

Антенны для связи с ИСЗ

Антенна является самым эффективным и самым надежным усилителем принимаемых сигналов, поэтому вопросом о выборе антенны нужно заниматься с большой ответственностью.

Эта статья предназначена для радиолюбителей, начинающих интересоваться вопросами радиосвязи через ИСЗ, и должна познакомить их с основными особенностями антенн, применяющихся при связи с ИСЗ.

Первая особенность заключается в необходимости учитывать поляризацию излучаемых и принимаемых антенной радиоволн.

Вторая особенность – антенна должна быть постоянно ориентирована на спутник.

Немного о поляризации радиоволн

Среди радиолюбителей и в радиолюбительской литературе бытует довольно примитивное объяснение явления поляризации. Считается, что если прямолинейная антенна (длинный провод или диполь) расположена горизонтально, то такая антенна излучает и принимает радиоволны, имеющие горизонтальную поляризацию. Если прямолинейная антенна расположена вертикально (штыревая антенна), то такая антенна излучает и принимает радиоволны с вертикальной поляризацией. Хотя такое объяснение является довольно упрощенным, оно не противоречит волновой теории электромагнитных колебаний и имеет право на существование.

Установлено, что при приеме вертикально поляризованных сигналов на антенну с горизонтальной поляризацией происходит потеря по мощности на 3 децибела, что равносильно ухудшению приема в два раза по сравнению с приемом этого же сигнала на антенну с вертикальной поляризацией.

Каждый из ИСЗ, не имеющих системы стабилизации, в процессе полета по орбите вокруг Земли еще и вращается вокруг какой-то своей оси. Поэтому установленная на ИСЗ антенна постоянно меняет свою ориентацию относительно поверхности Земли, в какой-то период времени она располагается горизонтально поверхности, в другой период – вертикально. Считается, что в подобном случае, когда антенна непрерывно изменяет свою ориентацию по отношению к поверхности Земли, такая антенна излучает или принимает радиоволны с вращающейся (круговой) поляризацией. Существует левая и правая круговая поляризация.

Если вы не хотите иметь потерь мощности при приеме сигнала, то для приема и излучения радиоволн с вращающейся поляризацией должны применяться специальные антенны, допускающие эту самую круговую поляризацию.

В радиолюбительской практике имеются антенны, которые по своей конструкции предназначены для приема и излучения радиоволн с круговой поляризацией и антенны, которые специальными методами приспособляются для приема таких волн. К первому типу антенн относятся спиральные и параболические антенны. Эти антенны по своей конфигурации изначально предназначены для приема или излучения радиоволн с круговой поляризацией. В качестве специальных методов для искусственного создания круговой поляризации можно применить две одинаковые прямолинейные антенны (например, два одинаковых волновых канала), из которых одна устанавливается горизонтально, а вторая –

вертикально, при этом антенны запитываются со сдвигом фазы на величину четверти длины волны.

Некоторые из конструкций антенн, удобных для работы с ИСЗ, будут описаны ниже.

Немного о направленности антенн

Естественно, что чем выше коэффициент усиления антенны, тем более мощный сигнал можно получить на выходе радиоприемника. Но следует учитывать, что пропорционально росту усиления антенны сужается передний лепесток диаграммы направленности антенны и сужается полоса излучаемых или принимаемых антенной частот. Если антенна имеет очень узкий передний лепесток, то такую антенну трудно точно ориентировать на ИСЗ и может получиться так, что весь выигрыш от увеличения усиления будет потерян за счет не точной ориентации антенны на спутник.

Вывод можно сделать один – антенну с высоким усилением можно использовать только тогда, когда вы имеете специальное устройство для точной ориентации антенны на спутник.

Если вами принято решение об изготовлении многоэлементной антенны типа волновой канал, то следует принять во внимание тот факт, что большинство описанных в радиолюбительской литературе таких антенн рассчитаны на их применение в низкочастотной части заданного диапазона частот, а частоты аппаратов ИСЗ располагаются в высокочастотной части диапазона. Например, на диапазоне 432 МГц большинство любительских радиостанций работает в участке от 432 до 433 МГц, в то время как для ИСЗ предназначены частоты от 435 МГц и выше. Следовательно, нужно решить вопрос о необходимости корректировки размеров различных элементов антенны. При этом, чем больше расчетное усиление антенны, тем уже полоса принимаемых и излучаемых ею частот и тем серьезнее нужно подходить к проведению коррекции размеров. Иначе вместо ожидаемого улучшения параметром можно получить противоположный вариант.

Эффективность антенны и антенные усилители

Эффективность любой антенны находится в прямой зависимости от ее геометрических размеров. Но при больших размерах возникают вопросы механической прочности и жесткости конструкции. Тем не менее, повышение эффективности антенны – это единственный, не имеющий ограничений путь увеличения энергетического потенциала приемника и всей радиостанции.

Для более полного понимания процесса ниже приведу некоторое математическое обоснование. Достаточно подробно этот вопрос описан в [1].

Любую антенну можно представить в виде эквивалентной площадки, стоящей на пути распространения радиоволн. Следующая формула говорит о том, что чем больше геометрическая площадь антенны, тем больше коэффициент её усиления:

$$G = 4 S / \lambda^2,$$

где G – усиление антенны по отношению к изотропному излучателю;
 S – эквивалентная площадь, м²; λ – длина волны, м.

С точки зрения приведенной формулы и энергетики совершенно неважно, какую форму будет иметь эквивалентная площадка: будет ли она круглая, квадратная или будет иметь форму вытянутого прямоугольника. В любом случае при равной площади будет равный коэффициент усиления. В то же время форма эквивалентной площадки оказывает самое непосредственное влияние на диаграмму направленности этой антенны. Так, ширина главного лепестка диаграммы направленности может быть связана с линейными размерами площадки следующим приближенным выражением:

$$50 \text{ } l, \quad (1)$$

где l — ширина главного лепестка по уровню – 3 дБ, град; λ — длина волны, м;
 l — линейный размер эквивалентной площадки в плоскости измерения диаграммы направленности, м.

Эта же формула, переписанная в другом виде, позволяет по известной диаграмме направленности антенны оценить размеры эквивалентной площадки:

$$l = 50 \text{ } / \quad (2)$$

Пусть, например, испытания антенны диапазона 435 МГц показали, что ширина диаграммы направленности равна 25° в горизонтальной плоскости и 20° в вертикальной плоскости. Легко определить, что эквивалентная площадка будет иметь размер 1,4 м по горизонтали и 1,75 м по вертикали.

Для повышения коэффициента усиления антенной системы очень часто радиолюбители располагают несколько одинаковых антенн рядом друг с другом и подключают их к одному фидеру. Такие антенные системы называются антенными решетками и могут иметь очень большие величины коэффициентов усиления.

Для расчета антенной системы, состоящей из нескольких одинаковых простых антенн, как раз и предназначены расположенные выше формулы. Эти формулы и такие оценки очень удобны для представления процессов, если предполагается увеличивать коэффициент усиления за счет соединения нескольких антенн в антенную решетку. Так, для рассмотренного выше примера расстояние между соседними этажами решетки должно равняться 1,75 м, а между соседними рядами – 1,4 м. При меньших расстояниях эквивалентные площадки будут взаимно перекрываться и общий коэффициент усиления будет меньше суммы коэффициентов усиления всех антенн. При больших расстояниях появятся зазоры между отдельными площадками. В результате общее усиление возрастет не будет, зато будут неоправданно увеличиваться габариты антенны. При этом в главном лепестке диаграммы направленности появляются провалы, разбивающие его на несколько составляющих.

Итак, если вы решили для повышения коэффициента усиления создать антенную решетку из нескольких одинаковых простых антенн, то обязательно учтите необходимость правильного выбора расстояний между соседними простыми антеннами.

Теперь следует несколько слов сказать еще об одном факторе, от которого зависит эффективности антенны. Нужно знать, что в общем случае коэффициент усиления является произведением коэффициента направленного действия антенны (к.н.д.) и её коэффициента полезного действия (к.п.д.):

$$G = K \cdot \eta, \quad (3)$$

где K — к.н.д. антенны; η — к.п.д. антенны. Это значит, что недостаточно сделать антенну большой площади, надо еще суметь всю энергию, падающую на данную

площадь, с минимальными потерями доставить к потребителю данной энергии, т. е. к входу приемника. При создании любых антенн следует помнить о «принципе взаимности», который говорит об эквивалентности параметров антенны в режиме приема и передачи. Принцип взаимности можно сформулировать следующим образом: «диаграмма направленности или к.н.д. антенны не зависят от того, используется эта антенна для приема или для передачи».

Излучение электромагнитной энергии связано с протеканием высокочастотного тока по элементам антенны, поэтому потери в самой антенне определяются омическими потерями в металлических элементах. Большое влияние на коэффициент полезного действия антенно-фидерного тракта оказывают потери в кабельных линиях, которые надо обязательно учитывать при оценке энергетического потенциала как отдельного радиоприемника, так и радиостанции в целом, т.е. при работе как на прием, так и на передачу.

Следует помнить, что с ростом частоты потери в подводящем кабеле сильно возрастают. Так, например, 20-метровый отрезок кабеля типа РК-75-4-11 ослабляет проходящий по нему сигнал на частоте 144 МГц в 2,1 раза (3,2 дБ), на частоте 432 МГц – в 3,4 раза (5,4 дБ), а на частоте 1296 МГц – в 13 раз (11,2 дБ). Видно, что на высокочастотных диапазонах потери возрастают до недопустимых значений. К тому же здесь приведены данные для идеального случая, когда отсутствуют отражения на концах линии, т.е. для случая, когда входное сопротивление антенны равно волновому сопротивлению кабеля. Если же сопротивление нагрузки (антенны) отличается от волнового сопротивления кабеля, то часть энергии отражается от конца кабеля в месте его соединения с антенной и движется в обратном направлении.

Видно, что потери в фидере оказывают существенное влияние на потенциальные возможности как приемника, так и всей радиостанции. В результате могут быть сведены на нет усилия, затраченные на изготовление большой и сложной антенны. И если в режиме передачи еще можно как-то компенсировать потери в фидере за счет увеличения мощности, то в режиме приема потери носят необратимый характер. Разрешить данную проблему помогают антенные усилители, расположенные в непосредственной близости от антенны. Особенно оправдано применение антенных усилителей при связях с ИСЗ, когда для приема и передачи используются различные антенны и частоты.

Вопрос о необходимости применения такого усилителя надо решать в каждом конкретном случае, сравнивая внешние шумы антенны и внутренние шумы приемника. Для того, чтобы решить вопрос о необходимости применения антенного усилителя для обеспечения нормального режима работы входной цепи приемника, вместо антенны надо для сравнения подключать резистор, сопротивление которого равно волновому сопротивлению фидера. Если даже в самые благоприятные ночные часы шумы антенны заметно (в 2 раза и более) превышают шумы резистора, применять антенный усилитель не следует. Более того, лишний каскад усиления сделает приемник более уязвимым по отношению к помехам от близких радиостанций.

Схемы антенных усилителей можно позаимствовать из схем конвертеров соответствующих диапазонов, описания которых были приведены в предыдущей статье.

На рис. 1 представлена принципиальная электрическая схема антенного усилителя для диапазона 145 МГц. Усилитель должен быть смонтирован в запаянном металлическом кожухе и расположен в непосредственной близости от клемм подключения антенны.

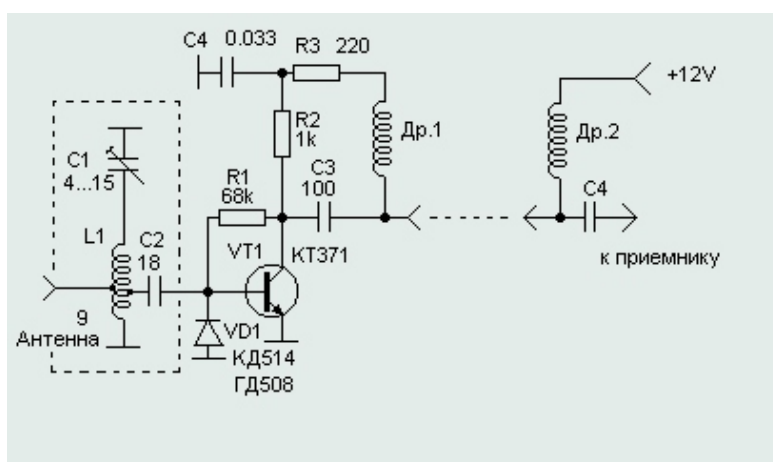


Рис.1. Схема антенного усилителя 145 МГц

От УВЧ описанного в предыдущей статье конвертера на 145 МГц схема этого усилителя отличается наличием диода VD1 и высокочастотного дросселя Др.1. Диод служит для предотвращения пробоя транзистора наводками от работающего передатчика, а через дроссель подается питание на транзистор. Организация подачи питания на транзистор может быть выполнена непосредственно по кабелю, соединяющему антенну с приемником. При этом на входе приемника следует дополнительно разместить цепочку, состоящую из конденсатора C4 и ВЧ дросселя Др.2, которая показана на схеме справа. Подведенное через дроссель Др.2 напряжение поступает через кабель на транзистор усилителя и обеспечивает нормальную работу антенного усилителя. Точно по такому же принципу можно изготовить антенный усилитель и для других диапазонов. При этом ВЧ дроссели должны изготавливаться из куска провода длиной (0,2 ... 0,1) . Провод нужной длины наматывается на оправку удобного диаметра (2,5 ... 4мм) плотно, виток к витку, а затем получившаяся катушка снимается с оправки и растягивается таким образом, чтобы между витками были зазоры по 1 ... 2 мм.

При настройке антенного усилителя следует обязательно проверить, не создает ли диод VD1 излишнего шума. Если шум при подключении диода усиливается, то диод следует убрать и попытаться обходиться без него. В С. Г. Жутяев в [1] советует применить схему антенного усилителя, выполненного на мощном многоэмиттерном транзисторе типа KT911A или KT610A. При этом необходимость в защитном диоде пропадает. Один из вариантов схемы такого антенного усилителя приведен на рис. 2.

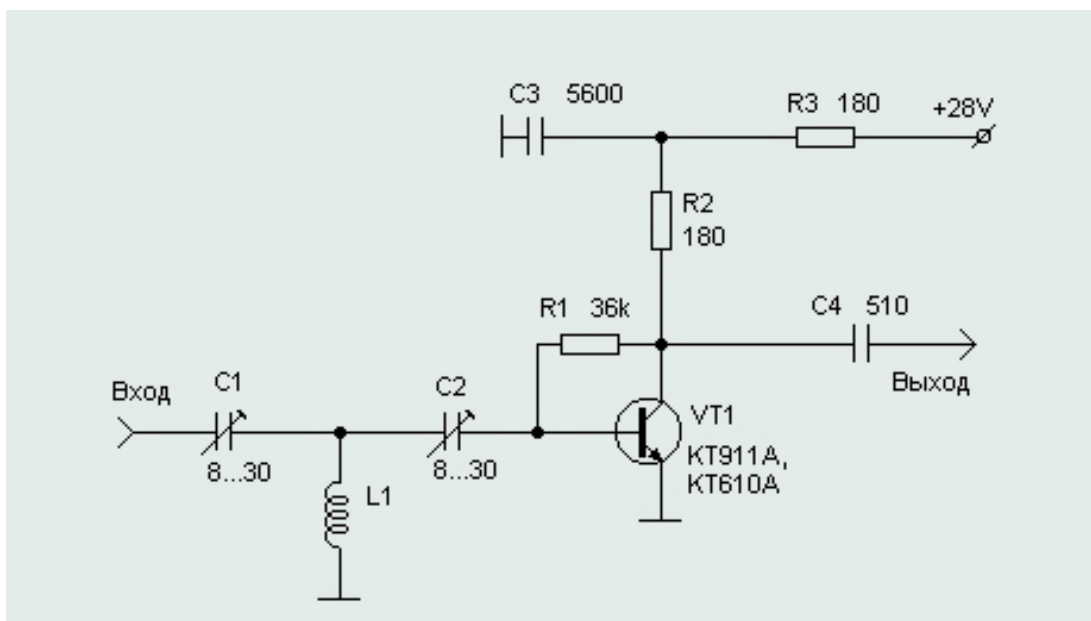


Рис.2. Схема антенного усилителя на мощном транзисторе

Катушка L1 для диапазона 145 МГц содержит два витка посеребренного провода диаметром 1,0 мм. Диаметр оправки —10 мм. Настойку усилителя надо начинать с установки режима транзистора по постоянному току. Подбором резистора R1 надо добиться, чтобы коллекторный ток транзистора составил 15—25 мА. Далее антенный усилитель через отрезок кабеля нужной длины надо подключить к входу приемника и настроить с помощью конденсаторов C1,C2 на наилучшее значение коэффициента шума.

Этот антенный усилитель имеет следующие характеристики: коэффициент усиления около 20 дБ, коэффициент шума 1,5—1,8. Для предотвращения выхода из строя последующих каскадов усиления желательно в режиме передачи снимать напряжение питания с транзистора VT1, а еще лучше соединять провод питания антенного усилителя с землей.

Антенный усилитель для диапазона 1296 МГц описан в журнале «Радио» №8 за 2002 год. Статья называется «Антенный усилитель диапазона 1296 МГц».