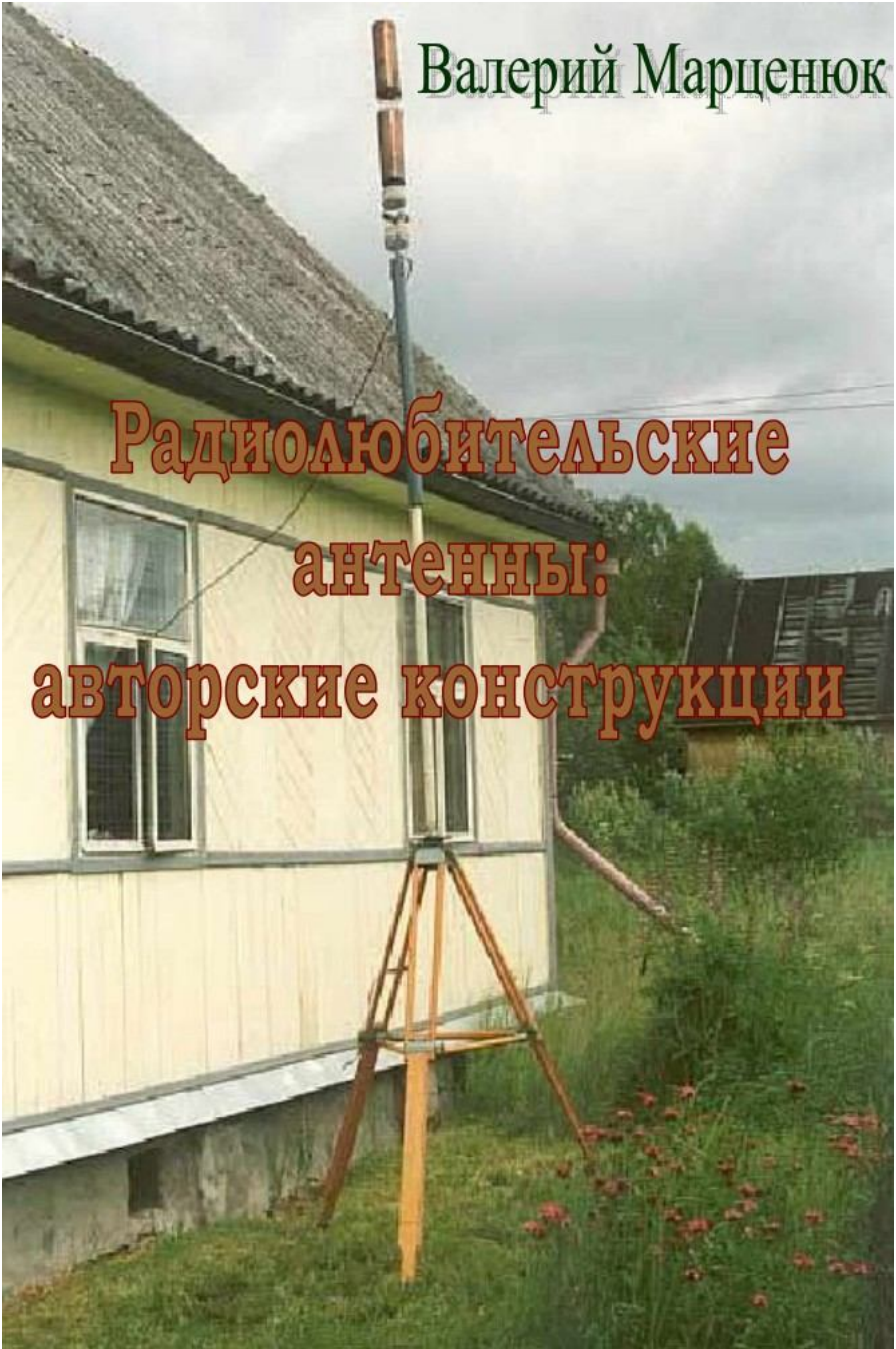


Валерий Марценюк

**Радиолюбительские
антенны:
авторские конструкции**



Валерий Марценюк

Радиоловительские антенны:

*авторские конструкции из газеты
«Радиоинформ»*

Винница, 2019 год

Под редакцией к.т.н. Валерия Марценюка
Радиолюбительские антенны: авторские
конструкции из газеты «Радиоинформ» за 2002 – 2017
год. — Винница.: Радиоинформ — 2019 — 208 с.

ISBN 098-966-2375-05-3

Последнее время радиолюбители стран СНГ предпочитают применять на своих радиостанциях современные импортные трансиверы. В то же время, приобрести и установить на своих участках (домах) импортные антенны многим еще не по карману. Вследствие этого, чаще всего, радиолюбители используют антенное оборудование из разряда «home made», т.е. изготовленное своими руками. Иногда это диктуется дороговизной искомых устройств, но чаще всего здесь преобладает желание собрать что-то своими собственными руками. Основное внимание в книге уделено оригинальным решениям, посвященным построению антенных конструкций, предназначенных для работы в повседневном радиолюбительском эфире. Рассмотрены практические описания и схемы антенных устройств различной степени сложности, даны практические советы, как в части изготовления конструкций, так и по их настройке. В книге систематизированы наиболее интересные разработки на антенную тематику, опубликованные различными авторами в газете «Радиоинформ» за период с 2002 по 2017 год.

ББК 84 Укр6

ISBN 978-966-2375-05-3

© Марценюк В.П.

© Изд. «Радиоинформ»

Содержание

Глава 1. О распространении радиоволн

- 1.1. Особенности распространения радиоволн.....5
- 1.2. Атмосфера и распространение радиоволн.....8

Глава 2. Из теории классических антенн

- 2.1. Классификация радиолюбительских антенн...11
- 2.2. Основные параметры КВ антенн.....14
- 2.3. Классические линейные антенны
 - 2.3.1. Полуволновый вибратор (диполь).....19
 - 2.3.2. Петлевой вибратор.....23
 - 2.3.3. Волновой вибратор.....25
- 2.4. Линии передачи и питание антенн.....26.

Глава 3. Антенны коротковолновых диапазонов

- 3.1. Основные принципы выбора КВ антенн.....31
- 3.2. Классические антенны для КВ диапазонов
 - 3.2.1. Антенна «Long Wire».....32
 - 3.2.2. Простые дипольные антенны.....35
 - 3.2.3. Антенна «перевернутое V».....37
 - 3.2.4. Антенна "Инвертед V " на 160 метров.....39
- 3.3. Вертикальные антенны
 - 3.3.1. Антенна «Ground Plane».....41
 - 3.3.2. Антенна ON4UN и ее модификации.....42
 - 3.3.3. Вертикал без радиалов.....49
 - 3.3.4. Вторая жизнь антенны Куликова.....57
 - 3.3.5. Вертикальная низкошумовая антенна.....61
 - 3.3.6. Антенный опорный изолятор.....63
- 3.4. Антенны типа «Виндом»
 - 3.4.1. Классическая антенна типа «Виндом».....70
 - 3.4.2. Антенна «Windom» на 160 метрів.....72
- 3.5. Антенны типа «дельта»
 - 3.5.1. «Дельта» - это совсем просто.....74
 - 3.5.2. Антенна «дельта» – это не совсем просто...76
 - 3.5.3. Антенны «Дельта» от UT0VV.....77

3.5.4. Об антенне „замкнутая дельта“.....	87
3.6. Антенны рамочного типа	
3.6.1. Антенны из «квадратного ромба».....	89
3.6.2. Антенны типа «двойной прямоугольника»....	92
3.6.3. Зигзагообразная антенна внутри квадрата...	94
3.6.4. Антенна «Швейцарский двойной квадрат»...	97
3.7. Антенны типа «базука»	
3.7.1. Об антенне «двойная базука».....	102
3.7.2. Еще раз об антенне «базука».....	111
3.7. Спиральные антенны	
3.8.1. Об антенне «удочка» и вокруг нее.....	114
3.8.2. Многодиапазонная спиральная антенна.....	121
3.8.3. Спиральная антенна на 160 метров.....	123

Глава 4. Антенны для УКВ диапазонов

4.1. Радиолюбителям об антенне Уда – Яги.....	125
4.2. Рамочные радиолюбительские УКВ антенны.	135
4.3. Петлевые УКВ антенны.....	152
4.4. Антенна на 144 мГц.....	162
4.5. Антенна на 430 мГц.....	166

Глава 5. О согласовании и настройке антенн

5.1. Антенный тюнер для спиральных антенн.....	173
5.2. Проверка состояния петлевых антенн.....	174
5.3. О настройке фазированных «дельт».....	177
5.4. Простой способ настройки повторителей.....	179
5.5. О высокочастотном заземлении.....	181

Глава 6. Из практики применения антенн

6.1. Почему замолкают антенны?.....	186
6.2. Радиосвязь через ионосферное зеркало.....	196
6.3. Техногенное влияние на дальность связей.....	198
6.4. О рациональном выборе антенны.....	204

Глава 1. О распространении радиоволн

1.1. Особенности распространения радиоволн

В работе [1] указано, что энергия, излучаемая передающей антенной, распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн. Электромагнитные волны описываются следующими характеристиками.

1. Длина волны (λ) — кратчайшее расстояние между двумя точками в пространстве, на котором фаза электромагнитной волны меняется на 360 градусов.

2. Частота (f) – число полных периодов изменения напряженности поля в единицу времени.

3. Скорость распространения волны (V) — скорость распространения последовательности волн от источника энергии.

Частота электромагнитных волн, скорость распространения и длина волны связаны соотношениям:

$$C = V / f$$

Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме C равняется 300 тысяч километров за секунду. Подставляя значение скорости распространения в формулу для длины волны λ в метрах, получаем:

$$\lambda = C / f = 300000000 / 3600000$$

где f — частота в Гц, например, при $f = 3\,600\,000$ Гц, длина волны составит 83,333 метра.

Радиосвязь между двумя пунктами, расположенными на поверхности Земли, осуществляется пространственными или поверхностными волнами. Дальность распространения поверхностных волн любительского передатчика средней мощности лежит в пределах от 10 км до 100 км. В то же время в

радиолобительской практике поверхностные волны для связи практически не применяются, потому что они распространяются вдоль земной поверхности и в коротковолновом диапазоне имеют сильное поглощение. Связь с помощью таких волн на большие расстояния при малых мощностях передатчиков практически невозможна.

Такая связь становится возможной благодаря пространственным волнам, которые отражаются от ионосферы. При наличии заряженных частиц верхние пласты атмосферы имеют свойство отражать радиоволны. Область атмосферы, в которой происходит ионизация, называется ионосферой.

Существует два четко выраженных максимума ионизации: первый на высоте от 90 до 170 км (так называемый пласт D), и второй в пласте F, который начинается на высоте 200 км и распространяется до высоты 500 км. Выше ионосферы находится так называемая экзосфера, являющаяся переходом к космическому пространству. Экзосфера еще сравнительно слабо исследована, и только обработка измерений, сделанных с помощью искусственных спутников Земли, позволила предположить, что концентрация электронов в экзосфере значительно выше, чем предполагалось до сих пор.

Строение ионосферы непрерывно меняется, и потому не следует ее понимать как неподвижную систему, расположенных один над другим пластов. Различают изменения строения ионосферы, которые имеют суточную, годовую периодичность, а также изменения, связанные с периодом солнечной активности. Максимум солнечной активности совпадает с возникновением на Солнце факелов и протуберанцев и имеет период, равный приблизительно 11 годам. Вследствие увеличения солнечной активности увеличивается интенсивность коротковолнового излучения и происходит более интенсивная ионизация верхней атмосферы.

Изменение концентрации электронов в свою очередь приводит к изменению преломляющей способности ионизированных пластов. Годовое и ежедневное изменения состояния ионосферы становятся понятными, если учесть, что в зимние месяцы влияние солнечного излучения на ионосферу менее длинное и интенсивное, чем в летные. Таким же образом сказывается влияние недостаточного ультрафиолетового излучения в ночные часы.

Пласт D, который находится в относительно плотных слоях атмосферы, имеет максимальную концентрацию в дневные часы, а с закатом Солнца электронная концентрация быстро уменьшается к нулевому значению. В пласте D сильное ослабление ощущают радиоволны средневолнового диапазона, а также длинноволновой части коротковолнового диапазона.

Уменьшение дальности распространения в диапазонах 160 и 80 м, а также ухудшение приема средневолновых станций в дневные часы в основном объясняется поглощением этих волн в пласте D. В зимние месяцы, когда пласт D ионизирован слабее, наблюдается увеличения дальности распространения таких волн в дневные часы.

Прослойка E, что находится выше пласта D, в ночные часы исчезает частично. Волна длиной 80 метров частично поглощается в пласте E. А волна длиной 40 метров при достаточной электронной концентрации – отбивается от него. Большое значение для распространения электромагнитных волн имеет пласт F, потому что благодаря ему увеличивается дальность связи на коротких волнах.

Волны, излучаемые антенной и проникающие в ионосферу, достигнув определенной высоты, на которой электронная концентрация довольно большая, отбиваются назад к Земле. Чем выше частота волны, тем большая должна быть электронная концентрация, необходимая для

отражения. Отражения происходят с потерями энергии, причем волны, которые имеют низкие частоты, имеют большее поглощение, чем волны, которые имеют высокие частоты. Так, волны частотой ниже 2 МГц днем вообще не отражаются. И только при уменьшении электронной концентрации в ночные часы отражение волн этих частот становится возможным.

Сверхвысокочастотные волны не отражаются и днем, а, пройдя пласты ионосферы, идут в космическое пространство.

1.2. Атмосфера и распространение радиоволн

Поводом для написания статьи, опубликованной в работе [2], послужило многолетние наблюдения автора за поведением радиоволн (прохождением), влияние на этот процесс человеческой (техногенной) деятельности и процессов происходящих в природе. Замечали ли вы, как изменяется распространение радиоволн, особенно в ночное время? Если можно такоехождение прогнозировать, то на чем основывать прогноз?!

По наблюдениям автора работы [2] (и не только), вечернеехождение можно условно разделить на три типа. **Первый тип прохождения, его можно назвать «слайдовым»**, отличается тем, что в определенный промежуток времени (иногда очень быстро) происходит фронтальное затухание сигналов станций одного региона с одновременным ростом силы сигнала станций другого региона (подобно замене слайдов в режиме «слайд шоу»). В регионе наблюдения это затухание сигналов станций Украины, России, Белоруссии, иногда Турции и появлением вместо них сначала станций Польши, Германии и стран, расположенных далее на запад. Причем Польша может как «пролететь», так и остаться на диапазоне. В другом варианте «слайдового» прохождения отмечается затухание сигналов тех же станций и

появление вместо них сигналов станций Турции, Франции, Швейцарии и (или) Италии. Здесь в варианте Польши выступает Италия, она либо уходит с диапазона, либо остается. В отличие от станций Польши большинство итальянских станций ведет себя довольно беспардонно, не обращая ни на кого внимания, беспрестанно тараторя на своем языке и оперируя, при этом зачастую, киловаттами.

Второй тип прохождения можно назвать «миксовым», при котором сигналы станций пребывающих на диапазоне в большей части не затухают, но к ним дополнительно добавляются сигналы станций из государств, перечисленных выше (только как пример). В этом случае итальянцы начинают «доставать» всех подряд (тех, у кого слабее нервы).

При третьем типе прохождения, которое можно назвать «калейдоскоп», в отличие от двух вышеупомянутых, предугадать или спрогнозировать прохождение сигналов не представляется возможным. Но это зачастую и есть самое интересное прохождение. Если в первых двух типах прохождения станции стоят по силе сигнала, так сказать, стационарно, то при третьем типе прохождения станция (причем самой непредвиденной страны) может выскочить как чертик из табакерки с сигналом 5.9+, но так же внезапно может и исчезнуть.

Были попытки привязать вид прохождения к каким-то природным явлениям и в первую очередь к солнечной активности. Получалось это не всегда, или почти всегда не получалось. По солнцу должно быть прохождение, а на самом деле его нет и наоборот. Видимо, на прохождение сигналов напрямую влияет состояние атмосферы, а стало быть и погода. Тогда все стало на свое место.

При нормальной спокойной погоде (на большей части континента) и атмосфера спокойная, потоки воздуха движутся ламинарно и ионизация атмосферы в основном расположена послойно. А это обуславливает прохождение

первого типа (угол отражения от ионосферы более или менее стабилен).

Когда над какой-то частью континента происходят природные аномалии в виде необычных для данных мест осадков в виде дождя, снега, нехарактерные ветра и их скорости, то такие факторы, как правило, обуславливают прохождение второго типа. В данном случае возмущение атмосферы более сильное и воздушные течения меняются от ламинарных в сторону турбулентных. А это, в свою очередь, тянет перераспределение слоев ионизации атмосферы в сравнении с обычным, искривления и деформации в ионосфере, и, как следствие, появление нескольких зон отражения с разными углами.

При наличии затяжных сильных ветров, ураганов, охлаждений или нагревов больших поверхностей, землетрясений, извержений вулканов - скорее всего будет преобладать прохождение третьего вида. В этом случае воздушные потоки имеют ярко выраженную турбулентную структуру, слой ионизации из сплошных переходят в разрозненные с разными площадями и уровнями, объемными конфигурациями. Из-за интенсивного движения атмосферы слои имеют тенденцию к смещениям и перемещениям, обуславливая наличие разных, порой самых невообразимых углов отражения, и переотражения как в атмосфере, так и на земле.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что если вы хотите сделать свой прогноз прохождения радиоволн, а следовательно и спланировать работу, то предварительно посмотрите прогноз погоды в мире. Затем сопоставьте его с обычным для вашей местности прохождением и получите искомый результат.

Литература к Главе 1:

1.Марценюк В.П., Антенны для начинающих радиолюбителей, газета «Радиоинформ» №№12,13 за 2015 год.

2. А.И.Бобров, Атмосфера и
распространение радиоволн, газета «Радиоинформ»
№№10-12 за 2012 год.

Глава 2. Из теории классических антенн

2.1. Классификация радиолобительских антенн

При идеальных условиях распространения на линиях радиосвязи в диапазоне коротких волн (КХ) довольно удовлетворительный прием может быть обеспечен с помощью куска провода длиной в несколько метров. В этих условиях качество приема определяется свойствами приемника (его селективностью, стабильностью и другими характеристиками). В реальных условиях, в которых работают радиолобители (слабый уровень сигнала, наличие помех и др.), необходимо применять направленные антенны, такие, которыми пользуются на передающих станциях.

В работе [1] отмечено, что в теории антенн известна теорема взаимности, из которой вытекает, что характеристики излучения передающей антенны и характеристики той же самой антенны, которая работает в приемном режиме, идентичны. Поэтому для анализа антенн довольно познакомиться со свойствами антенн в режиме передачи, чтобы иметь полную информацию о характеристиках антенн в режиме приема.

Наиболее рационально применять одну и ту же антенну, как для приема, так и для передачи. В этом случае максимально используются ее направленные свойства. Однако для этого нужны переключающие устройства, которые осуществляют коммутацию антенны то с передатчиком, то с приемником. В случае использования двух антенн, разнесенных на достаточное расстояние друг от друга, тяжело добиться идентичности характеристик излучения обеих антенн и оптимальной работы станции в целом.

В другом случае, когда приемная и передающая антенны находятся вблизи одна от другой и имеют одинаковое построение, между ними возникает сильное взаимодействие, благодаря чему на выходе приемной

антенны, то есть на входе приемника, возникают сильные помехи.

Радиоловитель, намеревающийся сконструировать свою станцию, которая должна иметь высокие показатели работы, всегда оказывается перед решением вопроса: какую именно антенну выбрать? Обращение к литературным источникам создает, как правило, впечатление, что существует огромное число разных типов антенн, среди которых он должен сделать единственно правильный выбор. И чаще всего радиоловитель выбирает ту или иную антенну на основании информации, полученной от своих коллег-радиоловителей, которые в силу разных личных причин широко рекламируют какую-нибудь одну из антенн (как правило, ту, которой они пользуются) и очень неодобрительно высказываются о других типах антенн.

Для того чтобы радиоловитель мог сознательно выбрать тип антенны, необходимо, знать хотя бы в минимальном объеме основные сведения, как из теории антенн, так и из теории распространения радиоволн. Ознакомившись с этими вопросами, радиоловитель найдет нужную схему антенны среди схем, описанных в этой книге, или в других источниках.

Начинающий радиоловитель должен отдавать себе полный отчет в том, что антенна не является устройством неограниченных возможностей. Возможности получения высоких качественных показателей работы антенн и, в первую очередь, антенн для радиоловительских станций - ограничены. Однако правильный выбор антенны позволяет радиоловителю наилучшим образом использовать передатчик станции, получить самый большой уровень сигнала, а в ряде случаев — самый большой уровень отношения сигнал/помеха на входе приемника.

Для того чтобы читатель мог легче ориентироваться среди более чем двухсот известных типов любительских

антенн, проведено распределение любительских антенн на основные типы. Это распределение большей частью совпадает с распределением, принятом для профессиональных антенн.

Антенна является устройством, которое принимает участие в процессе передачи электромагнитной энергии из линии питания в свободное пространство, и наоборот. Каждая антенна имеет активный элемент, а также может содержать один или более пассивных элементов. Активный элемент антенны называется вибратором и, как правило, он непосредственно соединен с линией питания. Появление переменного напряжения на вибраторе связано как с распространением волны в линии питания, так и с возникновением электромагнитного поля вокруг вибратора.

Пассивные элементы, называемые рефлекторами, в конструкции антенны выполняют следующие функции:

- формируют электромагнитное поле определенной структуры, которая обеспечивает необходимые направленные свойства антенны;
- обеспечивают взаимное согласование сопротивлений системы “свободное пространство — антенна — линия питания”.

По образу излучения все антенны можно разделить на три основные группы: линейные антенны, апертурные антенны, антенны поверхностной волны.

Линейная антенна. Эта антенна имеет один провод, или систему проводов, длина которых значительно превышает их поперечный размер. Обычно для линейных антенн отношения длины волны к диаметру провода превышает 1000. Характеристики излучения линейной антенны определяются распределением токов на проводах и их взаимной ориентации. К этой группе антенн относятся вибраторно-дипольные антенны, ромбические антенны и некоторые другие.

Апертурная антенна. Эта антенна характеризуется наличием поверхности (апертуры), на которой происходит трансформация энергии, которая распространяется в линии питания, в энергию излучения. Размеры апертуры обычно значительно превышают длину волны. Характеристики излучения апертурной антенны в основном определяются структурой электромагнитного поля на апертуре. Типичным представителем этой группы антенн есть зеркальная параболическая антенна.

Антенна поверхностной волны. В механизме излучения этих антенн основную роль играет, так называемая, поверхностная волна. Эта волна распространяется вдоль антенны и одновременно принимает участие в процессе излучения. Длина антенн поверхностных волн, как правило, больше длины волны. Характеристики излучения этой антенны определяются как условиями распространения волны вдоль антенны, так и образом ее соединения с линией питания. Типичными представителями этой группы антенн есть диэлектрические антенны, антенны Уда — Яги и другие. В этих антеннах возможности формирования разных характеристик излучения, как правило, довольно ограничены.

Чаще всего в диапазоне коротких волн используются линейные антенны, на которых мы и остановим дальнейшее рассмотрение.

2.2. Основные параметры КВ антенн

В числе факторов, от которых зависит КПД излучающей радиоловительской антенны, на первом месте стоят ее размеры. Прообразом такой антенны может служить разомкнутая на конце двухпроводная линия передачи сигналов вдоль всей длины, в которой в определенных координатах возникают узлы (амплитуда сигнала равняется нулю) и пучности (амплитуда сигнала

максимальная) тока (напряжения) — так называемая стоячая волна [1].

В этом случае в пространстве между проводами линии возникает электромагнитное поле. Если же мы разведем провода линии в противоположные стороны, то это электромагнитное поле станет распространяться не по длине линии, а в пространстве, то есть будет происходить излучение электромагнитной энергии. Для эффективного излучения энергии общая длина обеих проводов линии (антенны) должна быть не менее половины длины волны излучения. Например, если длина волны в диапазоне 3.5 МГц равняется приблизительно 80 метров, то это значит, что антенна никак не может быть короче 40 метров. Для справки, такая антенна называется полуволновым вибратором или диполем (название “диполь” используется потому, что в антенне есть два провода).

Часто появляются попытки уменьшить геометрические размеры антенны путем включения в ее проводники элементы с сосредоточенными постоянными (емкостями и индуктивностями). Размеры антенны, действительно, уменьшаются, но одновременно, как правило, падает ее эффективность. Дополнительно возникают трудности с налаживанием, и антенна становится узкополосной. Поэтому укороченные антенны не получили надлежащего распространения, тем более среди начинающих коротковолновиков.

Следует учитывать, что если вблизи антенны находятся любые металлические предметы, то заметная часть энергии будет тратиться на наведение у них токов и превращаться в тепловые потери. Поэтому передающую антенну нужно поднять как можно выше над землей, и по возможности отдалить ее от проводов линий электропередачи, элементов строительных конструкций и деревьев.

Существенным параметром передающей коротковолновой антенны есть ее направленность —

свойство, которое характеризует способность не рассеивать энергию во все стороны (что в большинстве случаев является попросту напрасным и даже вредным с точки зрения создания помех другим станциям), а передавать ее в нужном направлении. Число, которое показывает, во сколько раз отличаются величины энергии в обоих случаях, будет равняется коэффициенту направленного действия антенны — КНД.

Известно, что полуволновый диполь излучает максимум энергии под углом 90 градусов к своей оси и практически не излучает вдоль нее. Такой диполь есть довольно популярным среди радиолюбителей. Его применяют и как самостоятельную антенну, и как элемент более сложных антенных систем. Если такую антенну подвесить параллельно земли, то диаграмма ее направленности в горизонтальной плоскости будет представлять собой восьмерку. В вертикальной плоскости диаграмма будет формироваться как излучением самой антенны, так и отражением этого излучения от поверхности земли, поэтому для разных высот подвеса H (выраженных в частицах длины волны) диаграммы окажутся разными. С полуволновым диполем сравнивают другие, более сложные антенны. Число, которое показывает, во сколько раз надо уменьшить мощность передатчика при замене такого диполя на другую антенну для обеспечения той же напряженности поля в месте приема, называется коэффициентом усиления антенны. Он прямо пропорционален ее КПД и КНД.

Как правило, антенну размещают на некотором удалении от передатчика, поэтому для передачи к ней энергии (питание антенны) приходится применять фидер – линию передачи сигнала, которая должна передавать энергию с минимальными потерями и без излучения. Чаще всего фидер работает в режиме бегущей волны – без наличия пучностей тока и напряжения в конкретных точках линии. Для этого волновое сопротивление фидера должно

быть близким к волновому сопротивлению антенны. Равенства этих сопротивлений добиваются подбором типа фидера и применением разных согласующих элементов. Волновое сопротивление антенны зависит от места подключения фидера к антенне, например, точно в середине полуволнового диполя оно составляет приблизительно 75 Ом.

Фидер с бегущей волной может быть произвольной длины, потери в нем относительно небольшие, он не требует настройки при изменении частоты. Однако в некоторых случаях может оказаться более удобным использовать фидер со стоячей волной, которая не требует тщательного согласования волновых сопротивлений. Фидер со стоячей волной можно считать частью самой антенны, выполненной в виде двух параллельных проводов. В этом случае поля, которые создаются обеими проводами, компенсируют друг друга, и фидер не излучает. Однако применение подобного фидера обычно заметно усложняет его согласование с передатчиком. Следует учитывать, что практическая длина антенны для фидера со стоячей волной, измеренная в частицах длины волны, оказывается немного меньшей ее теоретической длины, полученной согласно расчетам (например, по резонансной частоте).

Это различие в длинах характеризует так называемый коэффициент укорочения. Физическое содержание укорочения состоит в следующем. Длину волны мы определяем как частное от деления скорости распространения электромагнитной энергии в свободном пространстве на частоту. А вдоль проводов фидера радиоволна распространяется немного медленнее. Кроме того, существует емкость между полотном антенны и землей, которая возбуждает распределение тока в антенне (через наличие емкости ток на концах провода не равняется нулю).

Учесть степень влияния этих факторов теоретически невозможно, поэтому точную длину антенны обычно определяют экспериментально. Ориентировочно же принимают длину полуволнового диполя из одиночного провода (такой более всего часто встречается в любительской практике) равной 0,475 расчетной длины волны.

Для того чтобы сравнивать между собой разные антенны используют понятие сопротивления излучения, которое относится к величине тока в узле пучности. Сопротивлением излучения антенны называется активное эквивалентное сопротивление, на котором рассеивается мощность, равная мощности излучения антенны при равенстве токов в антенне и в сопротивлении. С помощью сопротивления излучения определяется потребление мощности антенной. В случае резонанса сопротивление излучения настроенной антенны и сопротивление ее потерь в сумме составляют активное входное сопротивление антенны. На практике сопротивление потерь значительно меньше сопротивления излучения. В то же время сопротивление излучения зависит от расположения антенны относительно Земли и окружающих предметов, а также от ее геометрических размеров.

При известной мощности излучения $R_{изл}$ и максимальном значении тока $I_{мах}$ сопротивление излучения антенны может быть рассчитано по формуле:

$$R_{изл} = P_{изл} / I_{мах}^2$$

Для получения самой большой дальности связи в коротковолновом диапазоне нужно указывать оптимальные углы излучения антенны. Эти углы зависят от рабочей частоты передатчика, а также от высоты и электронной концентрации преломляющего пласта ионосферы. Если угол излучения большой, то основное

излучение антенны, попав в пласт F и отразившись от него, возвращается на Землю на сравнительно небольшом расстоянии от передатчика. Работа с такой антенной дает уверенную связь на небольших расстояниях, но не дает возможности проводить дальние связи.

Антенна с немного более пологим углом излучения обеспечивает значительно большее расстояние связи. Очевидно, что для дальних связей оптимальным есть очень пологий угол. Излучение коротковолновых антенн всегда занимает широкий вертикальный сектор, в пределах которого есть один или большее число лепестков диаграммы направленности. Конечно, невозможно построить антенну в любительском коротковолновом диапазоне, которая излучала бы электромагнитные волны в резко ограниченном направлении. Насколько антенна пригодна для дальних связей, можно определить исходя из того, насколько прижаты к земле основные лепестки диаграммы направленности этой антенны. Вертикальный угол наклона диаграммы направленности сильно зависит от высоты подвеса антенны и проводимости земли. Учитывая, что ионосфера подвергается постоянным изменениям, то и оптимальные углы для каждого диапазона меняются.

2.3. Классические линейные антенны

2.3.1. Полуволновый вибратор (диполь)

Общий вид симметричного полуволнового вибратора (диполя), описаного в работе [1], приведен на рис.2.1. Он представляет собой прямолинейный цилиндрический проводник, который питается генератором высокой частоты (передатчиком). Его длина равняется половине длины волны излучаемых им электромагнитных волн.

Почти все антенны коротковолновых диапазонов представляют собой комбинации из полуволновых

вибраторов. Поэтому, чтобы лучше понять принцип действия и выучить их свойства, необходимо подробнее ознакомиться с работой полуволнового вибратора.

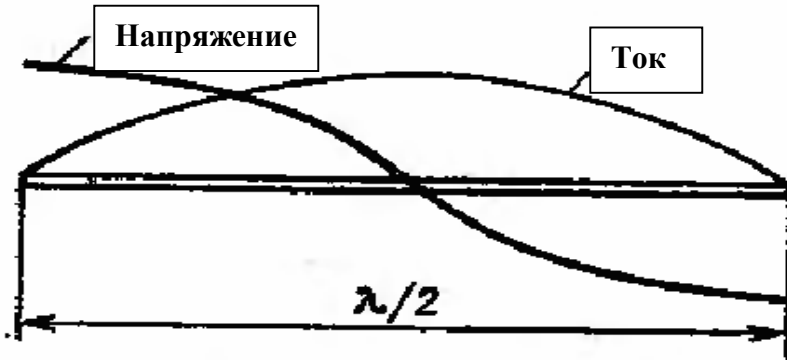


Рис.2.1. Полуволновой вибратор

Под влиянием ЭДС генератора, подключенного к входу вибратора, в нем возбуждаются токи и заряды, которые создают электромагнитное поле вокруг вибратора. Можно считать, что ток и заряды вдоль провода распределяются в виде стоячих волн, причем на концах вибратора устанавливаются узлы тока и пучности заряда (напряжения), как это показано на рисунке 2.1. В центре полуволнового вибратора находится узел напряжения, в котором оно настолько мало, что там можно сделать заземление, не опасаясь значительных потерь.

Зная распределение тока и напряжения по вибратору, можно определить его сопротивление согласно закону Ома, как напряжение, деленное на ток. Теоретически можно определить сопротивление в любом сечении вибратора, если там известен ток и напряжение. Известно, что на концах вибратора присутствует высокое напряжение при малом токе, то есть там большое полное сопротивление. В середине полуволнового вибратора

присутствует небольшое напряжение при большом токе, то есть присутствует малое сопротивление.

Каждый проводник имеет собственную индуктивность и емкость. У прямолинейного проводника, в виде которого может быть представлен каждый вибратор, индуктивность и емкость распределены равномерно по всей длине. Полуволновый вибратор представляет собой проводник, который можно рассматривать как «открытый колебательный контур». Его резонансная частота определяется индуктивностью и емкостью вибратора, которые зависят от его геометрических размеров.

Качество колебательного контура в основном определяется отношением L/C . При большом отношении (большая самоиндукция при малой емкости) мы имеем узкополосный контур с острым резонансом (смотри рис.2.2.). При малом отношении (небольшая самоиндукция при большой емкости) — широкополосный контур с менее резко выраженным резонансом.

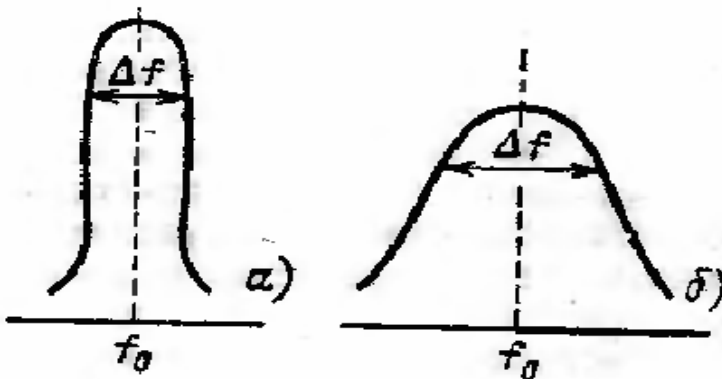


Рис.2.2. Полоса пропускания вибратора

Таким образом, ширина полосы пропускания полуволнового вибратора определяется отношением L/C , которое в свою очередь зависит от отношения длины волны к диаметру проводника. Например, при одинаковой длине вибратора с проводником большего диаметра имеет

большую емкость, потому что его поверхность больше и следовательно меньшее отношение L/C , чем у вибратора с меньшим диаметром проводника. Вибратор большего диаметра имеет и большую полосу пропускания. В коротковолновом диапазоне отношение длины волны к диаметру практически не имеет значения, потому что у обычных проволочных антенн оно равняется 5000 и больше.

Фактически электрическая и геометрическая длины вибратора равны только в том случае, когда проводник становится бесконечно тонким. Скорость распространения (отделения) электромагнитных волн от проводника немного меньше, чем скорость распространения света. В связи с этим, особенно на концах антенны, возникает емкостный ток, который эквивалентен увеличению длины антенны. Поэтому действительная длина вибратора (геометрическая длина) должна быть немного уменьшена (укорочена) относительно его электрической длины. В действительности коэффициент укорочения тяжело точно определить, потому что на него влияет высота подвеса антенны, и окружающие предметы (здания, деревья) и тому подобное.

Так как питание полуволновых вибраторов осуществляется в узле пучности тока (геометрическом центре антенны), то входное сопротивление такой антенны равняется сопротивлению излучения. Входное сопротивление полуволнового вибратора теоретически равняется 73 Ом, но это значение определено в предположении, что проводник бесконечно тонкий и антенна расположена бесконечно высоко над Землей.

Электромагнитные волны распространяются от вибратора со скоростью света, но распределение излучения по всем направлениям происходит неравномерно. У всех антенн в определенных направлениях есть максимумы, а у других — минимумы излучения. Для того чтобы целиком изобразить диаграмму

направленности излучения, ее необходимо построить в трехмерном пространстве.

В общем случае можно сделать вывод, на какой высоте нужно располагать полуволновый вибратор (половина длины волны от поверхности Земли). Вибратор, подвешенный на высоте меньшей (например, четверть длины волны), имеет значительную интенсивность излучения под большими углами и дает плохие результаты при связях на большие расстояния.

Из диаграммы направленности можно определять и другие важные параметры, которые характеризуют антенну. В первую очередь нас интересует ширина диаграммы направленности. Под шириной диаграммы направленности понимают угол, внутри которого напряженность поля превосходит определенный уровень. Ширину диаграммы направленности можно также определить как угол, внутри которого мощность превосходит половину максимальной мощности, излучаемой в основном направлении.

2.3.2. Петлевой вибратор

Описанные выше простые полуволновые вибраторы могут быть соединены между собой в виде шлейфа, при этом образуется петлевой вибратор (смотри рис.2.3.).

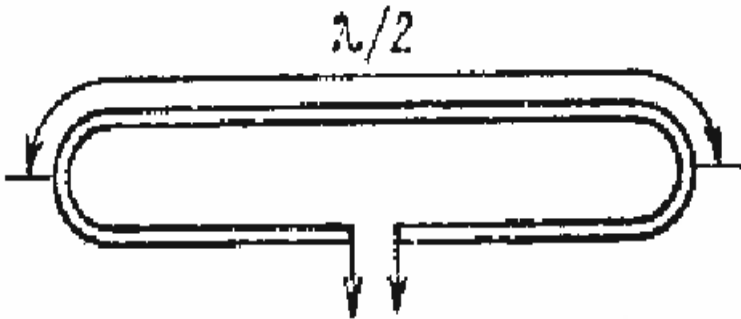


Рис.2.3. Петлевой вибратор

Диаграмма направленности петлевого полуволнового вибратора почти ничем не отличается от диаграммы направленности простого полуволнового вибратора. При параллельном соединении двух простых вибраторов общая индуктивность уменьшается, а емкость добавляется. Ведь отношение L/C в петлевого вибратора меньше, а полоса пропускания больше, чем у простого вибратора.

При параллельном соединении двух одинаковых полуволновых вибраторов, которые образуют петлевой вибратор, антенный ток, протекая по двум ветвям, разделяется на две части. Таким образом, при той же мощности излучения антенный ток петлевого вибратора равняется половине антенного тока простого вибратора. В обоих случаях, излучаемая мощность одинаковая, и можно из ранее приведенной формулы

$$R_{изл} = R_{изл} / I^2 \max$$

сделать вывод, что сопротивление излучения петлевого вибратора будет в 4 раза больше сопротивления излучения простого вибратора и лежит в пределах 240 — 280 Ом.

Разновидностью простого петлевого вибратора есть двойной петлевой вибратор (смотри рис.2.4). В этом случае, когда диаметры всех проводников одинаковые, антенный ток в каждом вибраторе равняется одной трети общего антенного тока. А потому входное сопротивление двойного петлевого вибратора при этом в 9 раз больше входного сопротивления простого вибратора (около 540 — 630 Ом).

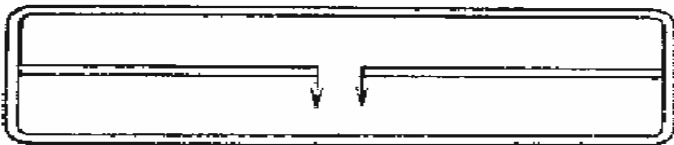


Рис.2.4. Двойной петлевой вибратор

Часто для изменения входного сопротивления на входе антенны выбирают разные диаметры вибраторов. Выбирая диаметр центрального проводника меньшим, чем диаметры верхнего и нижнего проводников, можно изменить входное сопротивление двойного петлевого вибратора пропорционально в сторону его уменьшения.

2.3.3. Волновой вибратор

Вибратор, электрическая длина которого равняется длине волны, называется волновым вибратором (смотри рис.2.5.). Обе половины вибратора в этом случае синфазно возбуждаются в пучности напряжения. На входе волнового вибратора высокому напряжению отвечает небольшой ток и его полное входное сопротивление относительно высокое.



Рис.2.5. Волновой вибратор

Иногда волновой вибратор называют вибратором с питанием по напряжению. Входное сопротивление и ширина полосы пропускания волнового вибратора в большей мере зависят от отношения длины волны к диаметру λ/d , чем у полуволнового вибратора.

Кроме того, полоса пропускания такого вибратора всегда больше, чем у полуволнового вибратора при том же самом отношении λ/d .

Входное сопротивление волнового вибратора зависит также от расстояния между правой и левой частями

вибратора, причем расчетное значение отвечает расстоянию, равному диаметру проводника вибратора.

У волнового вибратора также другой коэффициент укорочения. Вследствие своей большей длины волновой вибратор несколько более эффективен, чем полуволновый, и имеет усиление 1,8 дБ.

2.4. Линии передачи и питание антенн

Исходя из того, что радиолюбители по обыкновению хотят повесить антенну как можно выше и подальше от окружающих предметов, то только в некоторых случаях возможно непосредственное подключение антенны к приемнику или передатчику. Во всех других случаях такое подключение осуществляется с помощью специальной линии передачи сигнала, которую называют фидером [1]. Если не учитывать потерь в линии передачи (фидере), то ее волновое сопротивление Z определяется по формуле:

$$Z = \sqrt{L/C}$$

где Z — действительное число и волновое сопротивление не зависит от частоты и длины линии.

Большая индуктивность и меньшая емкость приводят к более высокому волновому сопротивлению. Практически это означает, что линия из тонких проводников (большое L) при значительном расстоянии между проводниками (небольшое d) имеет большее волновое сопротивление, чем линия из проводников большого диаметра с меньшим расстоянием между ними. Высокочастотные линии, которые имеют волновое сопротивление от 30 до 300 Ом, изготавливаются промышленностью в виде ленточных и коаксиальных кабелей. К кабелям обычно добавляется паспорт, в котором указываются его параметры.

Неизвестное волновое сопротивление фидерной линии может быть измерено с помощью измерительного моста LC. Для этого измеряют емкость разомкнутой на конце линии, например, между центральной жилой и внешним проводником кабеля. Потом противоположный конец кабеля закорачивается и измеряется индуктивность линии. Значение емкости и индуктивности подставляют в формулу для определения Z . Для уменьшения погрешности измерений длину линии ограничивают ее частью от одного до пяти метров.

Для примера волновое сопротивление большинства экранированных микрофонных шнуров лежит в пределах 40-70 Ом, сетевых шнуров питания в пределах 30-60 Ом, телефонных пар в пределах 70-100 Ом.

Различают в основном два типа питания антенн — с помощью настроенных на рабочую частоту сигнала линий передачи и с помощью не настроенных (однако согласованных по волновому сопротивлению) линий передачи. Оба вида линий передачи при правильно избранных размерах служат для передачи энергии без потерь на излучение.

Настроенная линия передачи является разомкнутой двухпроводной линией, которая имеет электрическую длину ($\lambda/2$ или $n(\lambda/2)$), в которой при нарушении этой длины возникают стоячие волны. Распределение напряжения и тока в линии указывает на то, что при небольшом расстоянии между проводами линии (в сравнении с длиной волны) электромагнитные поля обеих проводников компенсируют друг друга, и настроенная линия передачи совсем не излучает, или ее излучение небольшое.

С помощью настроенной линии передачи можно питать любой резонансный вибратор и одновременно делать трансформацию полного сопротивления. Если тот же вибратор возбуждать с удвоенной частотой, то полуволновый вибратор становится волновым и линия

питания также имеет электрическую длину, равную λ , а потому их волновые сопротивления одинаковые.

Можно возбуждать $\lambda/2$ вибратор любой высшей гармоникой и при этом входное полное сопротивление вибратора будет трансформироваться в соотношении 1:1 к входу линии передачи. При питании антенны по линии передачи длиной $\lambda/4$ равной кратному числу четвертей используемой длины волны происходит трансформация входного сопротивления, связанная с тем, что соотношение между напряжением и током на конце линии передачи меняется на обратное соотношение в начале линии.

При выборе расстояния между проводниками линии передачи необходимо найти компромиссное решение. С одной стороны, расстояние между проводниками фидера необходимо выбирать возможно меньшим, чтобы линия передачи не излучала. С другой стороны, слишком близкое расположение проводников приводит к увеличению потерь в коротких изоляционных распорках. На практике целесообразно в диапазонах 80 и 40 м брать расстояние между проводниками, равное 15-20 см, а в диапазонах 20, 15 и 10 метров - 10 см. Для всеволновой антенны следует выбирать расстояние между проводниками 10-15 см.

В настроенных линиях передачи возникают стоячие волны. В пучностях тока увеличиваются омические потери, а высокое напряжение делает необходимым применение хороших изоляторов. Поэтому для изготовления настроенных линий передачи применяют толстый провод и хорошие изоляционные распорки. При малой мощности передатчика можно применять ленточные кабели, но при этом следует принимать во внимание их коэффициент укорочения (около 0,8). Потери у ленточных кабелей немного выше, чем у линий передачи с воздушной изоляцией.

Для согласования выходных каскадов передатчика с настроенной линией передачи на входе этой линии целесообразно предусмотреть включение подстроечного элемента в виде конденсатора переменной емкости.

Ненастроенные линии передачи называют линиями, согласованными по волновому сопротивлению. Такие фидерные линии передачи имеют волновое сопротивление, которое равно волновому сопротивлению антенны. Как правило, волновое сопротивление линии представляет собой омическое сопротивление и не зависит от частоты и длины линии. Если входное сопротивление антенны точно равняется волновому сопротивлению линии, которая в свою очередь согласована с выходом передатчика, то энергия высокой частоты без потерь на излучение поступает в антенну по линии питания любой длины. Согласованная линия передачи работает в режиме бегущей волны, что отличается от «стоячей» волны сохранением по всей длине линии постоянных значений тока и напряжения.

Таким образом, в линии отсутствуют узлы и пучности тока и напряжения, которые имеют место в режиме стоячей волны. Линия передачи в режиме бегущей волны (ненастроенная линия питания) имеет меньшие потери, чем линия, которая работает в режиме «стоячей» волны (настроенная линия питания). Этот факт объясняется тем, что в режиме стоячей волны в пучностях тока увеличиваются омические потери, а в пучностях напряжения — диэлектрические потери. В линии с бегущей волной, эти потери вследствие отсутствия пучностей тока и напряжения значительно ниже.

Потери в согласованной линии передачи в основном обусловлены продольным сопротивлением линии и потерями в применяемом изолирующем материале. Точное согласование входного сопротивления антенны с волновым сопротивлением линии передачи имеет

решающее значение для передачи высокочастотной энергии по линии питания без потерь. При отсутствии согласования в линии возникают отраженные волны, которые взаимодействуют с падающими, создают более или менее сильно выраженные стоячие волны.

Появление стоячих волн приводит к увеличению потерь в линии на излучение. Неважно согласованная линия, таким образом, уже не подводит всей высокочастотной энергии передатчика к антенне и уменьшает КПД выходной ступени передатчика.

В качестве меры согласования между ненастроенной линией питания и нагрузкой принимается коэффициент стоячей волны (КСВ). Под этим коэффициентом понимают отношение самого большого значения напряжения (тока) к его наименьшему значению. Это означает, что в случае бегущей волны, КСВ равняется единице. То есть ток и напряжение имеют одинаковое значение по всей длине линии. В радиолюбительской практике значения КСВ не должно превышать значения величины равной двум.

Литература к Главе 2:

1.Марценюк В.П., Антенны для начинающих радиолюбителей, газета «Радиоинформ» №№14,15, 16, 17 за 2015 год.

Предварительные заявки на книгу принимаются за телефонами 096-890-50-29 КС, 050-677-34-27 ВД или по емейл =radioinform@ua.fm=