

ШУМОВЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ. ЧЕМ ОНИ ОПАСНЫ

Воронин А.А.

начальник сектора ФГУП
"ВНИИ "Эталон", к. т. н.

В статье рассматривается один из видов нежелательных радиоизлучений передающих устройств средств радиосвязи, который в современных условиях эксплуатации может существенно мешать радиоприему.

Введение

Приобретая аппаратуру радиосвязи для использования в сосредоточенных комплексах, где пространственные развязки между радиоэлектронными средствами (РЭС), одновременно работающими в соседних радиолиниях, исчисляются всего единицами децибел и не позволяют обеспечить их функционирование без непреднамеренных радиопомех, следует серьезно отнестись к проблеме шумовых радиоизлучений (ШИ) радиопередающих устройств (РПДУ). Это особенно важно, если РЭС связи размещаются на подвижных объектах и указанные развязки не могут быть увеличены в процессе эксплуатации.

Среди различных видов нежелательных излучений (НИ) РПДУ, создающих помехи радиоприему, шумовые излучения занимают особое место. Они имеют широкий сплошной частотный спектр и, несмотря на сравнительно низкий уровень, могут сделать непригодными для радиосвязи значительные полосы частот.

Для подавляющего большинства средств радиосвязи, поступающих на отечественный рынок, достаточно полных данных по параметрам ШИ РПДУ в технической документации и рекламных материалах фирмы-изготовителя и поставщики обычно не приводят. Исключение иногда составляют лишь средства радиосвязи специального назначения. Поэтому, чтобы не допустить существенных ошибок при развертывании радиолиний и избежать непредвиденных трудностей в ходе их эксплуатации, следует иметь представление о характерных особенностях ШИ РПДУ и создаваемых ими радиопомехах, методах уменьшения влияния этих излучений на радиоприем.

Основные характеристики

Под шумовым радиоизлучением радиопередающего устройства следует понимать его нежелательное радиоизлучение через антенну, обусловленное собственными шумами элементов радиопередатчика и модуляцией этими шумами генерируемых колебаний [1]. ШИ РПДУ имеет распределение мощности по частоте, близкое к равномерному, поэтому в конечной полосе частот его можно рассматривать, как "белый" шум. На практике ШИ обычно исследуют и нормируют в высокочастотном тракте передатчика и оперируют следующей совокупностью параметров:

- относительным (по отношению к уровню основного сигнала P_0) значением мощности шумового радиоколебания (ШК) $P_{ш\text{отн}}$, дБ;

- полосой частот контроля ΔF_k ;

- относительной частотной отстройкой

$$\delta f = [(f_0 - f_{ш}) / f_0] \cdot 100\% ,$$

где f_0 - рабочая частота передатчика,

$f_{ш}$ - частота ШК.

При $\Delta F_k = 1$ Гц ШК характеризуют двумя параметрами: спектральной плотностью мощности шума и частотной отстройкой.

Уровень ШК вблизи несущей, как правило, составляет величину порядка -80... -100 дБ, с увеличением отстройки огибающая шума медленно (единицы децибел на октаву) спадает, несколько поднимаясь в районе гармонических составляющих. Наличие в высокочастотном тракте передатчика частотно-избирательных цепей обеспечивает дополнительное подавление шумов.

Если радиопередатчик представить в виде каскадного включения возбуждателя, усилителя мощности (УМ), фильтра и согласующего антенного устройства (САУ), то относительный уровень мощности ШК на выходе при заданной частотной отстройке $P_{ш\text{отн}}(\delta f)$ в полосе частот контроля можно выразить следующей формулой (1):

$$P_{ш\text{отн}}(\delta f) = 10 \lg \frac{[P_{шв}(\delta f) \cdot G_{УМ}(\delta f) + P_{шУМ}(\delta f)] \cdot K_{ФСАУ}(\delta f)}{P_{ОВ} \cdot G_{УМО} \cdot K_{ФСАУО}}$$

где

$P_{ов}, P_{шв}(\delta f)$ — мощность основного и шумового радиоколебаний возбуждателя соответственно, Вт;

$G_{УМО}, G_{УМ}(\delta f)$ — коэффициент усиления УМ на рабочей частоте и при отстройке $\delta(f)$ соответственно;

$P_{шУМ}(\delta f)$ — мощность собственных шумов УМ, Вт;

$K_{ФСАУО}, K_{ФСАУ}(\delta f)$ — коэффициент передачи по мощности тракта "фильтр — САУ" на рабочей частоте и при отстройке δf соответственно, учитывающий как потери, вносимые каждым из четырехполюсников, так и потери на рассогласование.

Таким образом, исходный шум передатчика задает его возбуждатель, УМ усиливает их и добавляет собственные шумы, а фильтр и САУ - ослабляет в соответствии с их характеристикой частотной избирательности.

На рис. 1 в качестве примера показана огибающая спектра ШК передатчика радиостанции ОВЧ-диапазона (мощность 100 Вт). Следует отметить хорошие показатели по шумам данного передатчика - во многих случаях подавление шумов в передатчиках РЭС указанного класса при отстройках $\pm 10\%$ не превышает 140...150 дБ.

Мешающее влияние

Проблема ШИ РПДУ возникла в конце 1970-х годов, когда усложнение систем связи привело к росту количественного состава радиоэлектронных средств, увеличению их концентрации на ограниченных территориях и плотному размещению каналов связи по частотному диапазону. К тому же бытовавшее в те годы мнение, что помехи от ШИ по сравнению с помехами, обусловленными другими видами НИ, приобретают значение лишь при мощностях передатчиков более 1 кВт, привело к тому, что вопросам шумоподавления должного внимания не уделялось. В результате, например, при анализе помех в системах связи управления движением воздушного транспорта, было установлено, что 30% из них составляют помехи, вызванные ШИ РПДУ [2]. Даже помехи от интермодуляционных и комбинационных излучений дали меньший совокупный мешающий эффект.

В отличие от сосредоточенных радиопомех, занимающих сравнительно узкую полосу частот, от радиопомех, обусловленных ШИ, трудно отстроиться без потерь значительной доли частотного диапазона приемника. Особенно это характерно для городских условий, где даже без помех от ШИ не всегда удается работать на минимальных уровнях сигналов (то есть реализовать паспорт-

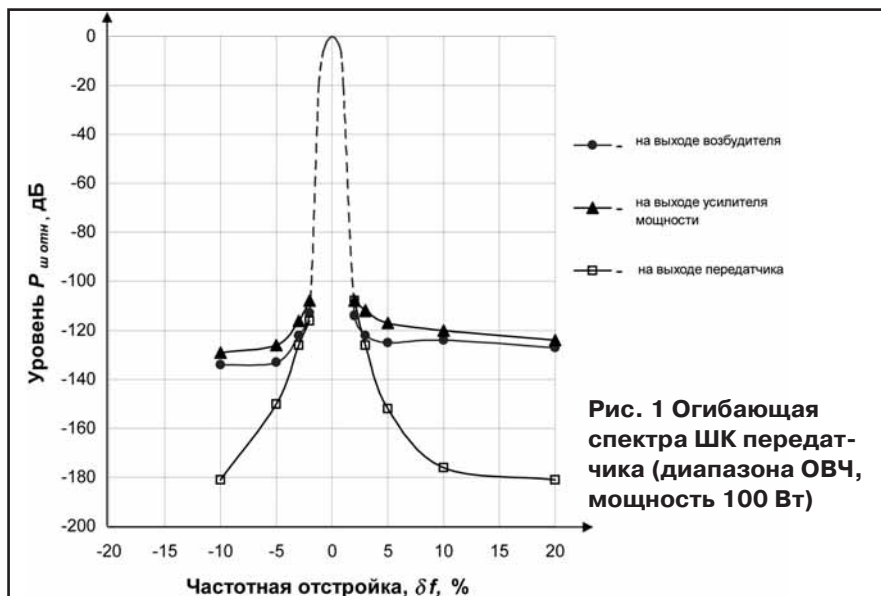


Рис. 1 Огибающая спектра ШК передатчика (диапазона ОВЧ, мощность 100 Вт)

ную чувствительность радиоприемника) из-за высокого уровня фона - загрузки диапазона всевозможными видами излучений как искусственного, так и естественного происхождения. Помехи, обусловленные ШИ, складываясь с фоном, не позволяют обеспечить уверенный прием в широких полосах частот.

На рис. 2 для иллюстрации изложенного условно показана огибающая спектра ШК передатчика, приведенная по входу приемника, то есть построенная с учетом развязки между передатчиком и приемником, и характеристика частотной избирательности последнего. Штриховыми линиями изображен случай, когда уровень помехи от ШИ на входе приемника превышает допустимое значение (норму) $N_{ш}$ и для обеспечения необходимого соотношения между чувствительностью S и помехой приходится увеличивать частотную отстройку Δf на дополнительную величину $\Delta f_{доп}$.

Итак, в целом высокие уровни ШИ РПДУ приводят к значительному снижению эффективности использования радиочастотного спектра. Что же касается конкретных комплексов и систем связи, то из-за влияния ШИ оператор, чтобы обеспечить заданное качество приема сигнала в условиях отсутствия запаса по энергетике, будет вынужден пойти на непопулярную меру - сократить дальность связи.

Требования к допустимому уровню ШИ определяются, прежде всего, условиями эксплуатации РЭС связи. Однако при их обосновании необходимо учитывать и возможности выполнения этих требований разработчиком. Исходя из отечественного и зарубежного опыта можно рекомендовать для некоторых классов РЭС связи ориентировочные допустимые значения уровня ШК, приведенные в таблице. Эти значения определены для случаев мешающего влияния передатчика одного РЭС на приемники других РЭС. Применительно к дуплексным радиостанциям требования к ШИ обычно оказываются более жесткими.

Более точно допустимые значения мощности ШК можно определить, зная паспортные данные аппаратуры, конкретные условия ее эксплуатации и требования по качеству связи.

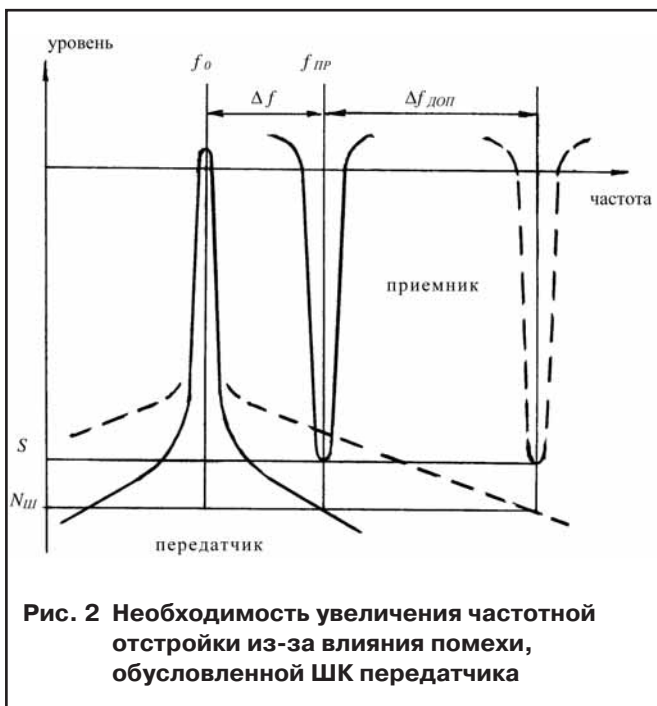


Рис. 2 Необходимость увеличения частотной отстройки из-за влияния помехи, обусловленной ШК передатчика

Рекомендуемые допустимые значения относительного уровня ШК передатчиков

Класс радиоэлектронного средства связи	Типовые условия применения	Относительный уровень ШК в полосе частот контроля ΔF_k^* при относительной частотной отстройке $\pm 10\%$
РЭС связи фиксированной службы РЭС связи подвижной службы с мощностью передатчика более 1 кВт	Радиопередающий центр	-130...-140
РЭС связи подвижной службы с мощностью передатчика от 0,1 до 1 кВт	Одиночное использование или радиопередающий центр	-130...-140
	Сосредоточенный комплекс РЭС	-140...-160
РЭС связи подвижной службы с мощностью передатчика 100 Вт и менее	Подвижный объект	-145...-160
РЭС связи подвижной службы носимые и портативные	Сосредоточенный комплекс РЭС, в том числе подвижный объект	-110...-130

* $\Delta F_k=3$ кГц — для РЭС диапазона частот 30 МГц и ниже;
 $\Delta F_k=20$ кГц — для РЭС диапазона частот свыше 30 МГц.

В завершение рассмотрения аспекта мешающего влияния ШИ можно, в частности, привести такие цифры. Применительно к РЭС связи подвижной службы диапазона ВЧ-ОВЧ, совместно эксплуатируемых на подвижных объектах, превышение уровнем ШК передатчиков допустимых значений на 10...20 дБ приводит к необходимости увеличения частотных отстроек между соседними радиолиниями в 2...3 раза.

Методы снижения и защиты

Величину мощности собственных шумов УМ при отстройке $\delta(f)$ можно выразить аналогично формуле [3] для величины этого параметра на рабочей частоте, то есть:

$$P_{шум}(\delta f) = [K_{шум}(\delta f) - 1] \cdot P_{шв}(\delta f) \cdot G_{ум}(\delta f) \quad (2)$$

где

$K_{шум}(\delta f)$ — коэффициент шума УМ при отстройке $\delta(f)$.

Тогда из формул (1) и (2) следует, что основными путями снижения мощности ШК передатчика являются:

- снижение мощности шума возбуждателя;
- уменьшение коэффициента усиления УМ с одновременным увеличением уровня основного сигнала возбуждателя;
- снижение коэффициента шума УМ;
- уменьшение коэффициента передачи (увеличение затухания) фильтра и САУ за полосой пропускания.

Полностью избежать шумов не удастся, но, применив совокупность перечисленных технических мер, разработчик РЭС связи готов удовлетворить достаточно высоким требованиям к допустимому уровню ШК передатчика. Однако при отсутствии необходимой элементной базы - усилительных элементов с низким уровнем шума, быстро перестраиваемых реактивных элементов, быстродействующих элементов коммутации и других - это зачастую может сопровождаться ухудшением остальных характеристик РЭС связи. А эти характеристики, прежде всего скорость настройки, масса и размеры, эффективность использования рабочего диапазона частот, потребляемая мощность и некоторые другие, для потребителя на этапе приобретения РЭС связи обычно являются более важными, чем параметры ЭМС.

В связи с этим не исключено появление на рынке средств связи с уровнем ШК, превышающим допустимые

значения. В этом случае решение проблемы ШИ ложится на пользователя, а пути ее решения определяются конкретным типом аппаратуры и ее принадлежностью.

Для снижения уровня радиопомех, обусловленных ШИ РПДУ, и защиты приемника от их мешающего влияния хорошие результаты при наименьших затратах дают территориальный разнос и использование избирательных свойств антенн (когда это возможно по условиям эксплуатации). Частотный разнос применительно к ШИ, как уже отмечалось, менее эффективен, чем для других видов радиопомех, однако для сосредоточенных комплексов РЭС связи он часто является единственно возможной мерой.

Если и приемник, и мешающий передатчик принадлежат одному пользователю, целесообразно дополнительно на необходимую величину подавить ШК на выходе передатчика с помощью радиочастотного фильтра. В настоящее время фильтровая продукция достаточно широко представлена на отечественном рынке.

Меньше всего беспокоить будет у пользователя, если он приобретает дуплексную радиостанцию, которая согласно технической документации поставляется в полном комплекте, включая антенно-фидерное оборудование. Здесь разработчик обязан настолько подавить шумы передатчика, чтобы этого оказалось достаточно для обеспечения одновременной передачи и приема сигналов с требуемым качеством при заданной частотной отстройке.

Заключение

Значительную роль в решении проблемы уменьшения мешающего влияния ШИ РПДУ призвана сыграть стандартизация требований к их параметрам.

Уровень стандартизации в области ШИ РПДУ средств радиосвязи до настоящего времени, к сожалению, остается относительно низким: специальных стандартов или других общероссийских нормативных документов, регламентирующих значения параметров ШИ, не разработано. Требования к ним иногда можно встретить лишь в стандартах на конкретную аппаратуру связи.

Появление стандартизованных требований повлекло бы за собой необходимость проведения сертификационных испытаний продукции и таким образом ограничило поступление на отечественный рынок средств связи с повышенным уровнем ШИ. Кроме того, стандартизация требований к ШИ существенно упростила бы решение задачи ЭМС РЭС при эксплуатации.

Здесь уместно напомнить, что инициатива нормирования параметров электромагнитной совместимости РЭС связи, в том числе параметров ШИ РПДУ, всегда исходила отнюдь не от разработчиков аппаратуры, а прежде всего от ее потребителей.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 ГОСТ 23611-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.
- 2 Уайт Д.Р.Ж. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып.1. - М.: Сов. радио, 1977.
- 3 Жалуд В., Кулешов В.Н. Шумы в полупроводниковых приборах. - М.: Сов. радио, 1977.