токами в ионосфере и образует отраженную волну.

Ионосфера для электрического тока - проводник далеко не идеальный. Колебания электронов в ионизированном слое приводят к их столкновениям с

молекулами газа. При столкновениях часть энергии полученной электронами от электромагнитной волны превращается в тепло. Поскольку в итоге этого процесса в тепло переходит часть энергии поля, происходит уменьшение его напряженности, а, следовательно, и силы сигнала принимаемого на Земле.

При повышении частоты, т.е. при сокращении периода колебаний расстояние свободного пробега электрона за период соответственно уменьшается. В результате уменьшается и вероятность столкновения а следовательно уменьшается и потеря энергии волн.

Благодаря меньшему поглощению отраженная пространственная волна оказывается достаточно сильной для удовлетворительного приема сигналов при сравнительно небольшой мощности передатчика. В 20-е годы это свойство радиоволн диапазона ВЧ было открыто радиолюбителями в разных странах и позволило им устанавливать и поддерживать между собой радиосвязь на волнах короче 200 м на расстояниях в тысячи километров при мощности передатчиков всего лишь в десятки и сотни ватт

Отражение волн от гладкой поверхности получается, как известно зеркальным угол падения волн равен углу отражения Ионосфера в отличие от зеркала неоднородна и неровна поэтому волны отражаются от нее в разных направлениях, т е имеет место не точно зеркальное а в существенной степени рассеянное отражение. На рисунке 15 схематически показано это свойство отраженных волн образующих сравнительно широкий луч 1.

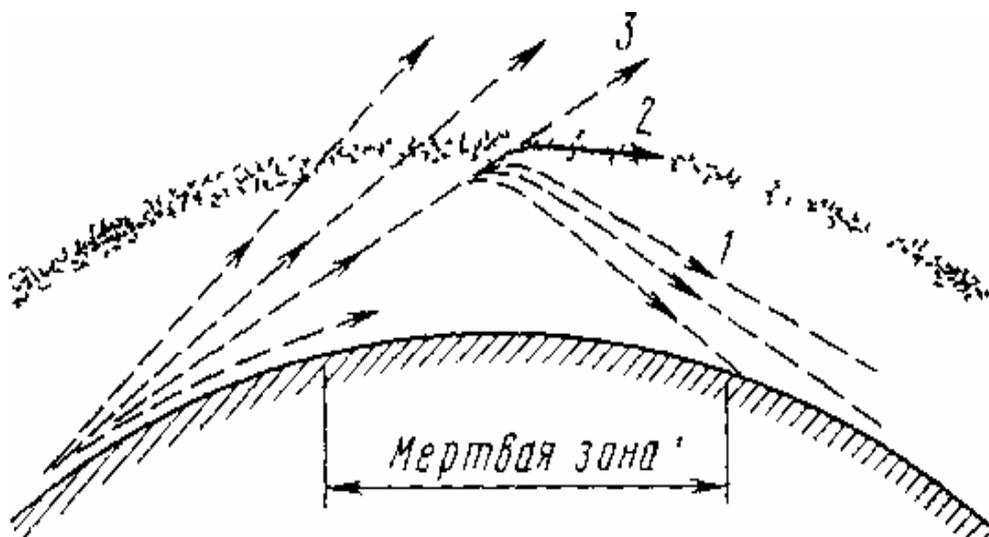


Рисунок 15 - Распространение волн диапазона ВЧ

Между сравнительно небольшой зоной распространения поверхностной волны и территорией, в которую приходят пространственные волны, образуется мертвая зона.

Часть энергии волн может вообще не отразиться к Земле, а распространяется в слое как в проводнике, на рисунке 15 эта траектория волны обозначена цифрой 2. Если волны испытывают в ионизированном слое

недостаточное преломление, то они уходят в заатмосферное пространство; этому случаю соответствует траектория 3.

Полная картина физических процессов при прохождении волн через ионосферу очень сложна. Одна из главных причин этой сложности состоит в том, что фактически ионосфера не представляет собой один слой, а состоит из ряда слоев, обладающих неодинаковыми свойствами. Слоистость ее объясняется в значительной мере тем, что газовый состав ее не вполне одинаков на разных высотах, более легкие газы проникают на большие высоты, а с понижением высоты увеличивается содержание более тяжелых газов.

Малая плотность атмосферы на больших высотах приводит к уменьшению числа свободных электронов, тогда как на малых высотах ионизирующее действие солнечных лучей ослаблено при прохождении их через более толстый слой воздуха

На относительно небольших высотах 60 - 80 км располагается слой, обозначаемый D, в котором концентрация свободных электронов невелика. Выше располагаются слои E, F1 и на высотах 300 400 км - слой F2, для которого характерна наибольшая концентрация электронов. Состояние этих слоев сильно зависят от времени года и суток, а также от текущего состояния солнечной активности, которая изменяется с периодом 11 лет

Волны разной длины могут отражаться в разных слоях, либо вовсе не отражаться. Отсутствие отражений наблюдается при излучении волн под большим углом по отношению к поверхности Земли и при относительно высоких частотах. Максимальная частота, при которой при данном угле наблюдается отражение, называется "максимально применимой частотой" Волны с более высокими частотами уходят в мировое пространство Рабочую частоту выбирают несколько ниже максимально применимой.

5.3 Распространение волн диапазонов ОВЧ, УВЧ и СВЧ

Волны микроволновых диапазонов распространяются подобно свету прямолинейно. Дифракция в этих диапазонах проявляется слабо. Волны, излученные под углом к земной поверхности, уходят в заатмосферное пространство практически без изменения траектории, это свойство позволило успешно применить микроволны для космической связи.

Неспособность волн этих диапазонов огибать земную поверхность требует для радиосвязи обеспечения геометрической видимости между передающей и приемной антеннами. Как видно из рисунка 16, а и 16, б для выполнения этого условия необходимы достаточно высокие антенны

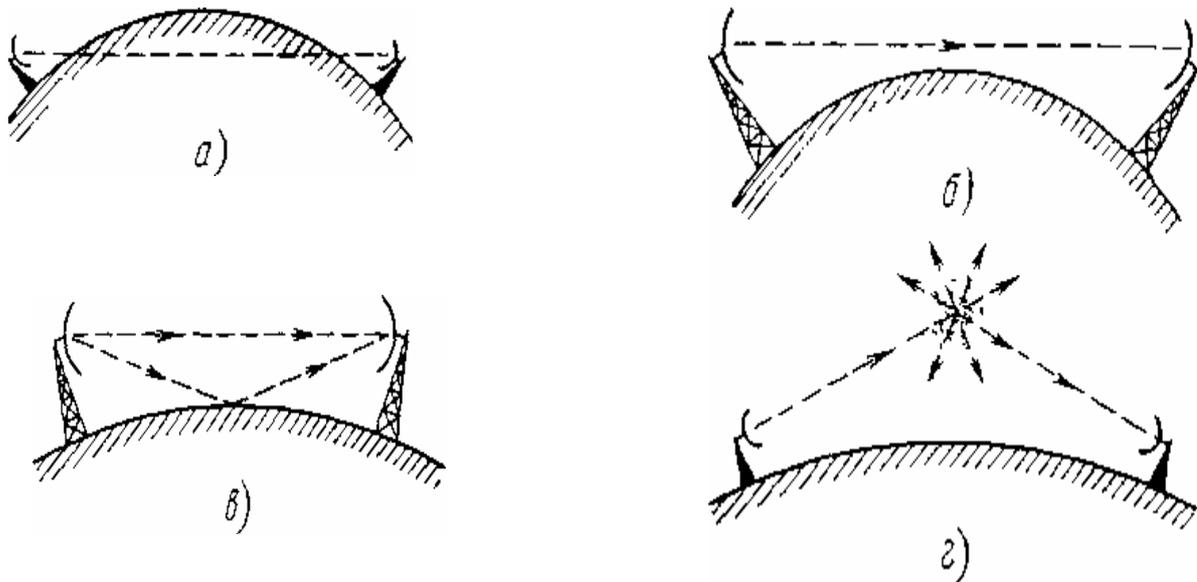


Рисунок 16 - Распространение волн диапазонов ОВЧ, УВЧ и СВЧ

Поскольку волны отражаются от земной поверхности, в месте приема, как видно из рисунка 16, в, возможна интерференция лучей, как следствие возникают интерференционные замирания и искажения передаваемых сообщений

При сравнительно высокой мощности передатчиков дальность связи может значительно превышать показанную на рисунке 16,б. Влияние неровностей земной поверхности и различия почв на нижние слои воздуха, различие и соответственно неодинаковое влияние растительного покрова на отдельных участках территории, над которой распространяются волны, наличие рек и водоемов, а также поселков и инженерных сооружений и приведет к образованию в атмосфере зон с различной температурой и влажностью, локальных потоков воздуха и т.п. В этих зонах, возникающих на высотах до нескольких километров, происходит рассеяние волн, как это схематически показано на рисунке 16, г. В этом случае часть энергии волн достигает пунктов, отстоящих от передающей антенны на расстояние, в несколько раз превосходящее дальность геометрической видимости.

При значительной мощности передатчика остро направленных антеннах и приемнике с высокой чувствительностью рассеяние волн в тропосферных неоднородностях на высотах 2-3 км позволяет получить радиосвязь на расстояниях в сотни километров, что в 5-10 раз больше расстояния геометрической видимости.

Неоднородности существуют и на больших высотах в ионосфере, здесь они проявляются в неравномерности концентрации свободных электронов и в них тоже происходит рассеяние волн. При достаточно большой мощности передатчика ионосферное рассеяние волн позволяет получить устойчивую радиосвязь на расстояниях 1-2 тысячи км.

Существуют и другие виды дальнего распространения волн преимущественно диапазонов УВЧ и СВЧ. Они проявляются при образовании в атмосфере протяженных и сравнительно четко выраженных неоднородностей в виде слоя. Волны распространяются внутри подобного слоя, последовательно отражаясь от его границ либо между поверхностью земли и нижней границей слоя.

Еще один вид дальнего распространения в микроволновых диапазонах - отражение от следов метеоров.

В атмосферу непрерывно проникают, сгорая в ней, потоки небольших метеоров. Этот процесс тоже имеет следствием возникновение неоднородностей (в отличие от предыдущих - временных), способных эффективно отражать волны. Поскольку он неравномерен во времени, условия распространения хаотично изменяются. По этой причине метеорное распространение волн применяется в специальных системах радиосвязи, учитывающих его специфические особенности.

6 Помехи и борьба с ними

6.1 Виды и характер помех

Помехи, возникающие на экране телевизора, имеют искусственное либо естественное происхождение. Устранение помех или снижение их уровня—технически сложная задача, решить которую удастся не всегда. Универсальных рецептов устранения помех нет, и каждый раз решать эту задачу следует с учетом характера помех и их интенсивности. Оценку реальной электромагнитной обстановки в месте приема лучше всего производить с помощью специального прибора — анализатора спектра, позволяющего определять частоты радиоизлучений, являющихся возможными причинами помех, а также оценивать интенсивность этих радиоизлучений и вид модуляции. Каждый источник радиопомехи в зависимости от его частотного спектра создает свой характерный узор на экране телевизора. Поэтому при наличии достаточного опыта можно определить вероятный источник помехи по ее внешнему виду на экране, а также по времени и периодичности ее появления.

Помехи радиоприему можно разделить на два вида — помехи естественного и искусственного происхождения. Помехи естественного происхождения — атмосферные и космические на метровых и дециметровых волнах практически отсутствуют и на прием телевизионных передач не влияют. Основным видом помех телевизионному приему являются помехи искусственного происхождения.

К помехам искусственного происхождения относятся побочные и внеполосные излучения любительских и профессиональных радиопередатчиков (излучения вне разрешенной полосы частот), излучение гетеродинов радиовещательной и профессиональной приемной аппаратуры, радиопомехи промышленного, происхождения.

32

----- (-----, -----), -----
субгармониках, имеющие место в тех случаях, когда основное излучение формируется по промежуточной частоте с последующим умножением частоты, комбинационные излучения, появляющиеся при формировании несущей частоты путем нелинейного преобразования двух вспомогательных частот, паразитные излучения, случайно генерируемые на частотах, независимых от основных частот (например, самовозбуждение). Наряду с побочными излучениями помехи также могут создаваться внеполосными излучениями, которые возникают в процессе модуляции и непосредственно примыкают к разрешенной полосе частот.

Приемная аппаратура, работающая на КВ, может создавать помехи телевизионному приему за счет излучения на гармониках гетеродина, а приемники частотно-модулированных колебаний, тюнеры, конверторы (а

также их комбинации), работающие на ОВЧ и УВЧ, — на основных частотах гетеродина.

Основными источниками промышленных радиопомех являются электротранспорт (наземный городской и железнодорожный), устройства, содержащие двигатели внутреннего сгорания, промышленные, научные, медицинские и бытовые высокочастотные установки, сварочные аппараты, светильники с люминесцентными лампами, газосветные рекламы, высоковольтные линии электропередачи.

Помехи, создаваемые побочными и внеполосными излучениями радиопередатчиков, имеют на экране телевизора вид темных неподвижных вертикальных или наклонных полос либо мелкоструктурной сетки. Помехи от гетеродинов радиовещательных приемников, конверторов, тюнеров также имеют вид вертикальных или наклонных полос, однако их количество и наклон непрерывно меняются. Электротранспорт (троллейбусы, трамваи, электропоезда), а также неисправные бытовые приборы создают помеху в виде нескольких светлых горизонтальных линий, либо непрерывных, либо состоящих из отдельных штрихов, возможны также срывы строчной синхронизации. Помехи от систем зажигания автомашин имеют аналогичный вид и проявляются в непосредственной близости (не более 30-50 м) к движущемуся автотранспорту. При достаточно интенсивном движении. Важно отметить, что помехи от троллейбусов, трамваев, бытовых приборов и автомашин наблюдаются только на длинноволновых каналах метровых волн (каналы с 1-го по 5-й), а помехи от электропоездов—на всех каналах метровых волн (каналы с 1-го по 12-й). На дециметровых волнах помехи от указанных источников практически отсутствуют. Промышленные, научные, медицинские и бытовые высокочастотные установки создают помехи, имеющие вид одной или нескольких широких горизонтальных полос, каждая из которых состоит из большого числа линий, образующих муар. При определенных условиях источником интенсивных помех может стать высоковольтная линия. Причиной появления помех от высоковольтной линии является коронный разряд с широким спектром частот и высокочастотные переходные процессы, содержащие большое число гармонических составляющих. Помехи, создаваемые высоковольтной линией, становятся заметными во время дождя и при высокой влажности воздуха. Уровень этих помех резко возрастает при наличии набросов проволоки на проводе линии. На экране телевизора помехи от высоковольтных линий имеют вид большого числа чередующихся коротких светлых и темных штрихов. Источником помех является также электросварка. Создаваемая ею помеха проявляется, как правило, в виде широкой полосы, состоящей из многочисленных тонких линий, сильно изогнутых в горизонтальном направлении.

6.2 Как устранить или ослабить помеху на экране телевизора

Индустриальные помехи связаны в основном с новообразованием, дугообразованием и другими видами электрических разрядов (дуговая

сварка, высоковольтные линии электропередач, бытовые, медицинские и промышленные установки и т.д.) Такие помехи занимают широкий спектр частот и проявляются одновременно на нескольких телевизионных каналах. Устранить или ослабить промышленные помехи методами частотной селекции практически невозможно. Однако следует учитывать, что эти помехи особенно заметны в радиусе до 200-300 м от источников помех. Поэтому, зная рисунок помехи на экране телевизора, ее интенсивность и периодичность появления, следует выявить, нет ли в непосредственной близости от места приема возможных источников помех (электросварки, набросов проволоки на провода высоковольтной линии электропередачи, неисправной газосветной рекламы и т.д.)

При обнаружении таких источников необходимо принять требуемые технические и организационные меры по их устранению. При этом все работы с приборами и установками повышенной опасности должны производиться только представителями государственных специализированных служб. В практике телевизионного приема известны случаи, когда такие относительно простые меры, как снятие наброса на высоковольтную линию, перенос времени проведения электросварочных работ, своевременный ремонт и профилактика неисправного электрооборудования, позволяли устранить помеху или существенно снизить ее интенсивность. Нужно отметить, что весьма эффективным средством снижения уровня промышленной помехи является также применение остронаправленных антенн с возможно меньшим уровнем задних и боковых лепестков диаграммы направленности.

Помехи телевизионному приему, связанные с побочными и внеполосными излучениями любительских и профессиональных радиопередатчиков, проявляются на расстояниях до нескольких километров от источника помех. В отличие от помех промышленного происхождения спектр частот таких помех ограничен и определяется в основном видом модуляции в передатчике и избирательностью его выходного каскада. Механизм воздействия этой помехи на телевизионное изображение зависит от расположения ее частотного спектра относительно полосы частот телевизионного канала. Если частота помехи лежит вне полосы частот телевизионного канала, но уровень ее достаточно велик, то вследствие малой избирательности входной цепи телевизора сигнал помехи переводит его входной каскад в нелинейный режим. Следствием этого является перекрестная модуляция, приводящая к возникновению помехи на экране телевизора (перекрестная помеха).

Перекрестная помеха может быть существенно ослаблена с помощью полосового фильтра (ФП), рассчитанного на пропускание рабочей полосы частот принимаемого телевизионного канала. В случае однопрограммного приема фильтр включают непосредственно между антенной и входом телевизора (рисунок 17,а).

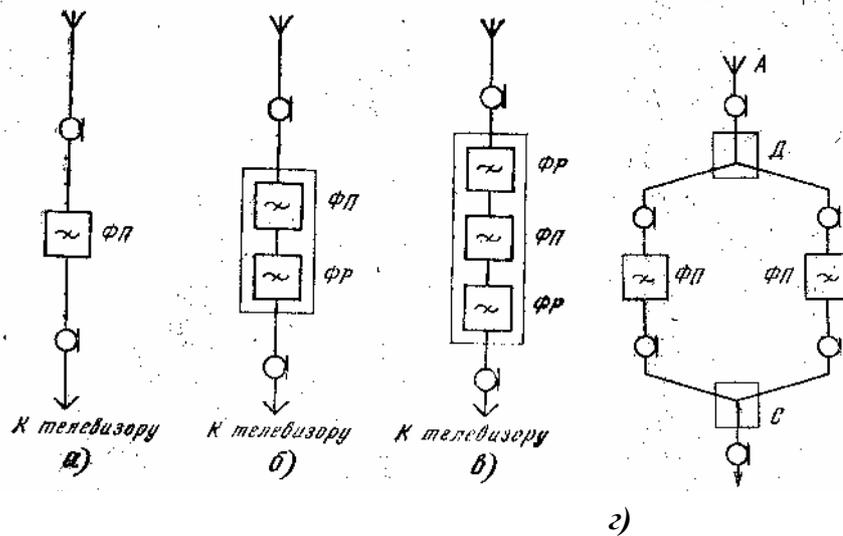


Рисунок 17- Схемы подавления помех

Частота мешающего сигнала лежит при этом вне полосы прозрачности фильтра, в связи с чем этот сигнал ослабляется и уровень перекрестной помехи снижается. Если интенсивность мешающего сигнала очень велика и ослабление его оказывается недостаточным, то последовательно с полосовым фильтром следует включить один или два режекторных фильтра (ФР), настроенных на частоту мешающего сигнала (рисунок 17, б, в) При использовании двух ФР их необходимо включить не друг за другом, а разделить ФП (рисунок 4, в) что обеспечивает более эффективное подавление помехи

При многопрограммном приеме подавление перекрестной помехи достигается более сложным путем. Рассмотрим, например, структурную схему подавления перекрестной помехи при двухпрограммном приеме (рисунок 17, г). Сигнал, принятый антенной, предварительно разветвляется на два направления с помощью делителя мощности Д с взаимно развязанными выходами. В выходные плечи делителя Д включаются ФП, настроенные соответственно на частоты принимаемых каналов (например, в левое плечо — на 3-й канал, в правое — на 11-й канал). Сигналы с выходов фильтров складываются с помощью сумматора С со взаимно развязанными входами и поступают далее либо на вход телевизора либо в распределительную сеть системы коллективного приема или кабельного телевидения Делитель Д и сумматор С полностью аналогичны по схеме и являются по свойствам взаимно обратимыми устройствами. Для изготовления устройства подавления перекрестной помехи при любом сочетании принимаемых каналов с 1 го по 12 и в качестве делителя Д и сумматора С можно использовать серийно выпускаемое распределительное устройство РТУ-2 или телевизионное разветвительное устройство УТР-2.Н2. Если используется устройство РТУ-2, то для включения его в качестве делителя Д к зажиму «Вход» подключается антенна, к зажимам Т1 и Т2 — ФП, а в качестве сумматора С — к зажимам Т1 и Т2 подключаются выходы ФП, а к зажиму «Вход» — телевизор либо

распределительная сеть системы коллективного приема или кабельного телевидения. Если же применяется устройство УТР-2.Н2, то для использования его в качестве делителя к зажиму Вход подключается антенна, к зажимам «Выход 1» и «Выход 2» — ФП, а в качестве сумматора С — к зажимам «Выход 1» и «Выход 2» подключаются выходы ФП, а к зажиму «Вход» — телевизор или соответствующая распределительная сеть.

Нужно подчеркнуть, что даже в том случае, если на одном из принимаемых каналов перекрестная помеха отсутствуют, ФП, настроенный на этот канал, должен быть обязательно включен в соответствующее плечо устройства. В противном случае сигнал, являющийся причиной перекрестной помехи на другом канале, попадет на выход устройства по плечу, в котором фильтр отсутствует.

Потери полезного сигнала в устройстве подавления перекрестной помехи при двухпрограммном приеме составляют 6-7 дБ. Отметим, что структурная схема подавления перекрестной помехи при многопрограммном приеме может быть построена на принципе, аналогичном описанному.

Наиболее сложным является случаи, когда частота помехи попадает непосредственно в полосу частот телевизионного канала. Если сигнал помехи является узкополосным, то его можно несколько ослабить с помощью ФР, но при неизбежно появление специфических искажений—снижение четкости, пропадание отдельных деталей, размывание контуров и т. д.

7 Тесты рубежного контроля по разделу «Распространение радиоволн» дисциплины «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн»

1 Явление огибания радиоволнами препятствий называют...

- A) дифракцией;
- B) рефракцией;
- C) интерференцией;
- D) отражением;
- E) нет правильного ответа.

2 Длина волны – это:

- A) отношение частоты радиосигнала к скорости распространения волны;
- B) отношение расстояния, пройденного радиоволной к частоте сигнала;
- C) отношение скорости распространения к частоте радиосигнала;
- D) отношение напряжения сигнала к частоте;
- E) нет правильного ответа.

3 Поверхностными называют волны, которые ...

- A) распространяются параллельно земной поверхности;
- B) уходят за пределы ионосферы;
- C) последовательно отражаются от земли и ионосферы;
- D) поглощаются ионосферой;
- E) нет правильного ответа.

4 Сложение в данном месте двух или нескольких волн называют...

- A) дифракцией;
- B) рефракцией;
- C) интерференцией;
- D) отражением;
- E) нет правильного ответа.

5 Интерференцией называют явление...

- A) отражения сигнала от поверхности воды;
- B) огибания сигналом поверхности Земли;
- C) наложения двух волновых процессов с образованием максимумов и минимумов;
- D) постепенного преломления сигнала из-за неоднородности среды
- E) нет правильного ответа.

6 Пространственными называют волны, которые ...

- A) распространяются параллельно земной поверхности;
- B) уходят за пределы ионосферы;

- C) последовательно отражаются от земли и ионосферы;
- D) поглощаются ионосферой;
- E) нет правильного ответа.

7 Дифракция – это явление...

- A) отражения сигнала от передающей антенны;
- B) огибания сигналом передающей антенны;
- C) сложения и вычитания сигнала от передающей антенны;
- D) постепенного преломления сигнала из-за неоднородности среды
- E) нет правильного ответа.

8 Отражение и преломление радиоволн происходит...

- A) на границе однородных сред;
- B) на границе неоднородных сред;
- C) от диэлектриков;
- D) от проводников;
- E) нет правильного ответа.

9 Какая из перечисленных зон не является зоной телевизионного приема?

- A) зона прямой видимости;
- B) зона тени;
- C) зона полутени;
- D) зона отражения;
- E) нет правильного ответа.

10 Явление постепенного преломления лучей из-за неоднородности среды называют...

- A) дифракцией;
- B) рефракцией;
- C) интерференцией;
- D) отражением;
- E) нет правильного ответа.

11 Чем определяется вид поляризации электромагнитной волны?

- A) вектором напряженности электрического поля, формируемым расположением и формой проводников передающей антенны;
- B) расположением и формой проводников приемной антенны;
- C) погодными условиями;
- D) видом распространения радиоволн;
- E) нет правильного ответа.

12 Чему равна длина волны λ :

- A) $\lambda = f \cdot c$
- B) $\lambda = f / c$

- C) $\lambda = f + c$
D) $\lambda = c \cdot f$
E) нет правильного ответа,
Где c - скорость света; f - частота.

13 В местах перехода волн из одной среды в другую наблюдается явление ...

- A) отражения и преломления волн;
B) отражения волн;
C) преломления волн;
D) интерференции;
E) нет правильного ответа.

14 Поглощение электромагнитных волн отсутствует в ...

- A) ионизированном воздухе;
B) в безвоздушном пространстве;
C) в диэлектриках;
D) в полупроводниках;
E) нет правильного ответа.

15 Поглощение волн значительно наблюдается в ...

- A) ионизированном воздухе;
B) в безвоздушном пространстве;
C) в твердых диэлектриках, полупроводниках и проводниках;
D) ответы A, B, C верны;
E) нет правильного ответа.

16 Почему замкнутый колебательный контур плохо излучает электромагнитные волны?

- A) токи в двух его половинках направлены в противоположные стороны и волны, создаваемые этими токами противоположны по фазе;
B) токи в двух его половинках направлены в одну сторону и волны, создаваемые этими токами распространяются только внутри контура;
C) токи контура не создают волны;
D) замкнутый контур хорошо излучает волны;
E) нет правильного ответа.

17 В каких единицах измеряют напряженность поля радиоволн?

- A) мкВ/м;
B) мкВ/м²;
C) мкВ* м;
D) мкВ* м²;
E) нет правильного ответа.

18 Как поляризованы волны, излучаемые вибратором, расположенным вертикально?

- A) не поляризованы;
- B) горизонтально;
- C) горизонтально и вертикально;
- D) вертикально;
- E) нет правильного ответа.

19 Антенный эффект – это...

- A) возможность приема сигнала в зоне прямой видимости;
- B) явление приема и излучения фидером электромагнитных волн;
- C) обратимость антенных устройств;
- D) невозможность приема и излучения фидером электромагнитных волн;
- E) нет правильного ответа.

Список использованных источников

- 1 Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: Учебник для ВУЗов/Под ред. Г.А. Ерохина.-М.: Радио и связь, 1996. – 386 с.
- 2 Радиосвязь/Под ред.проф. О.В.Головина. – М.: Горячая линия-Телеком 2001. – 288 с.: ил.
- 3 Чернышев В.П., Шейман Д.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства.- М.: Радио и связь, 1989. – 234 с.
- 4 Пясецкий В.В. Антенны телевизионные. Конструкция, установка, подключение: Справ. Пособие.- Минск: Беларусь,2000. – 198 с.
- 5 Григорьев И.Н. Антенны. Настройка и согласование: Справочное пособие.- М.:ИП Радио Софт, 2002. – 272 с.
- 6 Дубровский В.А., Гордеев В.А. Радиотехника и антенны. М.:Радио и связь, 1992. – 236 с.
- 7 Онищенко И.П. Приемные телевизионные антенны.- М.:ДОСААФ СССР, 1989. – 126 с.
- 8 Сидоров И.Н. Телевизионные антенны.-Л.: Лениздат, 1996. – 140 с.
- 9 Капчинский Л.М. Конструирование и изготовление телевизионных антенн.- М.:Радио и связь, 1995. – 118 с.
- 10 Нестеренко И.И.,Жужевич А.В. Выбери антенну сам.- М.: Солон, 1998. – 253 с.

Мотивированное заключение

Кафедры «Электронной техники и физики» на рукопись
Методических указаний по изучению теоретического курса
раздела «Распространение радиоволн» по дисциплине «Антенно-фидерные
устройства и распространение радиоволн»
Автор-преподаватель колледжа электроники и бизнеса
Бушуй Людмила Алексеевна.

Методические указания по дисциплине «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн». Предназначены для преподавателей и студентов третьего курса электротехнического факультета в помощь при изучении раздела «Распространение радиоволн» дисциплины «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн». Методические указания систематизируют материал по данному разделу предмета и послужат хорошим справочным материалом для подготовки к экзамену и итоговому тестированию.

Проведение занятий с использованием методических указаний позволяет индивидуализировать работу со студентами, повысить эффективность знаний, сделать их более насыщенными. Так же использование методических указаний облегчит студентам поиск необходимого материала и даст нужное направление в поиске.

Указания написаны на _____ страницах и рекомендуются к изданию в 2004 году в количестве _____ экземпляров.

Мотивированное заключение рассмотрено и утверждено на заседании кафедры электронной техники и физики, протокол № _____ от _____ 2004г.

Заведующая кафедрой

Л.А. Бушуй

Рецензия

методического совета колледжа на методические указания по изучению

теоретического курса

раздела «Распространение радиоволн» по дисциплине «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн»

(автор – преподаватель колледжа электроники и бизнеса ОГУ

Бушуй Людмила Алексеевна)

Методические указания по изучению теоретического курса разработаны в соответствии с рабочей программой дисциплины «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн» и Государственными требованиями к минимуму содержания и уровня подготовки выпускников по специальности 2014 «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники».

В методическом указании рассмотрен раздел « Распространение радиоволн» дисциплины «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн», составлен краткий конспект лекций по предмету. Имеются тесты рубежного контроля . В методическом указании можно найти не только конкретные рекомендации по предмету, но и много интересной, полезной информации, позволяющей студенту повысить свой технический уровень.

Рекомендуется к изданию необходимым тиражом.

Председатель методического совета
Зам. директора по НМР

С.А.Кузюшин

Председателю
Редакционно-издательского совета
Ю.Ф.Верещагину
от Л.А. Бушуй
преподавателя колледжа
электроники и бизнеса ОГУ

Заявление

Прошу рассмотреть на редакционном совете ФУП и рекомендовать включить в план издания ГОУ ОГУ рукопись методических указаний по изучению теоретического курса раздела « Распространение радиоволн» дисциплины «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн» для студентов специальности 2014 «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники».

Преподаватель

Л.А.Бушуй.