

Специальные требования при работе с ИСЗ

Проведение радиосвязей через аппаратуру, установленную на борту ИСЗ, а также прием информации от ИСЗ в порядке наблюдения, предъявляют к приемной аппаратуре и антенным системам определенные требования. В принципе, эти требования мало отличаются от обычных требований, предъявляемых к УКВ аппаратуре. Рассмотрим подробнее эти основные требования.

1. Специальные требования к антенным системам. Роль коэффициента усиления, диаграммы направленности и поляризации антенны.
2. Требования к приемной аппаратуре. Коэффициент шума приемного устройства.
3. Помехоустойчивость приемной аппаратуры.

Для любого вида связи, в том числе и для радиосвязи на УКВ, характерны потери сигнала на пути следования и наличие внешних и внутренних помех.

При рассмотрении этого вопроса для упрощения будем считать, что распространение радиоволн происходит в свободном пространстве, т. е. на пути следования радиоволн от корреспондента к корреспонденту отсутствуют их поглощение и переотражение. Подобный случай характерен для радиосвязи в космическом пространстве, а также с небольшими поправками для наземной радиосвязи в пределах прямой видимости.

Требования к антенным системам

Чтобы нагляднее представить специальные требования к антенным системам, рассмотрим более общие случаи УКВ радиосвязи.

Рассмотрим случай, когда на передающей радиостанции используется антенна, одинаково излучающая во все стороны (так называемый изотропный излучатель). Тогда на расстоянии r излучаемая передатчиком мощность $P_{пер}$ равномерно распределится по поверхности сферы, имеющей площадь

$$S = 4 \pi r^2.$$

В результате на вход приемника второго корреспондента попадает сигнал мощностью

$$P_{пр} = P_{пер} S_{пр} / S,$$

где $S_{пр}$ – площадь приемной антенны.

Следовательно, доля энергии, поступившая на вход приемного устройства (мощность принимаемого сигнала), составит:

$$L = P_{пр} / P_{пер} = S_{пр} / S = S_{пр} / 4 \pi r^2.$$

В случае, если передающая антенна обладает направленными свойствами, от которых зависит величина коэффициента усиления антенны, мощность принимаемого сигнала возрастет и составит:

$$L = S_{пр} G_{пер} / 4 \pi r^2,$$

где $G_{\text{пер}}$ – коэффициент усиления передающей антенны.

Если на приемной радиостанции установлена антенна с величиной коэффициента усиления $G_{\text{пр}}$, то мощность принимаемого сигнала возрастет в $G_{\text{пр}}$ раз.

$$L = S_{\text{пр}} G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} / 4 r^2 .$$

Из полученной формулы можно сделать важный вывод – эффективность приемной антенны зависит от ее площади и её коэффициента усиления. Но в то же время следует знать, что антенны с одинаковой величиной коэффициента усиления имеют различную эффективность на различных частотных диапазонах.

Так, например, если использовать один и тот же тип антенны (например, девятиэлементный волновой канал) для диапазонов 144 и 432 МГц, то на верхнем диапазоне мы получим проигрыш в 9 раз по сравнению с диапазоном 144 МГц. Для диапазона 1296 МГц этот проигрыш (при использовании девятиэлементного волнового канала) составит уже 81 раз, т. е. для получения тех же потерь на линии нужно или у одного из корреспондентов установить систему из 81 антенны «волновой канал», или у обоих установить по девяти таких антенн. Это, в частности, следует из формулы

$$L = S_{\text{пер}} S_{\text{пр}} / r^2 = G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} / (4 r)^2 ,$$

Которую можно получить, используя известное соотношение

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

где G — коэффициент усиления антенны, S – ее площадь, а λ – длина волны.

Величина мощности принимаемого сигнала отражает потери энергии на трассе между передающей и приемной радиостанциями при условиях прохождения радиоволн, близких к идеальным.

Видно, что при неизменной конструкции антенны, а следовательно, неизменном коэффициенте усиления, потери L растут при уменьшении длины волны в квадратичной зависимости. Единственная мера борьбы – это повышение коэффициента усиления антенн.

При принятии мер по повышению коэффициента усиления антенны обязательно сужается диаграмма её направленности. Следует иметь в виду, что узконаправленные антенны требуют более точной ориентировки антенны на корреспондента и совсем не облегчают радиосвязь на УКВ. Также следует знать, что многодиректорные антенны типа «волновой канал» могут работать только в очень узкой полосе частот. Описания большинства из таких антенн рассчитаны на применение этих антенн в обычных УКВ связях и имеют размеры, оптимальные для начала определенного диапазона, в то время как для спутниковой связи отводятся частоты, расположенные в конце диапазона (в более высокочастотной части диапазона).

Кроме того, в реальных условиях своего движения по орбите, спутник непрерывно вращается вокруг какой-то своей оси. Только специальные и очень дорогие спутники имеют стабилизирующие устройства, которые поддерживают постоянную ориентацию спутника относительно Земли. Спутники с аппаратурой для любительской радиосвязи никаких стабилизирующих устройств не имеют, поэтому установленные на этих спутниках антенны постоянно вращаются вместе с корпусом спутника. Так,

если в какой-то момент антенна спутника располагается параллельно горизонту Земли в точке расположения приемной станции, то через некоторое время антенна спутника будет располагаться перпендикулярно горизонту в этой точке Земли. В теории распространения электромагнитных колебаний существует понятие поляризации волн. В радиосвязи принято считать, что если антенна, имеющая форму прямой линии, располагается параллельно горизонту Земли, то такая антенна принимает и передает электромагнитные волны, в которых преобладает горизонтальная поляризация. Если прямолинейная антенна располагается вертикально (перпендикулярно по направлению к горизонту Земли), то такая антенна излучает и принимает вертикально поляризованные волны. Конечно, такое объяснение довольно примитивно и вульгарно, но для упрощенного варианта может оказаться достаточным. Исходя из этого объяснения получается, что антенна вращающегося вокруг своей оси спутника излучает радиоволны с переменной поляризацией. Поляризацию такого сигнала принято называется вращающейся.

На практике установлено, что если передающая антенна излучает волны с вертикальной поляризацией, а принимающая эти волны антенна предназначена для приема радиоволн с горизонтальной поляризацией, то потери по мощности из-за различной поляризации получаются ровно в два раза. Это значит, что данная приемная антенна будет принимать эту же передающую станцию в два раза сильнее (по мощности), если на передающей станции установить также антенну с горизонтальной поляризацией передающихся радиоволн.

В следующей статье этого цикла я приведу описания некоторых специальных антенн, предназначенных для спутниковой связи.

Требования к приемной аппаратуре

Рассмотрим теперь, от чего зависит дальность радиосвязи на УКВ и требования к приемной аппаратуре. Для повышения дальности необходимо увеличивать размеры антенн. Это, конечно, очень трудоемкий путь, однако это единственный способ, практически не имеющий ограничений. Второй способ повышения дальности – это увеличение мощности передатчика. Однако максимальная мощность любительского передатчика определена соответствующим разрешением и не должна превышать 5 Вт. Для передатчика, установленного на ИСЗ, разработчик радиоаппаратуры задает какие-то определенные параметры, которые после запуска ИСЗ на орбиту может изменить только природа. И, наконец, третий способ – это повышение чувствительности приемника. Здесь наши возможности, в конечном счете, ограничены внешними шумами и помехами, такими как индустриальные помехи, космические шумы и тепловые шумы, излучаемые атмосферой и земной поверхностью.

Для того, чтобы оценить предельные возможности радиоприемника, удобно ввести понятие его “энергетического потенциала”. Энергетический потенциал численно равен максимально допустимому значению потерь (в децибелах) на трассе распространения сигнала. Рассмотрим подробнее, как он определяется и от чего зависит.

Прежде всего определим минимальную мощность сигнала, который необходимо подвести к входу приемника. При отсутствии внешних помех чувствительность определяется уровнем собственных шумов, который для удобства расчетов обычно приводится к входным зажимам приемника.

Для оценки интенсивности собственных шумов приемника обычно пользуются единицами kT_0 . Здесь k – постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град), а T_0 – температура окружающей среды (около 300 К). Таким образом, $1kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц. Термин «интенсивность» в данном случае применяется потому, что данная единица характеризует не просто приведенную мощность входных шумов, а мощность, отнесенную к полосе пропускания. Это очень удобно, так как не надо каждый раз оговаривать полосу пропускания приемника, как это потребовалось бы при оценке шумов в единицах мощности – ваттах. В этом смысле еще больше неудобств доставляет пользование единицами напряжения – микровольтами, так как в данном случае надо еще указывать входное сопротивление приемника. Так, например, ответить на вопрос, какой приемник лучше – имеющий чувствительность 1 мкВ или 2 мкВ, можно только после того, как будут оговорены входные сопротивления и полосы пропускания данных приемников. Единица kT_0 имеет строго определенный физический смысл – такие тепловые шумы генерирует активное сопротивление, нагретое до температуры T_0 . Если сопротивление, равное входному, подключить к входу идеального приемника, то мощность шумов, приведенная к входу, будет равна $1kT_0$. В реальном приемнике к шумам внешнего сопротивления добавятся собственные шумы, поэтому чувствительность реального приемника всегда больше $1kT_0$. Числовой коэффициент, стоящий перед kT_0 называется коэффициентом шума приемника. Он обозначается буквой F . Мощность собственных шумов приемника, приведенную к входу, можно определить, пользуясь формулой

$$P_{ш.вх.} = (F - 1)kT_0 f,$$

где f – полоса пропускания приемника. Например, если интенсивность шумов приемника радиостанции в диапазоне 144 МГц равна $1,8 kT_0$ (т. е. собственные шумы равны $0,8 kT_0$). Определим, чему это соответствует в долях ватта при полосе пропускания приемника 3000 Гц. В соответствии с проведенными рассуждениями собственные шумы приемника в ваттах, приведенные к его входу, будут равны:

$$P_{ш.вх.} = (1,8 - 1) 4 \cdot 10^{-21} 3000 = 10^{-17} \text{ Вт}.$$

Теперь, когда известна мощность входных шумов, можно определить минимальное значение полезного сигнала. Для работы телеграфом при данной полосе пропускания пороговое значение сигнала может быть примерно в 10 раз меньше мощности шумов. Тогда мощность сигнала равна: $P_c = 10^{-18}$ Вт. Если также учесть коэффициент усиления антенны величиной 10, то допустимые потери возрастут до 10^{-19} Вт, что соответствует примерно величине чуть менее 200 дБ.

Приведенные мною формулы должны позволить вам понять основы расчета энергетического потенциала УКВ радиоприемника или УКВ радиостанции, необходимые для того, чтобы прочувствовать возможности того или иного аппарата.

Приведенные рассуждения дают возможность понять, что УКВ радиоприемник с коэффициентом шума порядка $2kT_0$ может с успехом принимать сигналы от ИСЗ, расположенных на расстоянии 1000 км и более при наличии антенны с усилением в 10 раз.

Несколько слов о том, как можно оценить потери энергии на трассе между ИСЗ и приемной радиостанцией. В литературе можно найти следующую формулу, которая позволяет сделать ориентировочный расчет потерь электромагнитной энергии при прохождении сигнала от ИСЗ до приемника:

$$L_p = 32,5 + 20 \lg f + 20 \lg D_s,$$

где L_p – потери энергии на трассе, дБ; f – частота в МГц; D_s – расстояние до спутника, км.

Проведенные по данной формуле расчеты для расстояния 3000 км и частоты 29 МГц дают величину потерь порядка 130 дБ, для того же расстояния и для частоты 144 МГц величина потерь составит примерно 145 дБ, при увеличении частоты до 435 МГц величина потерь будет порядка 155 дБ, для частоты 1290 МГц величина потерь составит 167 дБ.

Для расстояния 50000 км и частоты 1290 МГц, что характерно для спутника АО – 40, примерная величина потерь будет около 193 дБ, т.е. вплотную приближается к возможностям применения радиоприемного устройства с коэффициентом шума $2kT_0$ и приемной антенны с усилением в 10 раз. Это значит, что для успешной работы с этим спутником следует использовать антенну с гораздо большим усилением.

Помехоустойчивость приемной аппаратуры

Рассмотрим теперь вопрос о помехоустойчивости УКВ аппаратуры. Приведенный расчет энергетического потенциала сделан с учетом только внутренних помех, т. е. с учетом собственных шумов, возникающих в приемном устройстве. Однако часто предельная дальность радиосвязи определяется помехами внешнего происхождения, которые условно можно разделить на три основные группы – помехи от других радиостанций, импульсные помехи и шумовые помехи. Помехи, относящиеся к первой группе, появляются под действием мощных сигналов близко расположенных любительских радиостанций, а также под действием мощных сигналов телевизионных и радиовещательных передатчиков. В первом случае мешающий сигнал попадает в полосу пропускания усилителя высокой частоты, смесителя, а часто и в полосу пропускания последующих каскадов. Под действием мощной помехи меняется режим работы этих каскадов, что может привести к полному пропаданию полезного сигнала.

Меры борьбы с подобными помехами – это повышение линейности и возможно меньший коэффициент усиления каскадов, предшествующих узкополосному фильтру.

Помехи от телевизионных передатчиков могут непосредственно воздействовать на входной каскад УВЧ и проникать по так называемым комбинационным каналам. Меры борьбы с подобными помехами – повышение качества гетеродина и улучшение селективности УВЧ.

Помехи, относящиеся ко второй группе, — импульсные помехи более характерны для городских условий. Это помехи от систем зажигания автомобилей, от коллекторных электродвигателей. От искрения контактных проводов трамваев и троллейбусов, а также от большого количества прочих источников. Если импульсные помехи хорошо выделяются на фоне шумов в виде отчетливых щелчков или тресков, то в таком случае достаточно эффективно помогают различного рода ограничители амплитуды. В условиях большого города импульсные помехи от многих источников сливаются в сплошной шум, который «на слух» воспринимается как шум теплового происхождения. Импульсные помехи такого вида непосредственно примыкают к помехам, относящимся к третьей группе, т. е. к шумам различного происхождения. Как уже указывалось, это могут быть шумы космического происхождения (прежде всего Солнца), а также тепловые шумы, излучаемые атмосферой и земной

поверхностью. На большом удалении от города именно эти шумы определяют предельную чувствительность радиостанции. При антенне, направленной на горизонт, интенсивность таких шумов составляет примерно $1kT_0$. В условиях города интенсивность шумов может возрасти в десятки и даже сотни раз. К сожалению, принципиально отсутствуют методы борьбы с помехами такого рода. Единственно, что можно делать, — это по возможности сужать полосу пропускания приемника. Однако особенности человеческого уха таковы, что даже при приеме телеграфных сигналов не имеет смысла делать полосу пропускания приемника уже 500—1000 Гц.

Подводя итог сказанному, можно сделать вывод, что радиолюбителям, живущим в благоприятной помеховой обстановке, следует обратить основное внимание на уменьшение собственных шумов приемника. При этом можно ориентироваться на цифру $2kT_0$ (с учетом потерь в фидере), так как дальнейшее снижение шумов уже не даст большого выигрыша.

При разработке описываемой далее аппаратуры были предприняты некоторые меры по повышению помехоустойчивости приемных устройств. Так, для получения заданной чувствительности было использовано минимальное количество каскадов усиления, были приняты меры по сужению полосы пропускания входных устройств и по повышению спектральной чистоты гетеродинных трактов. Во всех аппаратах в основном отсутствуют дефицитные детали.