

УДК 621.391.1

Обзор существующих способов борьбы с нелинейными явлениями в радиоприемных устройствах

Проведен обзор научной и технической литературы, посвященной нелинейным явлениям в радиоприемных устройствах. Выдвинута гипотеза о целесообразности применения кусочно-линейного «ограничителя-корректора» в составе радиоприемного устройства для борьбы с нелинейными явлениями.

А.А. РОМАШ,
слушатель адъюнктуры,
старший лейтенант

Военная академия Республики Беларусь

Введение. Обзор современной научной и технической литературы показывает, что проблема борьбы с нелинейными явлениями в современных беспроводных системах передачи (радио, радиорелейных, тропосферных и спутниковых) по-прежнему актуальна [1-9]. В общем случае на вход радиоприемного устройства (РПУ) одновременно воздействуют несколько сигналов (полезные с одной или несколькими несущими частотами и мешающие (помехи)), различающихся по уровню на 80...100 дБ. Как правило, тракт приема в отношении полезного сигнала обладает высокой линейностью. Однако в отношении мощных (обычно модулированных) помех, например, от соседних радиостанций, тракт приема оказывается нелинейным [1].

К внешним мешающим сигналам (помехам) относятся [2]:

- излучение сторонних станций (всевозможное излучение от сторонних радиопередающих устройств);
- промышленные либо атмосферные (возникают при работе различных электроустановок: электродвигатели, электросварочные аппараты и т. д.);
- атмосферные (обусловлены электрическими разрядами в атмосфере);
- космические (излучения солнца, звезд, комет и т. д.).

Частотные зависимости напряженности поля внешних мешающих сигналов (помех) (E_n) представлены на рисунке 1 [2] (графики пересчитаны для полосы пропускания 1 кГц).

В результате воздействия на вход РПУ внешних мешающих сигналов (помех) возникают различные

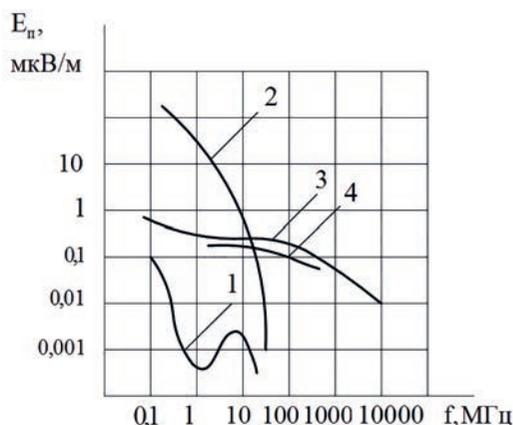


Рисунок 1 – График частотных зависимостей напряженностей полей внешних помех

- 1) средний уровень атмосферных помех днем; 2) средний уровень атмосферных помех ночью; 3) средний уровень промышленных помех в городе; 4) уровень космических помех

вредные эффекты, которые снижают качество приема и уменьшают дальность связи [3-5]:

- блокирование (подавление слабого сигнала сильным);
- перекрестные искажения;
- взаимная модуляция (интермодуляционные искажения);
- комбинационный свист;
- амплитудно-фазовая конверсия.

На практике обеспечение большого динамического диапазона РПУ с малыми нелинейными искажениями представляет собой сложную научно-техническую задачу, часто связанную с существенными аппаратными и экономическими издержками. В основном эта задача решается

эмпирическим путем, и строгого научного ее решения нет [1–6].

Таким образом, целью данной статьи являются обзор существующих способов борьбы с нелинейными явлениями в РПУ и рассмотрение целесообразности применения кусочно-линейного «ограничителя-корректора» в составе РПУ для борьбы с нелинейными явлениями.

Основная часть. В основе построения РПУ различного назначения и класса лежат общие принципы. В настоящее время наибольшее распространение получила супергетеродинная структура приемника с двойным, тройным и более преобразованиями частоты (рисунок 2), которая обеспечивает высокую и одинаковую избирательность практически во всех диапазонах частот.

Структурно РПУ состоит из преселектора, тракта преобразования частоты (ТПЧ) и тракта низкой частоты (ТНЧ).

Преселектор – часть схемы приемника, состоящая из входного устройства (ВУ) и усилителя радиочастоты (УРЧ), обеспечивающая предварительное усиление и избирательность по принимаемому сигналу при работе в широком диапазоне частот.

ВУ – предназначено для согласования характеристик антенны с УРЧ, а также для обеспечения предварительной фильтрации сигнала от помех (ослабление помех на входе первого усилительного прибора и на частотах побочных каналов приема).

УРЧ – является основным блоком, который обеспечивает усиление сигнала до величины, необходимой для работы первого смесителя ($K_{yc} = 6...10\text{дБ}$, K_{yc} – коэффициент усиления), предназначен для обеспечения предварительной избирательности принимаемых сигналов по частоте, а также является основным элементом, отвечающим за обеспечение чувствительности РПУ.

ТПЧ – в зависимости от числа преобразований включает тракты первой, второй и т. д. промежуточных частот, последний из которых является трактом основной промежуточной частоты (ТОПЧ). ТПЧ является основным элементом, отвечающим за избирательность РПУ.

ТОПЧ предназначен для обеспечения основной избирательности приемника по соседним каналам приема. Также в тракте реализуется основное усиление сигнала, необходимое для нормальной работы детектора. Основная промежуточная частота выбирается, как правило, низкой для обеспечения более узких полос пропускания фильтров.

ТНЧ – обеспечивает необходимое усиление, иногда избирательность по низкой частоте.

Как было отмечено выше, при воздействии на вход РПУ слабого полезного сигнала чувствительность и избирательность обеспечивается за счет преселектора и ТПЧ соответственно. Однако, в случае, когда на вход РПУ воздействует сложный сигнал, который можно представить как сумму полезного сигнала и мешающей помехи (либо помех), возникают различные нелинейные явления, при этом наиболее опасными из них являются [5, 6]:

- блокирование;
- перекрестная модуляция;
- взаимная модуляция (интермодуляционные искажения).

Блокирование – это изменение коэффициента усиления каскада и, как следствие, уровня сигнала и отношения С/Ш на его выходе под действием внеполосной немодулированной помехи.

На вход РПУ совместно воздействует полезный сигнал и помеха $U(t) = U_c(t) + U_p(t) = U_c \cos \omega_c t + U_p \cos \omega_p t$, $\omega_c \neq \omega_p$ (1)

В случае когда на вход РПУ воздействует малый полезный сигнал $U_c \cos \omega_c t$, он полностью ущемляется на линейном участке проходной характеристики РПУ (его отдельных блоков). При этом данный участок проходной характеристики обладает высокой крутизной (высоким K_{yc}), а рабочая точка находится в середине этого участка.

Но в случае когда на вход РПУ воздействует мощный внешний мешающий (немодулированный) сигнал (помеха) $U_p \cos \omega_p t$, это эквивалентно внесению в полезный сигнал постоянной оставляющей, которая изменяется в широких пределах, заставляя смещаться рабочую точку вправо или влево относительно

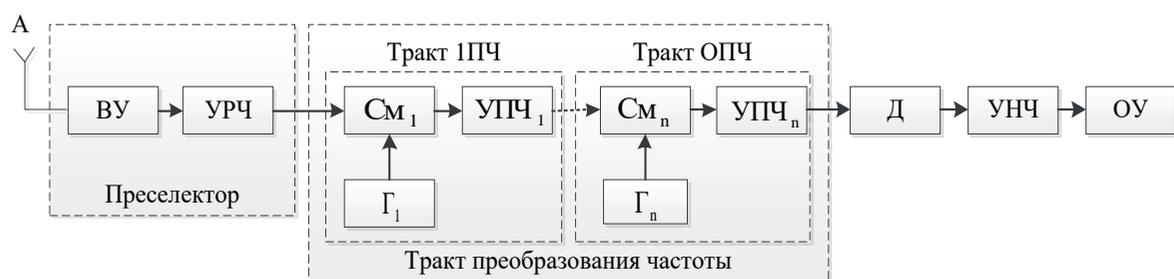


Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема РПУ супергетеродинного типа

ее первоначального значения. Смещаясь вверх или вниз по проходной характеристике, рабочая точка выходит за пределы линейного участка и попадает в зону ограничения, где крутизна характеристики вначале резко уменьшается (падает K_{yc}), а затем полезный сигнал блокируется (будет полностью подавлен).

Эффект блокирования проявляется тем сильнее, чем выше амплитуда внешнего мешающего сигнала (помехи). Характерной особенностью эффекта блокирования является то, что на практике появление внешней помехи зарегистрировать крайне сложно, так как помеха внеполосная, а эффект ее воздействия для приема зачастую является губительным.

Перекрестная модуляция – это результат одновременного воздействия на каскады тракта сигнала и модулированной помехи, в результате чего происходит перенос модуляции с мешающего колебания на полезный сигнал.

Пусть на вход РПУ поступает сложный сигнал, представляющий собой сумму полезного сигнала с частотой ω_c и, например, амплитудно-модулированной помехи, где ω_p – несущая частота помехи, Ω_p – частота модуляции $U_p(t)$.

$$U(t) = U_c(t) + U_p(t) = U_c \cos \omega_c t + U_p (1 + m_p \cos \Omega_p t) \cos \omega_p t \quad (2)$$

После взаимодействия полезного сигнала и модулированной помехи полезный сигнал становится модулированным по закону модуляции помехи так, как если бы его модуляция осуществлялась в передатчике канала.

Характерными особенностями перекрестной модуляции являются:

- отсутствие поражения при прекращении модуляции помехи (т. е. эта помеха мультипликативна);
- отсутствие прямой связи поражения с частотой помехи (т. е., если помеха $\omega_c \pm \Omega_p$ попала в преселектор, то не имеет значения частота ω_p);
- влияние характеристик избирательности преселектора на поражение помехами (т. к. с повышением избирательности уровень помех падает).

В случае, когда полезный сигнал также модулированный, на выходе РПУ воспроизводятся два сообщения, что ухудшает отношение С/Ш. В случае интенсивной перекрестной модуляции прием сообщения зачастую становится невозможным.

Взаимная модуляция – в случае взаимодействия двух и более колебаний, образовывается некое третье колебание, которое воздействует на приемник на частоте сигнала или побочного канала.

Пусть на вход РПУ поступает полезный сигнал с частотой f_c и несколько помех с частотами f_{pi} .

$$U(t) = U_c(t) + U_{pi}(t) = U_c \cos 2\pi f_c t + U_p \cos 2\pi f_{p1} t + \dots + U_{pi} \cos 2\pi f_{pi} t \quad (3)$$

В результате прохождения такого сигнала через нелинейное устройство возникает сложный спектр интермодуляционных колебаний, состоящий из частот сигнала, помех, их гармоник и комбинационных частот. При совпадении одной или нескольких частот $mf_{p1} \pm kf_{p2} \pm nf_{p3} \pm \dots (m, k, n = 1, 2, 3, \dots)$ с частотой сигнала или побочного канала эти комбинации попадут в полосу пропускания приемника и будут усиливаться, как и принимаемый сигнал. Наибольшую опасность представляют интермодуляционные колебания с малыми значениями m, n, k , так как эти частоты расположены достаточно близко к частоте основного канала f_c . В частности, это интермодуляционные продукты (интермодуляция) 2-го и особенно 3-го порядка (интермодуляция 2-го порядка возникает при $f_{p1} \pm f_{p2} = f_c$. Интермоду-

ляция 3-го порядка возникает при $2f_{p1} \pm f_{p2} = f_c$,

$$f_{p1} \pm 2f_{p2} = f_c, f_{p1} \pm f_{p2} \pm f_{p3} = f_c).$$

В настоящее время известны различные способы борьбы с нелинейными явлениями [6, 7], позволяющие в той или иной степени осуществлять их подавление, а именно:

- увеличение избирательности преселектора для большего подавления помехи (прежде всего в ВУ). Для этого в ВУ применяют 2-контурные или многоконтурные фильтры;
- повышение линейности преселектора, а также уменьшение (или ограничение) его полосы пропускания;
- обеспечение минимально необходимого усиления во всех элементах преселектора. Это необходимо для того, чтобы не перегрузить смеситель большим уровнем входного сигнала. Если полезный сигнал на входе приемника значительно превышает уровень чувствительности, то его можно уменьшить до номинальной величины, одновременно уменьшив амплитуду помехи (для этого в ВУ устанавливают аттенюатор с дискретно-регулируемым загуханием);
- включение перед ВУ (иногда) предварительного фильтра для подавления излучения близко расположенных радиопередатчиков;
- обеспечение минимально необходимого усиления ТПЧ и ТОПЧ.

Все перечисленные способы борьбы позволяют уменьшать влияние нелинейных явлений, однако им присущи некоторые недостатки:

- применение фильтров с высокой избирательностью приводит к существенному усложнению и удорожанию фильтров;

– сложность схем, обеспечивающих линейность преселектора и уменьшающих его полосу пропускания (отсутствие строгого математического описания построения схем, задача решается эмпирическим путем);

– энергозатраты (потери в мощности сигнала при прохождении элементов тракта).

Таким образом, актуальной является задача разработки новых либо совершенствования существующих способов.

Для более эффективной борьбы с нелинейными явлениями предлагается ввести в состав РПУ «ограничитель-корректор». При этом ограничитель предназначен для предотвращения воздействия мощного внешнего мешающего сигнала (помехи) на тракт приема путем ограничения проходной характеристики РПУ (его отдельных блоков) по амплитуде. Корректор предназначен для линеаризации (коррекции) проходной характеристики в рамках ограниченного участка. Такому «ограничителю-корректору» присуще противоречие: ограничитель является сугубо нелинейным устройством и поэтому, ограничивая помехи, сам вызывает различные нелинейные эффекты, для компенсации которых и нужен корректор. Такое устройство может быть включено в состав, например, преселектора:

- последовательно с элементами преселектора;
- параллельно одному или нескольким (при их наличии) элементам преселектора;

– в цепь обратной связи (при ее наличии) одного или нескольких (при их наличии) элементов преселектора;

– комбинированные методы.

Каждый из приведенных вариантов обладает своими достоинствами и недостатками. Например, использование «ограничителя-корректора», включенного параллельно одному или нескольким элементам преселектора, а также в цепях обратной связи порождает взаимодействие сигнала и нелинейных продуктов различных порядков, прошедших цепь обратной связи.

Похожие устройства применяются в составе РПУ, однако предложенный «ограничитель-корректор» отличается от известных тем, что является кусочно-линейным и позволит оптимально задавать степень ограничения и коррекции в каждом конкретном случае.

Заключение. Дальнейшим направлением исследования является анализ и оценка эффективности применения «ограничителя-корректора», как одного из основных элементов, отвечающих за обеспечение минимального уровня нелинейных искажений и помех в РПУ, а также линеаризацию проходной характеристики тракта приема. На основании проведенного анализа будут выработаны предложения по разработке комплексной методики построения и применения «ограничителя-корректора». Предполагается, что выработанные предложения позволят повысить избирательность и линейность РПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллов, В.И. Гармонический анализ нелинейных устройств и трактов передачи сигналов в инфокоммуникациях: учеб.-метод. пособие / В.И. Кириллов, А.А. Пилюшко. – Минск: БГУИР, 2015. – 100 с.: ил.
2. Курочкин, А.Е. Конспект лекций по курсу «Радиоприемные устройства» для студентов специальностей: Радиотехника 39 01 01, Радиотехнические системы 39 01 02. – Минск, 2006.
3. Аржанов, В.А. Сравнительная оценка эффекта блокирования резонансных усилителей преселектора // Омский научный вестник. – 2009. – №2. – с. 231–234.
4. Румянцев, К.Е. Прием и обработка сигналов: М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 528 с. (С. 337–344).
5. Погорелов, А.А., Бортникер, В.Ю., Дворников, С.В., Пшеничников, А.В., Потехин, А.А. Радиоприемные устройства. – СПб.: ВАС, 2016. – 440 с.
6. Онищук, А.Г., Забеньков, И.И., Слюсарь, Н.М., Амелин, А.М. Радиоприемные устройства: учебное пособие для курсантов учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» М-во обороны Респ. Беларусь, Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск: Изд-во ВА РБ, 2005.
7. Чердынцев, В.А. Методы и устройства приема и обработки радиосигналов: учебное пособие / В.А. Чердынцев, И.Ю. Малевич, А.Е. Курочкин. – Минск, 2010.
8. Парфенов, В.И., Ужахова, Т.С. Повышение эффективности систем борьбы с импульсными помехами // Теория и техника радиосвязи. – 2009. – № 4. – с. 52–58.
9. Leng Tianjiu. Nonlinear characteristics and pre distortion modeling of a non memory RF power amplifier. 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI). 2017.

A review of scientific and technical literature devoted to nonlinear phenomena in radio receivers is carried out. A hypothesis has been put forward about the advisability of using a piecewise-linear "limiter-corrector" as part of a radio receiver to combat nonlinear phenomena.

Получено 26.11.2020.