

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ АНТЕННЫ

В ч. 1 были описаны конструкции традиционных антенн, таких как диполи, вертикальные и бегущей волны для установки в условиях города, комнате или на балконе. Существует ряд специальных укороченных антенн, спиральные и магнитные рамочные антенны, для установки которых требуется относительно небольшое пространство.

ГЛАВА 6

УКОРОЧЕННЫЕ СПИРАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ

Укороченные спиральные антенны давно используются радиолюбителями, например, уже более 30 лет в переносных Си-Би-радиостанциях. Некоторые производители антенн выпускают укороченные спиральные антенны для работы в диапазоне коротких волн. Однако, сведений о работе и построении спиральных антенн в литературе встречается крайне мало. Объясняется это на мой взгляд тем, что в доступных радиолюбителям программах моделирования антенн есть ограничения, которые не позволяют рассчитать укороченную спиральную антенну, кроме того, такие антенны трудно воспроизводить в радиолюбительских условиях, что не способствует распространению информации по их изготовлению.

В этой главе даны основы теории спиральных антенн, что поможет радиолюбителям самостоятельно с ними экспериментировать. Мне, к сожалению, пока не удалось найти ни одной специализированной программы, предназначенной для расчета укороченной спиральной антенны (на начало 2004 г). Современные доступные радиолюбителям программы моделирования антенн не позволяют рассчитывать их параметры в диапазоне коротких волн. Специальная литература по антеннам тоже предпочитает обходить их стороной. Некоторые сведения об практических конструкциях укороченных спиральных антеннах удалось найти в популярной литературе. Из моих практических экспериментов удалось понять некоторые закономерности в работе спиральных антенн, получить повторяемые результаты при конструировании. На этой основе даны рекомендации по их построению и использованию.

6.1. Коэффициент укорочения антенны

Практически любая радиолюбительская антенна является укороченной. Укорочение происходит вследствие того, что скорость распространения электромагнитной волны в свободном пространстве по некоторым причинам отличается от скорости распространения электромагнитной волны вдоль проводника антенны. Рассмотрим полуволновую резонансную дипольную антенну, длина провода которой выбирается на половину длины волны (рис. 6.1). Длина антенны будет меньше длины волны в свободном пространстве. Отношение физической длины диполя на длину волны в свободном пространстве называют *коэффициентом укорочения* антенны K_y . Обычно он равен 0,9...0,95.

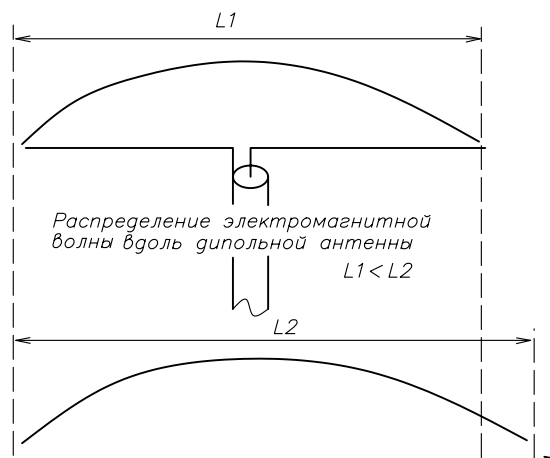


Рис. 6.1. Распределение электромагнитной волны вдоль диполя и в свободном пространстве

Коэффициент укорочения для укороченных антенн K равен отношению длины волны в свободном пространстве к длине антенны, имеющей резонанс на этой длине волны, т. е. величине, обратной K_y . Такое определение более наглядно. Если коэффициент укорочения дипольной антенны диапазона 40 м $K = 2$, то понятно, что физическая длина этой антенны составляет 10 м.

Для дипольных антенн диапазона коротких волн 40...20 м, выполненных из провода толщиной 1 мм, $K_y \approx 0,95$, следовательно, коэффициент укорочения $K \approx 1,05$. Для проволочных антенн можно немного увеличить значение коэффициента укорочения K , используя толстый провод в пластиковой изоляции. Однако получить $K > 1,12$ для проволочных антенн будет весьма проблематично.

Определившись с тем, что в этой главе мы будем понимать под определением «коэффициент укорочения антенны «К», перейдем к дальнейшему рассмотрению укороченных антенн.

В ч. 1 рассматривались способы повышения коэффициента укорочения антенны. Укоротить физические размеры дипольной антенны можно включив в ее полотно катушку индуктивности, установить на концах антенны емкостные нагрузки или выполнить полотно антенны свернутым в виде буквы П, Г или М. Антенна с достаточно малыми физическими размерами может иметь резонанс на волне, длина которой существенно превышает размеры укороченной антенны.

В антеннах, укороченных при помощи катушки индуктивности, нетрудно добиться значений $K > 5$ (например, дипольная укороченная антенна для диапазона 20 м с $K = 5$, будет иметь физическую длину равную 2 м).

В антеннах, укороченных при помощи емкостных нагрузок или сворачивание полотна в виде буквы П, Г или М, нетрудно добиться значений $K > 2$. Все эти антенны рассчитываются при помощи программ предназначенных для моделирования антенн, например MMANA.

Недостатками этих типов укороченных антенн является то, что в реальных условиях они нуждаются в индивидуальной настройке, имеют небольшой КПД, относительно низкое входное сопротивление и узкую полосу пропускания. Существенно улучшить эти параметры описанными выше способами, к сожалению, невозможно.

Однако существует еще один тип укороченной антенны, которая обладает достаточно высокими параметрами, по сравнению с описанными. Это укороченная спиральная антенна.

6.2. Полноразмерные спиральные антенны осевого излучения

Следует отметить, что полноразмерные антенны осевого излучения более используются в технике по сравнению с укороченными. На рис. 6.2 показана антенна осевого излучения, в которой спираль расположена над проводящим экраном. Диаметр экрана и длина витка спирали примерно равны длине волны антенны в свободном пространстве, а длина спирали антенны составляет от половины до нескольких длин волн, на которых работает антенна. Количество витков спирали, составляющей антенну, обычно больше трех и меньше пятнадцати. Полноразмерная спиральная антенна излучает вдоль оси волну с круговой поляризацией. В отличие от укороченной полноразмерная спиральная антенна является широкополосной с большим коэффициентом усиления. Полноразмерные спиральные антенны впервые появились в 1930 г. [1]. В [2, 3] описаны свойства и параметры, на основе формул, приведенных в этих работах, в настоящее время производится их расчет.

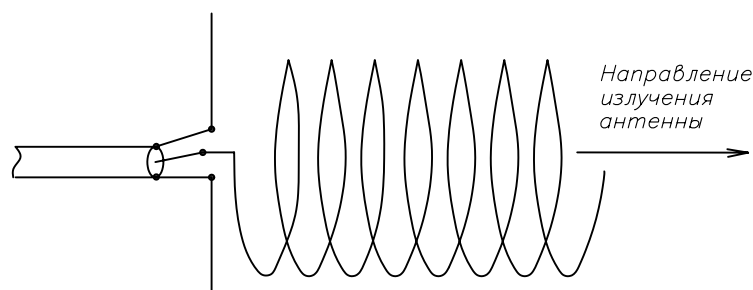


Рис. 6.2. Спиральная антенна осевого излучения

Полноразмерные спиральные антенны применяются, главным образом, для работы на диапазонах УКВ и, иногда, на верхних диапазонах коротких волн. Здесь полноразмерные спиральные антенны рассмотрены не будут. В любом справочнике по антеннам можно найти для их расчета формулы, а в интернете несколько интересных (и совершенно бесплатных!) специализированных программ на основе формул, приведенных в [2] и [3] с некоторыми поправочными коэффициентами. Многие современные программы моделирования антенн, в которых используется так называемый Numerical Electromagnetic Code (NEC-1, NEC-2, NEC-3, NEC-4, MININEC), позволяют рассчитывать параметры полноразмерных спиральных антенн, однако, будьте очень внимательны при закладке модели антенны, обратите внимание на ограничения для программной оболочки и «ядра» программы.

6.3. Укороченные спиральные антенны

Идея создания укороченной спиральной антенны заключается в следующем. Провод, образующий полотно антенны, скручивается его в спираль, как показано на рис. 6.3.

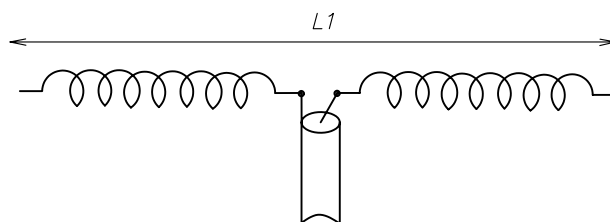


Рис. 6.3. Дипольная укороченная спиральная антенна

В результате с некоторым упрощением физических процессов, происходящих в спиральном проводнике укороченной антенны, можно принять, что вдоль спирали электромагнитная энергия распространяется комбинированным путем, одна часть — непосредственно по проводнику спирали, а другая — между витков спирали. Длина спирали L много меньше длины провода (вдоль которого распространяется электромагнитная энергия), составляющей спираль. Следовательно, вдоль спиральной антенны скорость распространения электромагнитной волны значительно меньше чем в пространстве линейного проводника и, конечно, меньше в свободном пространстве, т. е. в спиральной антенне длина волны много меньше, чем в свободном пространстве. Следовательно, используя спираль в конструкции полотна антенны, можно создать антенну с большим коэффициентом укорочения K .

Антенна Н. Тесла

Идея спиральной антенны не новая и относится к самому началу развития антенной техники. Первыми, достоверно описанными спиральными антеннами, являются антенны для так называемого «усилительного передатчика» Н. Тесла, который был запатентован в 1900 г. (патент США № 787 412). Описание некоторых конструкций Тесла можно найти в [4, 5].

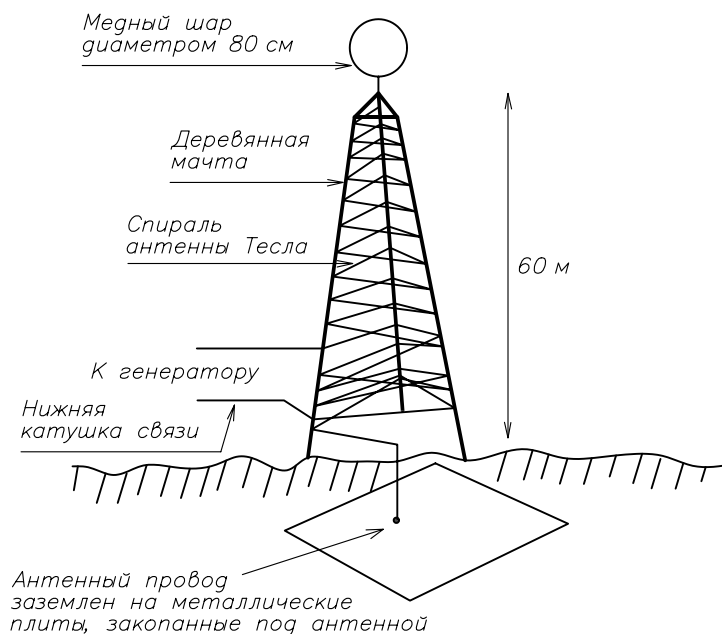


Рис. 6.4. Спиральная антенна Тесла

Одна из конструкций укороченной вертикальной спиральной антенны, используемой для «усилительного передатчика» в лаборатории Н. Тесла на Лонг Айленде (Long Island) вблизи Нью-Йорка представляла собой гигантскую спираль диаметром примерно 3 м, высота антенны, а следовательно, и длина спирали была равна 60 м. Нижний конец спирали был заземлен на чугунные плиты, закопанные под антенной, а верхний присоединен к медному шару диаметром 80 см. С генератором эта спиральная антенна соединялась посредством катушки связи, расположенной у основания антенны (рис. 6.4). Количества витков спирали и катушки возбуждения антенны достоверно неизвестны. Предполагается, что частота настройки этой антенны составляла 150 кГц, длина волны в свободном пространстве равна 2000 м. Следовательно, коэффициент укорочения этой антенны составил 8,33. Для расчета коэффициента укорочения делим $2000/4$, т. е. находим длину четвертьволнового штыря, которая равна в данном случае 500 м, а затем делим эту длину на 60, т. е. на реальную высоту антенны.

Правда, сам Н. Тесла свою спиральную антенну никогда не называл спиральной, и считал ее частью своего усилительного передатчика, предназначенного для передачи электрической энергии по поверхности Земли, а не для ее излучения в эфир.

Антенны вещательных радиостанций

В начале XX в. спиральные антенны применялись в вещательных длинноволновых и средневолновых радиостанциях. В некоторых старых радиотехнических справочниках встречаются довольно подробные рисунки таких антенн. На рис. 6.5 показана конструкция спиральной антенны одной из вещательных радиостанций 30-х годов XX в. из одного из таких справочников. Деревянными мачтами был образован треугольный каркас, на который намотана спираль провода антенны. Высота деревянной мачты спиральной антенны составляла приблизительно 30 м. На конце спирали антенны установлена емкостная нагрузка из 3–5 проводников, растянутых под небольшим углом к антенне.

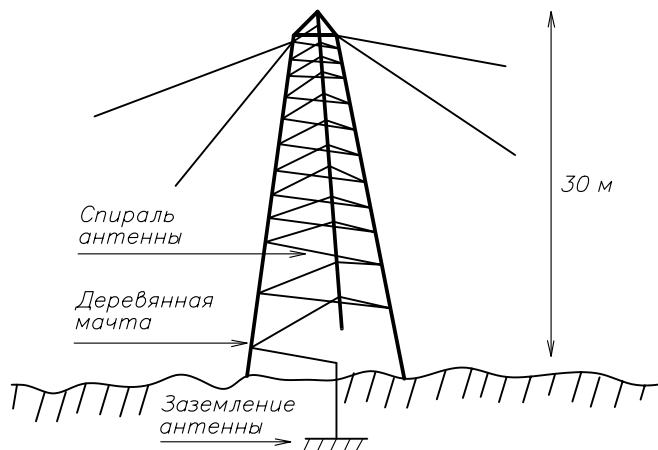


Рис. 6.5. Конструкция спиральной антенны одной из вещательных радиостанций 30 годов XX в

Данных по точной частоте, на которой работала эта антенна, и других ее технических параметров приведено не было. Однако, если принять во внимание, что в то

время вещательные радиостанции работали на длинах волн 2000...1000 м, то можно предположить, что эта спиральная антенна предназначалась для работы на этих длинах волн. Коэффициент укорочения такой спиральной антенны будет находиться в пределах от 16,6 (для волн 2000 м) до 8,33 (для волн 1000 м).

Мне не встречались конструкции спиральных антенн вещательных или служебных средневолновых и длинноволновых радиостанций, выполненных после 30-х годов XX в. Очевидно, это связано с тем, что спиральные антенны являются непростыми в расчете и настройке и капризными в работе, о чем будет сказано ниже. Вследствие этого от их использования на средних и длинных волнах конструкторы впоследствии отказались.

Антенны Си-Би-радиостанций

Укороченные спиральные антенны используются только в переносных Си-Би-радиостанциях. Антенна выполнена путем навивки отрезка провода на диэлектрический каркас. Вид типичной Си-Би-радиостанции с укороченной спиральной антенной показан на рис. 6.6. Длина стандартной антенны с электрической длиной равной $\lambda/4$ находится в пределах 15...50 см, следовательно, коэффициент укорочения равен 5,4...18.

Выше было показано, что коэффициент укорочения средневолновых антенн старых вещательных радиостанций и спиральной антенны Н. Тесла тоже находится примерно в этих границах. Итак, можно сказать, что укороченные спиральные антенны используются для работы в эфире на протяжении более ста лет.

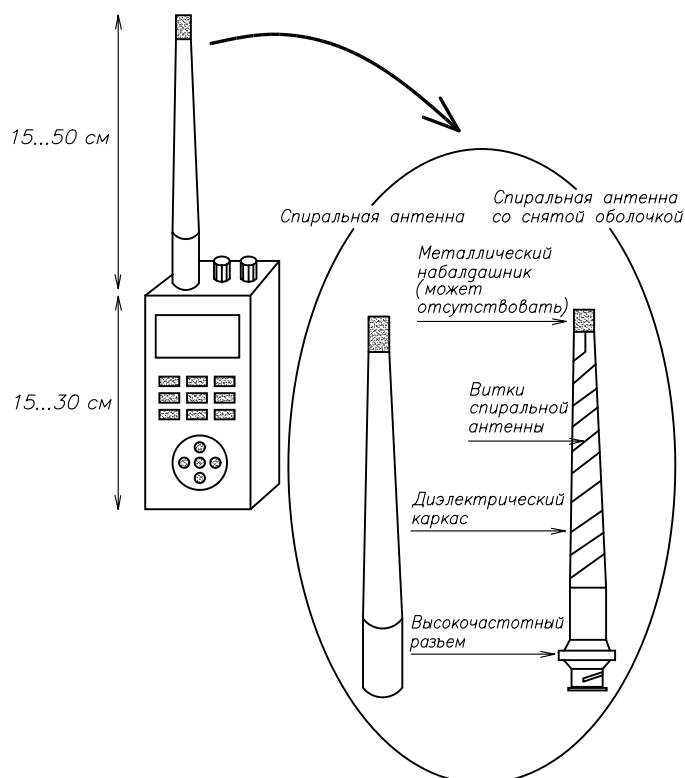


Рис. 6.6. Переносная Си-Би-радиостанция и ее спиральная антенна

6.4. Практическое моделирование спиральных укороченных антенн

Для того чтобы понять, как работает укороченная спиральная антенна, необходимо ее изготовить и измерить параметры.

Изготовить спиральную антенну очень просто. А вот измерения необходимо производить дорогостоящими приборами на специальных антенных полигонах. В противном случае, результаты нельзя будет назвать достоверными. Для того, чтобы сделанные выводы можно было бы применить ко всем типам этих антенн, необходимо изготовить и обмерить сотни различных конструкций, что одному человеку сделать не просто.

Мной был проведен ряд экспериментов с ограниченным количеством укороченных спиральных антенн (было обмерено более 30 конструкций, как модельных, так и коммерческих). Измерения параметров антенн, сделанные мной, были не очень точными, но *достаточными*, чтобы использовать их в радиолюбительской практике. В результате были получены ответы на некоторые конкретные вопросы, касающиеся практического построения укороченных спиральных антенн.

Перед тем, как приступить к описанию результатов моих экспериментов, хочу отметить, что очень интересная статья, посвященная укороченным спиральным антеннам, была опубликована в [6]. В ней приведены некоторые сведения о спиральных укороченных антеннах, полученные К. Харченко практическим путем. Перед началом ваших экспериментов со спиральными антеннами рекомендую ее прочитать.

6.5. Конструкции экспериментальных укороченных спиральных антенн

Для проведения экспериментов мной был изготовлен ряд укороченных спиральных антенн, предназначенных для работы в диапазоне коротких волн. Эксперименты проводились с симметричными спиральными дипольными антеннами и с несимметричными спиральными антеннами.

В качестве каркаса были использованы пластиковые водопроводные трубы, пластиковая лыжная палка диаметром 16 мм, капроновый трос диаметром 10 мм. Некоторые спиральные антенны были выполнены на каркасах из пустых пластиковых бутылок емкостью 0,6, 1,0, 1,5 и 2 л, соединенных последовательно друг с другом. Для намотки спирали применялся медный провод различного диаметра, от 0,3 до 3 мм. Провод диаметром до 1,5 мм в эмалевой изоляции, более 1,5 мм — в пластиковой. Спирали антенн были намотаны равномерно по каркасу. В любой из конструкций моих спиральных антенн межвитковое расстояние было не менее диаметра провода. Использовались также антенны из прорезиненного шланга от пылесоса, внутри которого проходила металлическая спираль.

Симметричные спиральные дипольные антенны были размещены горизонтально над бетонной крышей девятиэтажного дома на высоте не более 3,5 м, несимметричные вертикальные спиральные антенны — над металлическими перилами балкона, а также растянуты в вертикальном положении на крыше дома. В качестве «земли» вертикальной антенны были использованы металлические перила балкона и система из нескольких проволочных противовесов.

6.6. Параметры укороченных спиральных антенн

Измерение входного сопротивления при помощи высокочастотного моста

Схема, иллюстрирующая методику измерения входного сопротивления, показана на рис. 6.7. Высокочастотный мост подключен к антенне короткими толстыми проводниками длиной не более 10 см, высокочастотный генератор к измерительному мосту через короткий отрезок коаксиального кабеля длиной 30 см, на внешнюю оболочку которого были надеты ферритовые кольца. Высокочастотный генератор питался от внутренних аккумуляторов.

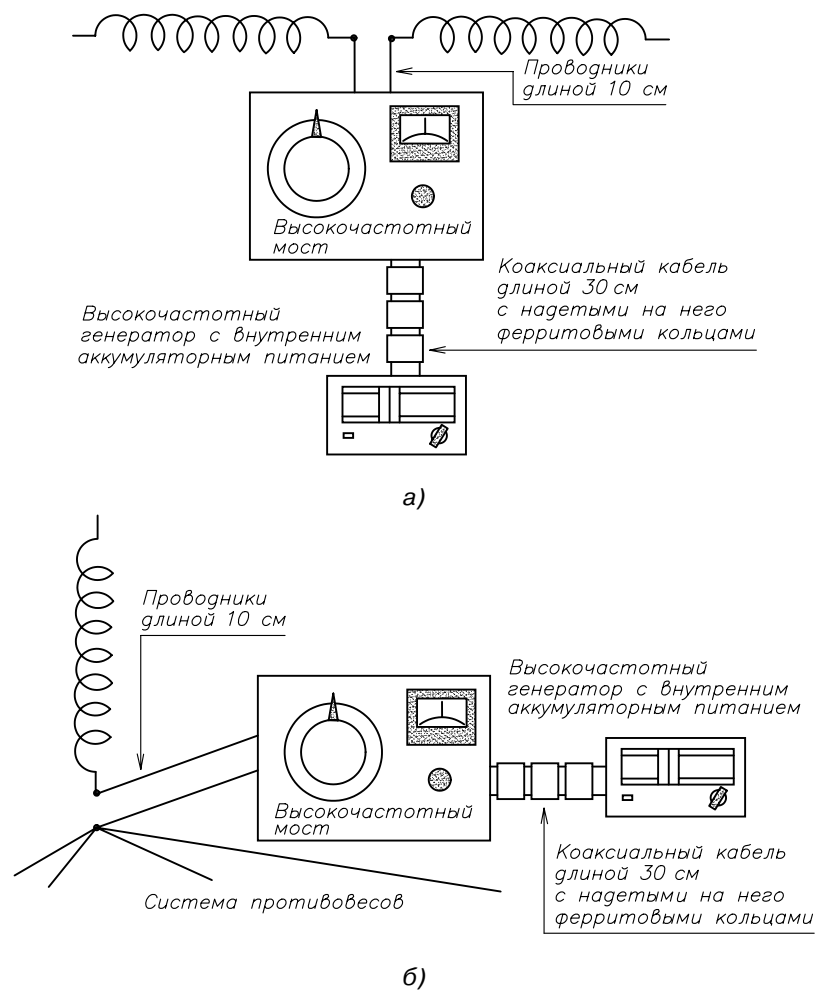


Рис. 6.7. Измерение входного сопротивления спиральной антенны при помощи высокочастотного моста:

а — симметричная дипольная антенна; б — несимметричная вертикальная антенна

Измерение резонансной частоты спиральных антенн при помощи ГИР

Схема, иллюстрирующая методику измерения резонансной частоты антенны при помощи ГИР, показана на рис. 6.8. Использовался ГИР с батарейным питанием. Антенна связана с контуром ГИР при помощи 1–3 витков многожильного провода. Количество витков определялось экспериментально в каждом конкретном случае измерения резонансной частоты антенны. Расстояние между катушкой связи антенны и контуром ГИР выбиралось минимально возможным. В общем случае получено удовлетворительное совпадение резонансных частот спиральных антенн, определенных как при помощи высокочастотного моста, при условии чисто активного входного сопротивления антенны, так и при помощи ГИР, при ее максимальной высокочастотной энергии.

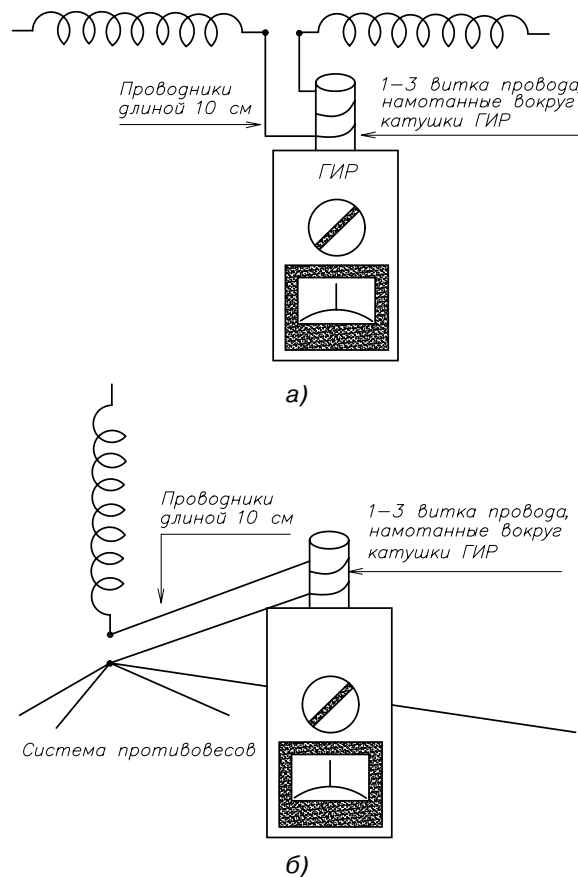


Рис. 6.8. Измерения резонансной частоты спиральной антенны при помощи ГИР:

а — симметричная дипольная антенна; б — несимметричная вертикальная антенна

Для измерения входного сопротивления и частоты резонанса антенны использовались самодельные приборы, описанные в [7]. Там же описана методика пользования этими приборами.

Резонансная частота укороченной спиральной антенны

Опыты, проведенные мной со спиральными антеннами, позволили вывести простое правило, руководствуясь которым можно получить антенну, работающую на необходимой резонансной частоте при заданном коэффициенте укорочения с равномерной намоткой с точностью, равной примерно 10%. Это правило применяется как к дипольным, так и вертикальным укороченным спиральным антеннам.

Укороченная спиральная антенна диапазона коротких волн с коэффициентом укорочения $10 > K_y > 2$, имеет первый резонанс на длине волны вдвое меньшей, чем длина провода, использованного для намотки ее вибраторов, если диаметр витка спирали антенны составляет не менее 1 см и не превышает 10 см.

Подтверждает это правило и конструкция многих известных спиральных антенн Си-Би-радиостанций. Если измерить длину провода этой антенны, она будет равна примерно 5 м, а точная удвоенная длина четвертьволновой штыревой Си-Би-антенны равна 5,4 м.

Входное сопротивление укороченной спиральной антенны

После ряда экспериментов со спиральными антеннами был построен график входного сопротивления дипольной и вертикальной спиральной антенн в зависимости от коэффициента укорочения (рис. 6.9) в диапазоне 7...28 МГц. Антенны были выполнены на диэлектрическом каркасе диаметром от 10 мм до 10 см, намотка спирали была равномерной, использовался провод диаметром более 0,5 мм.

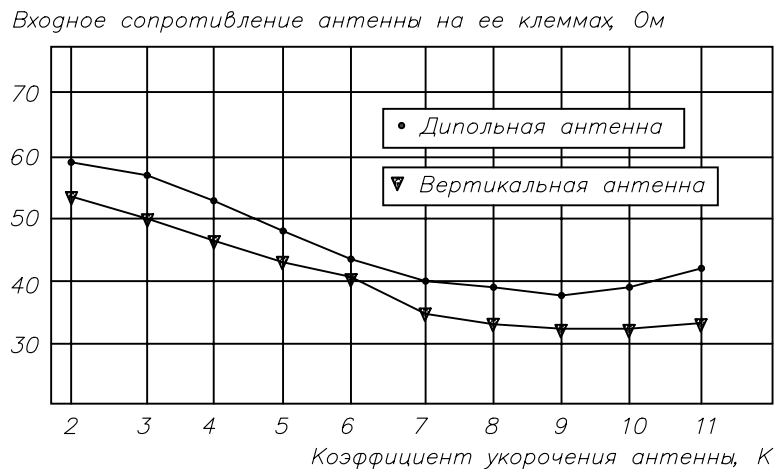


Рис. 6.9. Входное сопротивление спиральной антенны

Как показали опыты, для укороченных спиральных антенн, имеющих $K = 2...10$, изменение диаметра их каркаса в пределах 1...10 см не влияет в значительной степени на входное сопротивление. Однако для сильно укороченных спиральных антенн с $K > 10$ полученные мной результаты показали, что входное сопротивление в значительной мере зависит от диаметра их диэлектрического каркаса и от частоты, на которой спиральная антенна имеет резонанс, поэтому для них такого простого графика, как на рис. 6.9 получить не удалось.

Как видно из этого графика, для питания дипольных и вертикальных спиральных антенн с $K > 3$ подходит коаксиальный кабель волновым сопротивлением 50 Ом, электрической длиной кратной половине длины волны работы антенны.

В некоторых случаях вертикальные антенны первоначально имели входное сопротивление значительно большее, чем на рис. 6.9, но настройка «земли» антенны в резонанс позволяла его понизить. Подключение коаксиального кабеля к вертикальной антенне обычно незначительно изменяет ее входное сопротивление на конце подключения кабеля к трансиверу, в этом случае изменение входного сопротивления происходит в сторону уменьшения. Дипольная спиральная антенна по сравнению с вертикальной обычно имеет входное сопротивление более приближенное к показанному на графике. Однако, подключение коаксиального кабеля к дипольной спиральной антенне может привести к тому, что сопротивление антенны будет значительно отличаться от указанного на графике, причем, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Ферритовые кольца в количестве не менее 10 шт., установленные на концах коаксиального кабеля, уменьшают его влияние на входное сопротивление, но не устраняют полностью. Если коэффициент удлинения спиральной антенны превышает 5, на конце коаксиального кабеля, питающего антенну, целесообразно устанавливать высокочастотный дроссель не из ферритовых колец, а в виде 5–20 витков коаксиального кабеля диаметром 10...20 см.

Изменение диаметра спирали и диаметра провода, используемого для намотки реальной укороченной антенны, не оказывает значительного влияния на входное сопротивление антенны. На мой взгляд, это происходит потому, что при увеличении диаметра спирали антенна излучает более эффективно, следовательно, возрастает сопротивление излучения антенны, и возрастает ее входное сопротивление. При уменьшении диаметра спирали, эффективность излучения антенной электромагнитных волн уменьшается, поэтому падает сопротивление излучения, но возрастают диэлектрические потери в каркасе спирали. Рост диэлектрических потерь приводит к росту входного сопротивления спиральной антенны.

Очевидно, что для увеличения эффективности работы спиральной антенны необходимо использовать для изготовления ее спирали провод как можно большего диаметра и диаметр витков спирали должен быть максимально возможным для практического выполнения антенны. Каркас, на котором выполнена спираль антенны, должен иметь малые диэлектрические потери. В конструкции спиральной антенны желательно использовать равномерную намотку спирали.

Добротность спиральной антенны

Важным параметром спиральной антенны является ее добротность. Знание добротности позволит судить о полосе пропускания, а также сделать выводы о месте размещения укороченной спиральной антенны. Чем выше добротность, тем уже ее полоса пропускания и тем большее по интенсивности реактивное поле создает антенна во время передачи. Любой предмет в этом реактивном поле, начинает поглощать его энергию. Создается интересная ситуация. Спиральная антенна, имеющая большой коэффициент укорочения и высокую добротность, требует для размещения больше места, чем спиральная антенна, обладающая малым коэффициентом укорочения и низкой добротностью. В противном случае, высокодобротная антенна начинает просто обогреть окружающие ее предметы.

Это легко проверяется следующим образом. Если подключить к передатчику мощностью выше 50 Вт спиральную антенну с коэффициентом укорочения более 10 (через коаксиальный кабель, на конце которого надеты ферритовые кольца) и по-

пробовать через несколько минут эти кольца на ощупь, они будут теплыми. Но нагревает их реактивное поле антенны, а не поверхностная волна, которая стремится уйти с антенны по оплетке коаксиального кабеля. В этом легко убедиться, разместив эти ферритовые кольца просто рядом с коаксиальным кабелем. Они все равно будут теплыми! Поэтому при конструировании укороченных спиральных антенн необходимо строго придерживаться следующего правила: если коэффициент удлинения спиральной антенны $K > 5$, на конце коаксиального кабеля целесообразно устанавливать высокочастотный дроссель не из ферритовых колец, а в виде 5–20 витков кабеля диаметром 10...20 см.

Мной были проведены измерения добротности спиральных антенн диапазона 7...28 МГц, выполненных на диэлектрическом каркасе диаметром 1...10 см. Намотка спирали антенн была равномерной. Спиральные антенны, выполненные на каркасе большого диаметра, намотаны проводом диаметром не менее 1 мм, антенны на каркасе 1 см и чуть больше — проводом диаметром не менее 0,5 мм. Добротность определялась по формуле:

$$Q = \frac{f_1}{f_2},$$

где f_1 — частота резонанса антенны; f_2 — полоса пропускания антенны.

В результате измерений построен график добротности укороченных спиральных антенн, имеющих $K_y = 2...10$ (рис. 6.10). Для сильно укороченных спиральных антенн с $K_y > 10$, полученные мной результаты показали, что добротность в значительной мере зависит от диаметра диэлектрического каркаса и частоты, на которой спиральная антенна имеет резонанс. Поэтому для сильно укороченных антенн такого простого графика, который показан на рис. 6.10 получить не удалось.

Входное сопротивление антенны на ее клеммах, Ом

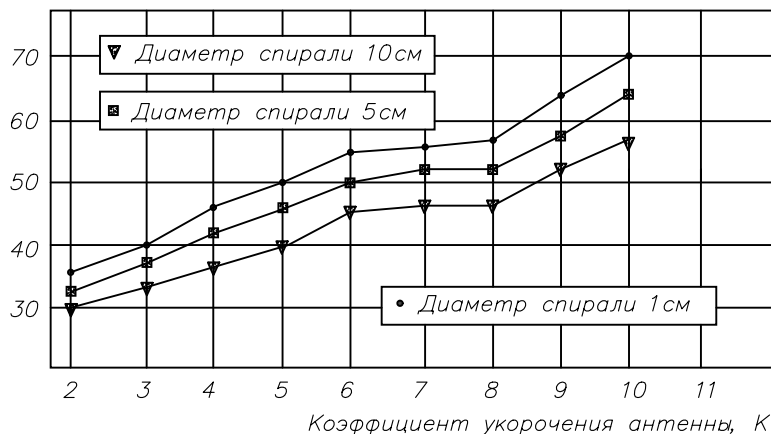


Рис. 6.10. График добротности укороченных спиральных антенн

Семейство этих графиков подходит как для дипольных, так и для несимметричных вертикальных спиральных антенн. Однако, при выполнении несимметричных вертикальных спиральных антенн неожиданностей при определении их добротности будет больше. Это связано с тем, что на добротность антенны в значительной степени влияет состояние «земли» антенны. При размещении вертикальной антенны над хорошо проводящей поверхностью можно ожидать, что ее добротность будет соответствовать указанной на графике рис. 6.10. При размещении вертикаль-

ной антенны над поверхностью имеющей значительные потери на высоких частотах и при использовании при этом совместно с антенной небольшого количества противовесов, экранирующих эту поверхность от реактивного поля антенны, добротность антенны будет ниже указанной на этом графике.

Из графиков, показанных на рис. 6.9, 6.10, можно сделать вывод, что наиболее рационально использовать спиральную антенну с $5 < K_y < 8$. Антенна, имеющая меньшее значение K_y громоздка в выполнении, а антенна с большим K_y имеет высокую добротность, и, следовательно, узкую полосу пропускания. Кроме того, вокруг этой антенны во время работы на передачу будет существовать значительное реактивное поле. Как отмечалось выше, это приводит к тому, что для установки антенны с высокой добротностью требуется значительное свободное пространство, а для вертикальной спиральной антенны, кроме того, необходимо будет использовать металлизацию «земли». В противном случае эффективность работы спиральных антенн с большим коэффициентом укорочения значительно снизится.

6.7. Укороченные спиральные антенны с емкостной нагрузкой

Во многих описаниях спиральных радиолюбительских антенн указано, что длина проводника, составляющего спираль антенны, равна четверти длины волны [8]. Однако это относится к вертикальным спиральным антеннам с емкостной нагрузкой, которая позволяет понизить ее резонансную частоту относительно ненагруженной спиральной антенны практически вдвое. На рис. 6.11 показана укороченная спиральная антенна с емкостной нагрузкой. Обратите внимание, что антенна вещательной средневолновой радиостанции (см. рис. 6.5), тоже является укороченной спиральной антенной с емкостной нагрузкой.

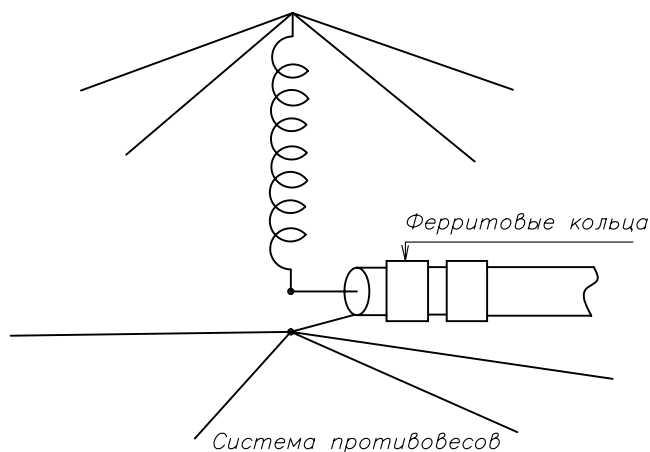


Рис. 6.11. Спиральная вертикальная антенна с емкостной нагрузкой

К сожалению мне не удалось построить для таких антенн графики для определения параметров, которые в значительной мере зависят от качества заземления и от формы «зонтика» емкостной нагрузки. Все же, некоторые практические рекомендации по выполнению этого типа антенн даны ниже.

- Длина спирали антенны может быть равна четверти длины волны работы антенны. В резонанс она настраивается при помощи проводников емкостной нагрузки. Частота работы зависит от количества проводников емкостной нагрузки, их длины и местоположения относительно антенны.
- Входное сопротивление спиральной антенны с емкостной нагрузкой, как правило, примерно 1,5...2 раза ниже входного сопротивления полноразмерной спиральной антенны, имеющей спираль такой же высоты. Это приводит к тому, что для согласования входного сопротивления этой антенны с коаксиальным кабелем приходится использовать согласующее устройство.
- Добротность примерно в 1,5...2 раза меньше добротности полноразмерной спиральной антенны, имеющей спираль такой же высоты. Следовательно, полоса пропускания спиральной антенны с емкостной нагрузкой больше полосы пропускания полноразмерной спиральной антенны имеющей спираль такой же высоты. Менее критична спиральная антенна с емкостной нагрузкой к окружающим ее посторонним предметам.
- Оптимальный коэффициент укорочения $K_y = 2...5$. При большем значении могут возникнуть проблемы с ее настройкой в резонанс.
- Если для настройки в резонанс используется несколько проводников емкостной нагрузки (более трех), то их оптимальная длина составляет примерно половину длины спирали антенны, и они могут располагаться под углом от 90 до 45° к ней.
- В некоторых случаях для настройки можно использовать один или два проводника емкостной нагрузки длиной значительно превышающей длину спирали антенны. В том случае, если для настройки используется два длинных проводника, они должны располагаться в противоположных направлениях.

При построении таких антенн следует помнить, что они более капризны в работе и настройке по сравнению с полноразмерными спиральными антеннами, и, конечно, необходимо устанавливать высокочастотные дроссели на концах коаксиального кабеля, питающего антенну.

6.8. Работа спиральных антенн на частотах гармоник

При измерении резонансных частот укороченных спиральных антенн оказалось, что так же как и их линейные аналоги, они имеют резонансы на высоких гармониках. Мной было обнаружено, что большинство антенн имеют четко выраженную вторую и третью гармонику, в некоторых экземплярах антенн был обнаружен резонанс даже на четвертой гармонике. Для спиральных укороченных антенн с емкостной нагрузкой резонансные частоты гармоник трудно предсказуемы, поэтому их работа на резонансных частотах рассматриваться не будет.

Если в линейных антеннах частоты гармоник кратны основной резонансной частоте, то в спиральной укороченной антенне этого нет. Рассмотрим, как распределяются гармоники в спиральной антенне. Эти простые правила были выведены мной в ходе экспериментов со спиральными укороченными антеннами.

Как правило, вторая гармоника антенны обнаруживается на частоте несколько более высокой, чем удвоенная частота первого резонанса. Например, если антенна имеет основной резонанс на частоте 7 МГц, то второй резонанс может обнаружиться на частоте равной примерно 14,50 МГц.

Наибольшее отличие частоты второго резонанса от удвоенного значения основной резонансной частоты антенны, а третьего от суммы частот основного и второго резонанса наблюдается в следующих конструкциях укороченных спиральных антенн:

- с большим коэффициентом укорочения;
- с плотной намоткой спирали;
- из тонкого провода, диаметром менее 0,3 мм;
- намотанных на цельном диэлектрическом каркасе;
- с малым (до 16 мм) диаметром спирали.

В этих же типах могут не обнаружиться третий и четвертый резонансы.

Если спиральная антенна намотана толстым проводом (диаметром более 1 мм) на полом диэлектрическом каркасе большого диаметра (например, сделанном из пустых пластиковых бутылок) и имеет небольшой коэффициент укорочения (например, равный 2...3), то частота второго резонанса антенны будет иметь минимальное отклонение от удвоенной частоты первого. Например, если антенна имеет первый резонанс на частоте 7 МГц, то второй может быть на частоте 14,150 МГц, а третий на частоте несколько более высокой, чем сумма частот первого и второго резонанса, т. е. на частоте 23 МГц.

Для частоты четвертой гармоники антенны достаточно определенных правил, как для второй и третьей, найти не удалось. Можно сформулировать только следующее: *частота четвертой гармоники может быть или немного ниже, или значительно выше, чем учетверенное значение частоты основного резонанса антенны.* Например, если антенна имеет основной резонанс на частоте 7 МГц, то четвертый может быть на частоте 27 МГц, т. е. немного ниже частоты 28 МГц, или на частотах выше 32 МГц.

Входное сопротивление на частотах второй и третьей гармоники антенны, как правило, немного выше входного сопротивления на основной частоте резонанса, а на частоте четвертой может отличаться от него в любую из сторон. Например, если укороченная спиральная антенна имеет входное сопротивление 40 Ом на частоте основного резонанса 7 МГц, то с уверенностью можно сказать, что на частоте второго (14,5 МГц) и третьего (23 МГц) оно будет равно примерно 50 Ом. Однако, если эта антенна имеет четвертый резонанс, то ее входное сопротивление может быть как выше, так и ниже 40 Ом. Только путем измерения можно определить его значение.

Добротность антенны на частотах второй и третьей гармоники антенны, как правило, немного выше добротности на основной частоте, а на частоте четвертой гармоники, как правило, не превышает ее. Например, если укороченная спиральная антенна на частоте основного резонанса 7 МГц имеет добротность 30, то на частоте второго (14,5 МГц) и третьего (23 МГц) резонанса она будет равна примерно 40. Если эта антенна имеет четвертый резонанс, то ее добротность не будет превышать 30.

6.9. Работа спиральных антенн на прием и передачу

Для выявления эффективности работы спиральной антенны было проведено сравнение приема, который обеспечивала спиральная антенна и антенна типа «длинный провод» длиной 41 м. Для этого они поочередно подключались к приемнику без использования согласующих устройств. Для эксперимента использовалось несколько типов приемных устройств: старые военные приемники Р-311, УС-9, вещательный Ишим-001, а также старые военные трансиверы Р-105, Р-108, Р-109 и современный коротковолновый трансивер К-116.

Выяснилось, что укороченная спиральная антенна обеспечивает хороший прием на первой резонансной частоте и на частотах гармоник, если таковые имелись. На этих частотах наблюдались буквально всплески приема радиостанций. Спиральные

антенны с емкостной нагрузкой очень прилично работали на своей основной резонансной частоте, но на частотах гармоник работа была слабой. В полосе частот, лежащей между гармониками укороченной спиральной антенны, прием был слабый. Прием резко ухудшался с ростом частоты работы антенны по сравнению с ее основной резонансной частотой.

Например, если укороченная спиральная антенна имела резонансную частоту 7 МГц, то она обеспечивала хороший прием на ней, а также на частотах второй (14,5 МГц) и третьей (23 МГц) гармониках. Более-менее сносный прием обеспечивался ниже 7 МГц и в диапазоне между частотами 7 и 14,5 МГц. На диапазоне между второй и третьей гармоникой (14,5...23 МГц) прием уже нельзя было назвать удовлетворительным. Выше частоты третьей гармоники 23 МГц прием уже был неудовлетворителен, антенна принимала вместо сигналов радиостанций промышленные и атмосферные помехи и шум. На частоте четвертой гармоники 32 МГц антенна работала на прием крайне слабо.

Были проведены эксперименты по проверке работы на прием спиральной укороченной антенны с согласующим устройством (рис. 6.12). Параметры деталей для согласующего устройства приведены в [7]. На рис. 6.12 показана несимметричная спиральная антенна, однако, опыты были проведены и с несимметричными антеннами. Было выяснено, что использование согласующего устройства не вносит кардинальных изменений в работу антенны. Конечно, прием на диапазоне между частотами резонанса антенны, удалось улучшить, но незначительно, после частоты третьей гармоники 23 МГц использование согласующего устройства не привело к улучшению эффективности работы антенны.

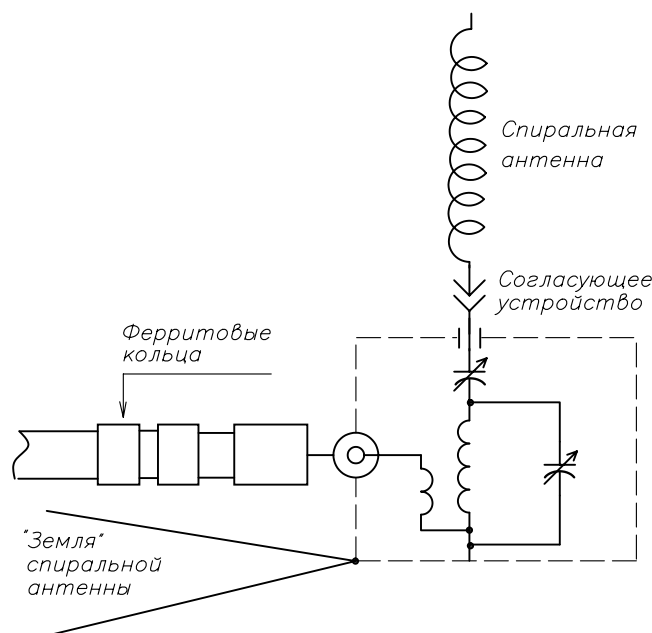


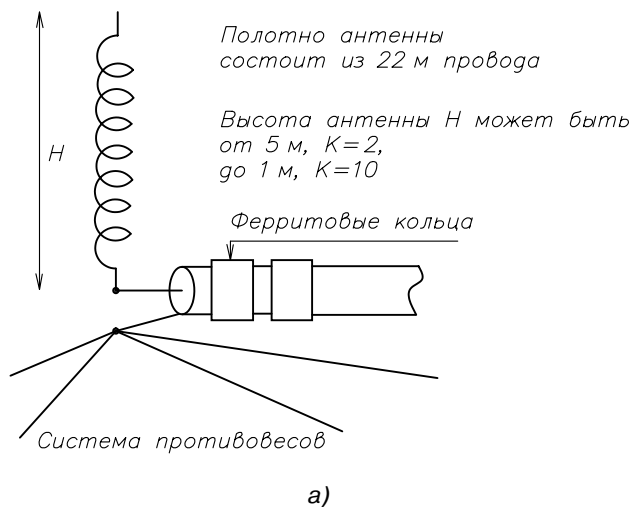
Рис. 6.12. Подключение спиральной антенны к приемнику через согласующее устройство

При проверке работы укороченной спиральной антенны на передачу были получены примерно такие же результаты, как и при работе спиральной антенны на прием. В результате экспериментов были сделаны следующие выводы:

- наиболее эффективно спиральная антенна работает или на своей основной резонансной частоте или на резонансных частотах гармоник, но не выше третьей;
- использование согласующего устройства позволяет работать антенне на частотах ниже резонансной частоты и в диапазонах частот между частотами второй и третьей гармоники антенны;
- работа спиральной антенны на частотах выше третьей гармоники малоэффективна;
- если спиральная антенна не резонирует на частотах высших гармоник, то ее следует использовать только на основной резонансной частоте, на остальных ее работа будет неудовлетворительной;
- спиральная антенна с емкостной нагрузкой наиболее эффективно работает только на основной резонансной частоте или на частотах высших гармоник. На диапазонах между этими частотами работа этого типа спиральной антенны малоэффективна.

Расчет укороченной спиральной антенны диапазона 40 м

Для изготовления несимметричной вертикальной антенны (рис. 6.13,а) необходимо намотать на какой-либо диэлектрический каркас 20 м провода диаметром от 10 мм до 10 см. Дипольная спиральная антенна (рис. 6.13,б) содержит уже две такие половинки.



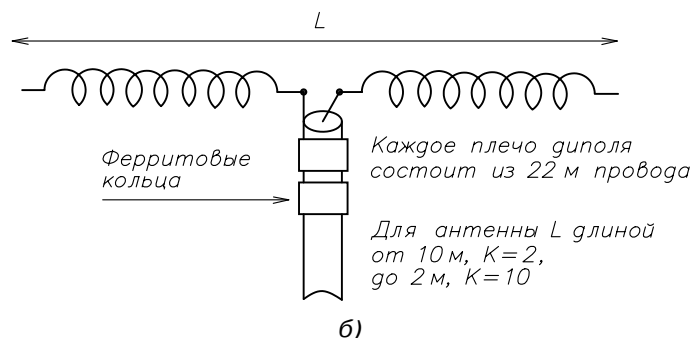


Рис. 6.13. Укороченная спиральная антенна диапазона 40 м:

а — несимметричная вертикальная антенна; б — симметричная дипольная антенна

Длину провода для спирали антенны лучше взять с небольшим запасом, большим на 5...10% расчетной длины, или, в нашем случае длиной равной 21...22 м. Для работы несимметричной вертикальной спиральной антенны используют не менее трех четвертьволновых противовесов. Чтобы влияние коаксиального кабеля на резонансную частоту укороченной спиральной антенны было небольшим, на конце коаксиального кабеля, подключаемого к антенне, обязательно устанавливают 10–20 ферритовых колец. Это касается как симметричных дипольных, так и несимметричных вертикальных спиральных антенн. Если коэффициент удлинения спиральной антенны превышает 5, на конце коаксиального кабеля, питающего антенну, целесообразно устанавливать высокочастотный дроссель не из ферритовых колец, а в виде 5–20 витков коаксиального кабеля, диаметром 10...20 см.

После изготовления антенны переходят к ее настройке на заданную резонансную частоту.

Для измерения ее резонансной частоты спиральной антенны используют высокочастотный мост или ГИР согласно рис. 6.7, 6.8.

Если резонансная частота отличается от заданной более, чем на 15%, то при помощи изменения длины провода спирали антенны производят предварительную подстройку резонансной частоты антенны. Если она ниже заданной, производят отмотку части витков спирали антенны, если выше, увеличивают длину провода спирали. На какую длину необходимо изменить провод покажет эксперимент.

Затем если окажется, что резонансная частота отличается от необходимой не более чем на 5%, производят плавную настройку антенны: если она ниже расчетной, то часть витков перемещают вверх к открытому концу антенны, т. е. создают более плотную намотку; если выше, то часть витков перемещают к точкам питания антенны, т. е. создают там более плотную намотку (рис. 6.14). Плотность витков спирали определяется экспериментально. Для дальнейшей плавной регулировки частоты резонанса может быть понадобится создать повышенную плотность витков спирали в каком то определенном месте антенны.

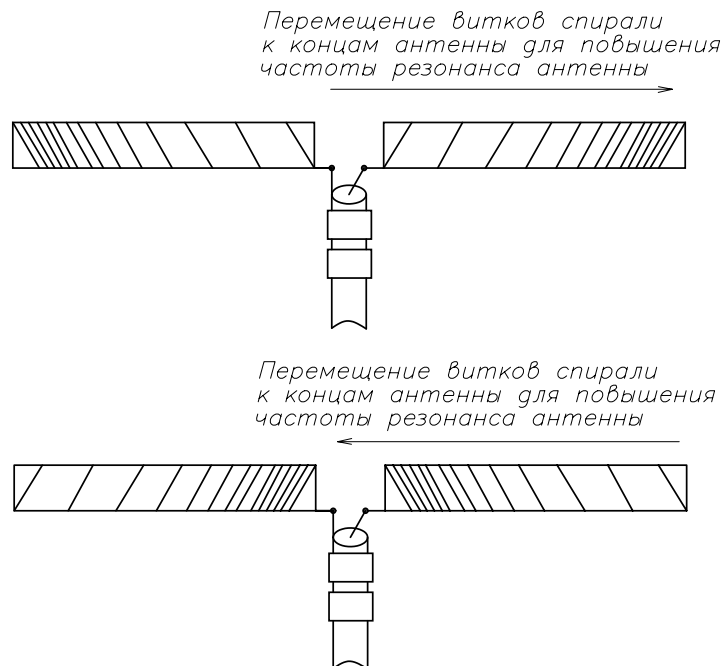


Рис. 6.14. Плавное изменение резонансной частоты антенны

После измерения резонансной частоты антенны к ней подключают коаксиальный кабель и измеряют входное сопротивление на конце этого кабеля. В случае необходимости производят окончательную подстройку.

6.11. Установка укороченной спиральной антенны

Укороченные спиральные антенны просты в изготовлении и настройке. Ниже даны советы, которые позволят спроектировать их для наружной установки в городских условиях, в комнате или на стене дома.

Выбор места для размещения

Сначала необходимо найти место для укороченной спиральной антенны. Если дом выполнен из бетона, то антенну можно установить на балконе или в проеме окна. На балконе можно установить достаточно габаритные спиральные антенны, если он не очень загружен различными вещами. В проеме окна количество вариантов установки ограничено, антенна может быть установлена или перпендикулярно окну (рис. 6.15,а,б), или по диагонали (рис. 6.15,в).

Лучшим вариантом установки спиральной антенны в бетонном доме можно считать ее установку на стене. В этом случае вокруг укороченной спиральной антенны будет свободное от посторонних предметов пространство, что благоприятно скажется на ее работе. Спиральная антенна может быть вынесена от стены дома при помощи деревянной или металлической мачты. Желательно, чтобы длина мачты была не менее длины самой антенны.