

УДК 004

***МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ  
ИСТОЧНИКАМ ИСКАЖЕНИЯ СИГНАЛА В РАДИОСВЯЗИ***

***Морозов А.Д.,***

*студент 2 курса, ИБСТ*

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и  
информатики (ПГУТИ),*

*Самара, Россия*

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы борьбы с помехами, приводящими к искажению сигнала связи. Описаны различные типы помех, их особенности, степень воздействия на сигнал. Сделаны выводы об эффективности описанных методов.

**Ключевые слова:** сигнал радиосвязи, искажение сигнала, внешняя помеха, квазигармоническая помеха, импульсная помеха, флуктуационная помеха, потенциальная помехоустойчивость.

***METHODS OF IDENTIFICATION AND COUNTERACTION TO  
SOURCES OF DISTORTION OF A SIGNAL IN A RADIO  
COMMUNICATION***

***Morozov A.D.,***

*2nd year student, IBST*

*Povolzhskiy state University of telecommunications and Informatics (PHUTI),  
Samara, Russia*

**Abstract.** The article discusses methods of dealing with interference, leading to a distortion of the communication signal. Various types of interference, their features, the degree of impact on the signal are described. Conclusions about the effectiveness of the methods described.

**Keywords:** radio signal, signal distortion, external interference, quasi-harmonic interference, impulse interference, fluctuation interference, potential noise immunity.

## 1. Введение

Актуальность темы статьи обусловлена тем, что в настоящее время радиосвязь находит широкое применение в местах там, где нет стационарной и сотовой связи. Средства радиосвязи активно используются в горнодобывающей и нефтегазовой промышленности. В энергетическом комплексе радиосвязь необходима в процессе обслуживания электросетей. Не обходятся без радиосвязи и экстренные службы. Появление все большего количества источников излучений привело к резкому росту плотности помех, что вызывает необходимость противодействия источникам искажения сигнала радиосвязи.

## 2. Влияние различных типов помех на сигнал радиосвязи

Радиорелейная связь представляет собой наиболее экономичный и быстрый способ организации радиопередачи информационно-транспортных потоков на большие расстояния. Если раньше такая связь обеспечивалась аналоговыми магистральными линиями, то сегодня их сменили современные цифровые радиорелейные станции (ЦРРС), которые обладают высокой пропускной способностью. Работа ЦРРС осуществляется в диапазоне частот

3,4-11,7 ГГц, обладающих пропускной способностью 155 Мбит/с и более. Для передачи сигналов используются многопозиционные виды модуляции.

Происходящие в канале связи физические процессы определяют изменения, которые происходят с сигналом на пути от передатчика к приемнику. Сигнал испытывает воздействие аддитивных помех. Такими помехами для низкочастотных (НЧ) и среднечастотных (СЧ) систем являются сигналы соседних по частоте радиостанций, атмосферные и промышленные шумы. Для ультравысоких (УВЧ) и сверхвысоких (СВЧ) радиорелейных систем существенную роль играют собственные внутренние шумы приемных устройств. В системах космической радиосвязи к собственным внутренним шумам добавляются шумы, имеющие космическое происхождение. Если происходит нарушение правил электромагнитной совместимости, возможно влияние других радиосредств, работающих в совмещенном диапазоне частот.

На сигнал в канале также оказывают действие мультипликативные помехи, возникшие в результате изменений параметров канала как четырехполюсника.

Аддитивные и мультипликативные помехи, воздействуя совместно, определяют искажение сигнала. На величину искажений влияет интенсивность помех и помехоустойчивые свойства системы связи.

Любым каналом связи вносятся те или иные искажения. Однако передача будет считаться неискаженной, если искажения, вносимые системой связи, не превысят установленные нормы. Главное требование к обработке сигнала в селективном тракте радиоприемника – необходимость сохранения информации в неискаженном виде. Если сигналы модулированные, данное требование будет заключаться в необходимости сохранения формы модулирующей функции сигнала [2].

Действие внешних помех представляет собой одну из причин искажения информации. Аддитивные помехи подразделяют в зависимости от их электрических характеристик на следующие классы: квазигармонические, импульсные и флуктуационные помехи. Помехи, которые по свойствам невозможно определить к какому-либо классу относятся к помехам промежуточного типа.

**Квазигармоническая помеха** может быть представлена функцией

$$u_p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \theta_p) \quad (1)$$

Амплитуда, частота и фаза являются медленно меняющимися функциями времени.

**Импульсной помехой** называется хаотическая или регулярная последовательность импульсов, если она соответствует следующим условиям:

- по длительности импульс помехи будет меньше длительности переходного процесса в селективном тракте приемника;
- временные интервалы соседних импульсов помехи будут превышать длительность переходного процесса в селективном тракте.

Если импульсная помеха действует на входе радиотракта, то на его выходе будет возникать высокочастотный импульс, который действует после прекращения помехи. Это происходит потому, что радиотракт представляет собой энергоемкую систему, сначала запаасающую энергию во время действия импульсной помехи, а затем отдающую ее. Частота заполнения импульса соответствует резонансной частоте радиотракта, на форму огибающей влияет вид АЧХ радиотракта. Длительность импульса обратно пропорциональна, а максимальное значение прямо пропорционально полосе пропускания радиотракта.

В результате совместного действия на радиотракт гармонического сигнала и импульсной помехи может возникнуть паразитно амплитудная модуляция (ПАМ) и паразитно частотная модуляция (ПЧМ) гармонического сигнала. Колебания сигнала и помехи на выходе радиотракта могут обладать разными фазовыми соотношениями (от синфазных до противофазных) в зависимости от того, когда наступает момент прихода помехи. Мощные помехи обычно вызывают увеличение амплитуды совместного колебания [4].

Как модель флуктуационной помехи на входе селективного тракта обычно может приниматься белый шум. Это справедливо при условии, если ширина спектра помехи будет существенно превышать полосу пропускания приемника, а неравномерность спектра по частоте будет небольшой. Флуктуационная помеха вызывает ПАМ и ПЧМ сигнала.

Если сигналы и помехи невысокого уровня, можно считать селективный тракт приемника линейным четырехполюсником и тогда при анализе использовать принцип суперпозиции. Пересчет сигнала и помехи осуществляется на выход селективного тракта независимо, после чего суммируются. Чтобы оценить величину искажения информации помеха на выходе пересчитывается в изменение информационного параметра сигнала.

### **3. Методы борьбы с флуктуационными помехами**

#### *1. Оптимальный прием*

Флуктуационная помеха является случайным процессом. Она неизбежно присутствует во входном колебании приемника, так как одна из причин ее возникновения – внутренний шум приемника, который создается его элементами. Флуктуационный характер также имеют некоторые виды внешних помех.

В основе методов борьбы с флуктуационной помехой общая теория оптимальных методов радиоприема. Оптимальным приемником является приемник, который обеспечивает минимальные искажения сообщения помехой.

Потенциальная помехоустойчивость – помехоустойчивость оптимального приемника. Выбор критерия оптимизации осуществляется согласно задаче радиоприема (измерение информационного параметра, обнаружение цели, воспроизведение сообщения и т. д.). Данный критерий определяет алгоритм обработки соединения сигнала и помех в приемнике. Может быть несколько оптимальных алгоритмов. Могут также использоваться квазиоптимальные алгоритмы, которые обеспечивают помехоустойчивость, близкую к оптимальной.

### *2. Прием дискретных сигналов известной формы*

Во время приема дискретных сигналов известной формы, которые используются при передаче сообщений, критерием оптимальности может выступать минимальная вероятность ошибки воспроизведения сообщения. Данному критерию будет соответствовать либо максимум апостериорной вероятности того, что в сочетании сигнала и помехи есть определенный дискретный сигнал известной формы, либо максимум функции правдоподобия. Указанные критерии и определяют алгоритм обработки сигнала и помех в приемнике [4].

### *3. Прием дискретных сообщений*

Если предположить, что за время  $T$  будет осуществляться передача одного из  $N_s$  сигналов  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , энергии которых одинаковы, а колебание на входе приемника представляет аддитивную смесь сигнала и белого гауссова шума  $\xi(t)$ :

$$y(t) = S_j(t) + \xi(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (2)$$

Допустим, в приемнике известна форма всех передаваемых сигналов  $S_j$ ,  $j = \overline{1, N}$ , а приемник синхронизирован, известен интервал  $[0, T]$  появления каждого сигнала, частота, а также фаза несущей. Таким образом, задача приемника будет заключаться в необходимости за время  $T$  принять решение, какой из ансамбля  $N_s$  сигналов  $S_j(t)$  был передан, на основании только формы колебания, принятой на заданном интервале.

#### 4. Прием непрерывных сообщений

Сигнал, имеющий длительность  $T$ , передает непрерывное сообщение  $X$  :

$$y(t) = u_x(t) + \xi(t) \quad (3)$$

Самая полная информация относительно сообщения будет дана идеальным приемником, вычисляющим апостериорное распределение вероятностей  $P(x/y)$  сообщения  $X$ . Приемник, который определяет наиболее вероятное значение сообщения  $X_H$ , называют приемником Котельникова [4]. Чтобы вычислить наиболее вероятное значение сообщения нет необходимости в расчете апостериорного распределения вероятностей. Чаще всего используют достаточную статистику (функция правдоподобия, корреляционный интеграл). Такой приемник называют достаточным.

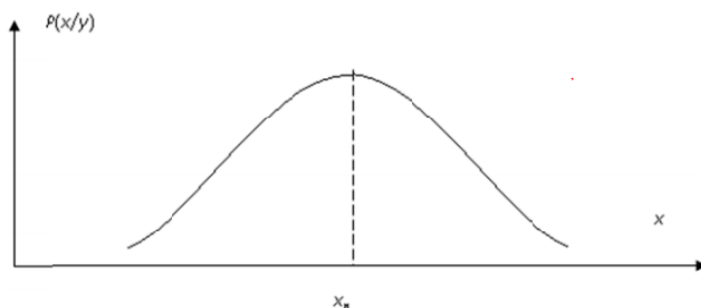


Рисунок 1 - Апостериорное распределение вероятностей

Взаимно-корреляционные устройства (коррелятор, согласованный фильтр) позволяют обеспечить наивысшее достижимое отношение сигнал/шум на выходе, которое равно

$$q_{\text{вых}} = \frac{u_{\text{вых}}(T)}{\sigma_{\text{вых}}(T)} = \sqrt{\frac{2E}{N_0}} \quad (4)$$

Где  $E$  – является энергией сигнала,  $N_0$  – спектральной плотностью мощности помехи на входе взаимно-корреляционного устройства.

### *5. Квазиоптимальная обработка*

Квазиоптимальная обработка представляет собой упрощенную обработку сигнала, сохраняющую помехоустойчивость, которая близка к потенциальной. Используется в процессе обработки простых сигналов. Квазиоптимальный фильтр – является фильтром с заданной АЧХ, с полосой пропускания, обеспечивающей максимальное отношение сигнал/шум на выходе фильтра. Если значительно упрощается схема фильтра, то потери в помехоустойчивости будут невелики [4].

К примеру, если осуществляется замена фильтра, который согласован с одиночным радиоимпульсом, квазиоптимальным фильтром в виде обычного колебательного контура с оптимальной полосой пропускания  $\Pi = 0,4/t_{\text{и}}$ , уменьшение отношения сигнал/шум составит всего 0,88 дБ. Автокорреляционная обработка: вместо опорного сигнала в корреляторе используется входная смесь сигнала с шумом.

$$u_{\text{вых}} = \int_0^T y(t)u_x(t)dt \approx \int_0^T y^2(t)dt \quad (5)$$

Коррелятор будет заменен квадратичным детектором, а вместо интегратора со сбросом поставлен фильтр низких частот. Потери в



помехоустойчивости будут тем меньше, чем будет выше отношение сигнал/шум на входе [5].

#### *6. Прием непрерывных сигналов неизвестной формы*

Это случай, когда информационное сообщение  $x(t)$  осуществляет модуляцию параметров несущей радиосигнала (амплитуды, частоты или фазы). Обеспечение оптимального приема будет осуществляться неискажающим высокочастотным трактом и оптимальным демодулятором (рис. 2).



Рисунок 2 - Оптимальный приемник непрерывных сигналов неизвестной формы

#### **4. Методы борьбы с импульсными помехами**

Используют следующие способы, подавляющие импульсные помехи (ИП): частотную селекцию; амплитудную селекцию; амплитудно-частотную селекцию; частотно-фазовую селекцию [5].

Основу частотной селекции составляет то, что спектр сигнала является ограниченным, а спектр ИП практически бесконечным. Чем уже будет полоса пропускания радиотракта, тем будет меньше максимальное значение ИП, но длительность помехи при этом будет возрастать, площадь помехи сохраняется.

Основу амплитудной селекции составляет использование в радиотракте приемника ограничителя. Обычно импульсная помеха во много раз выше уровня сигнала. В этом случае она может быть частично подавлена в ограничителе. При амплитудной селекции площадь импульсной помехи уменьшается, но при этом помеха по уровню будет оставаться равной сигналу.

Реализация амплитудно-частотной селекции осуществляется в цепи со структурой ШОУ: широкополосный фильтр – ограничитель – узкополосный фильтр (рис. 3).



Рисунок 3 – Система ШОУ

Частотная селекция в системе ШОУ для борьбы с импульсной помехой осуществляется фильтром, амплитудная – ограничителем. Чем шире полоса  $\Delta f_1$ , тем меньше длительность импульсной помехи на выходе ограничителя и тем сильнее будет подавляться ИП в узкополосном фильтре [5].

Кроме системы ШОУ в борьбе с импульсными помехами может быть использована система ШПУ (широкополосный фильтр Ш – прерыватель П – узкополосный фильтр У).

Прерывателем (рис. 4) обеспечивается размыкание цепи на период действия помехи; для управления прерывателем создается цепь управления, которая состоит из селектора помехи СП и устройства управления ключом УК.

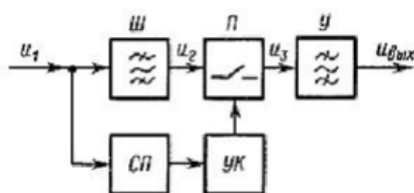


Рисунок 4 - Система ШПУ

Реализация частотно-фазовой селекции осуществляется в компенсационных системах, в которых для борьбы с ИП кроме основного канала создается дополнительный канал компенсации. На выходе основного канала (рис. 5) действуют сигнал и помеха, на выходе канала помехи (канала

компенсации) происходит искусственное воссоздание помехи, которая в цепи вычитания ВУ компенсирует помеху на выходе основного канала [5].



Рисунок 5 - Схема компенсации помехи

Спектр импульсной помехи шире спектра сигнала. Спектральная плотность и фаза импульсной помехи в результирующей полосе пропускания радиотракта, а также в прилегающих к ней полосах частот являются практически одинаковыми. Это дает возможность оценить спектральную плотность и фазу помехи в канале помехи и воссоздать спектр и фазу импульсной помехи в полосе пропускания РПУ. Компенсация помех может быть осуществлена до детектирования и после него.

## 5. Заключение

Рассмотренные в статье методы борьбы с флуктуационными и импульсными помехами позволяют сделать следующие выводы.

Полное устранение флуктуационной помехи является невозможным, однако оптимальный приемник обеспечивает наименьшее искажение сообщения.

Идеальный приемник, позволяет вычислить апостериорное распределение, содержащее максимально полную информацию о сообщении. При практическом применении обычно используются достаточные приемники, вычисляющие по достаточной статистике наиболее вероятное значение сообщения. Также, достаточно широко используются корреляционные приемники, которые вычисляют достаточную статистику с

помощью корреляторов или согласованных фильтров. Прием простых сигналов обеспечивается квазиоптимальной обработкой. Для оптимального приема непрерывных сигналов неизвестной формы используется неискажающий высокочастотный тракт и оптимальный демодулятор.

При подавлении импульсных помех способом частотной селекции, несмотря на сужение полосы пропускания радиотракта и уменьшение максимального значения импульсной помехи, будет возрастать длительность помехи.

Способ амплитудной селекции позволяет уменьшить площадь импульсной помехи, однако помеха по уровню останется равной сигналу.

К наиболее эффективным относят способы подавления импульсных помех, в которых сигнал и помеха различаются не по одному, а по нескольким признакам.

Так, при амплитудно-частотной селекции на выходе широкополосного фильтра начинается действие сигнала и ВЧ-импульса помехи, с помощью ограничителя уровень помехи уменьшается до уровня сигнала. Подавление ИП в узкополосном фильтре не дает ей нарасти до своего максимального значения, что приводит к тому, что ее уровень становится меньше уровня сигнала.

Использование частотно-фазовой селекции, реализация которой осуществляется в компенсационных устройствах, предполагает создание дополнительного канала для борьбы с ИП. Это позволяет обеспечить подачу сигнала и помехи с выхода основного канала и помехи с выхода дополнительного канала на цепь вычитания, на выходе которой происходит компенсирование помехи.

### **Библиографический список:**

1. Бутенко В. В. Направления и тенденции развития новейших радиотехнологий на период до 2025 года. Ассоциация пользователей национальным радиочастотным ресурсом. Москва, 2015. – с. 128.
2. Голиков А. М. Системы радиосвязи и сети телерадиовещания: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2015. – с. 326.
3. Ионов С. В. Информационные технологии. Системы, средства связи и управления: Информационно-аналитический сборник; ОАО «Концерн «Созвездие». – Воронеж, 2012. – № 1. – с. 166.
4. Макаренко С. И. Системы связи: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов / С. И. Макаренко, В. И. Сапожников, Г. И. Захаренко, В. Е. Федосеев; под общ. ред. С. И. Макаренко. - Воронеж, издание ВАИУ, 2011. – с. 285.
5. Никитин Н. П. Устройства приема и обработки сигналов. Системы управления приемником. Устройства борьбы с помехами: учеб. пособие – Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2014. – с. 88.
6. Ополовкин В. Е. Средства и организация связи: монография; Часть 1. Основы передачи сообщений, средства проводной связи – М.: Изд-во МО РФ, 2007. - 144 с.: ил. - Библиогр.: с. 141-142.
7. Панин Д. Н., Михайлов В. И. Исследование блока полосового и режекторного фильтров на основе операционных усилителей с пьезоэлектрическим резонатором: Сборник трудов XXIV Международной научно-технической конференции (17-19 апреля 2018 г.). В 5-и томах. – Воронеж: ООО «Вэлборн», 2018, - с. 2230.

*Оригинальность 85%*