

УДК 621.396

ПРОХОЖДЕНИЕ СМЕСИ РАДИОИМПУЛЬСА И УЗКОПОЛОСНОГО ШУМА ЧЕРЕЗ ФАЗОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА БАЗЕ ФАЗОВОГО ДЕТЕКТОРА

А.Г. Ильин, А.С. Хафаджа

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Российская Федерация, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Аннотация. Быстрое развитие систем передачи цифровой информации с использованием радиосигналов привело к необходимости совершенствования приемных систем. Особенно это актуально при использовании метода приема сигнала в районах, удаленных от городов и не имеющих развитой структуры интернет-соединения. Однако задача цифровой передачи весьма сложна. Когда отношение сигнал/шум низкое, актуален поиск новых методов для решения данной проблемы. Известно, что суть задачи обнаружения заключается в том, чтобы принять решение о наличии или отсутствии полезного сигнала на фоне помех и шумов, избавиться от которых принципиально невозможно. Доказано, что за счет использования структурных отличий смеси полезного сигнала и шума и просто узкополосного шума, можно существенно увеличить достоверность приема цифрового сигнала в области малых отношений сигнал/шум. В работе рассмотрены варианты построения детекторов на базе фазового детектора, а также приведены временные диаграммы функционирования. В данной статье представлены результаты математического моделирования прохождения смеси радиоимпульса и узкополосного шума через фазовый детектор.

Ключевые слова: фазовый детектор, помехоустойчивость, радиоимпульс, узкополосный шум.

Введение

Вопросы обнаружения полезных сигналов на фоне помех решаются во многих областях науки и техники: в физике, радио- и оптической локации и связи, радионавигации, радиоастрономии, автоматическом управлении, гидроакустике, сейсмологии и др.

Основной и наиболее трудной задачей при проектировании радиоприемных систем является проблема помехоустойчивости, т.е. решение задачи нахождения оптимальных способов приема сигналов при воздействии шумов помех. Это объясняется тем, что одновременно с улучшением характеристик приемников увеличивается уровень помех, и повышаются требования к качеству воспроизведения сигнала.

Поэтому поиск новых подходов к повышению помехоустойчивости приемных устройств различного назначения является своевременным и актуальным. В данной работе рассматривается возможность повышения помехоустойчивости приемника при приеме радиоимпульса при малом отношении сигнала к шуму за счет использования дополнительных информационных признаков.

1. Основная часть статьи

Известно, что современные радиоприемные системы являются по большей части узкополосными, поэтому исследованию возможности повышения помехоустойчивости вышеуказанных систем, следует уделять особое внимание [1-4]. В работе [5] рассмотрена возможность повышения помехоустойчивости приемных устройств за счет использования амплитудно-фазового преобразования смеси сигнала и шума на выходе квазиоптимального

линейного фильтра и амплитудно-частотного преобразования смеси сигнала и шума на входе квазиоптимального линейного фильтра. Результаты исследований структуры узкополосных шумов и ее изменение при воздействии гармонического сигнала с различной амплитудой рассмотрены в работе [5]. Показано, что шумы на выходе узкополосного линейного фильтра по своей структуре соответствуют амплитудно-модулированному сигналу с подавленной несущей. А смесь гармонического сигнала и шума при больших отношениях сигнала к шуму имеет структуру амплитудно-модулированного колебания. Таким образом, шум и смесь сигнала и шума на выходе узкополосного фильтра имеют различия по структуре сигналов. Показана возможность использования структурных различий шума и смеси сигнала и шума для повышения помехоустойчивости приемных устройств [6-8].

Однако преобразование смеси сигнала и шума с использованием преобразователя фазы не является единственно возможным техническим решением.

Целью настоящей работы является исследование прохождения узкополосного шума и смеси узкополосного шума и сигнала через фазовый детектор.

2. Математическое моделирование двухканального приемного устройства с использованием в качестве нелинейного преобразователя фазового детектора

Исследование проводилось методами математического моделирования при помощи программного пакета MATLAB. Математическая модель исследуемой системы для этого случая представлена на рис. 1.

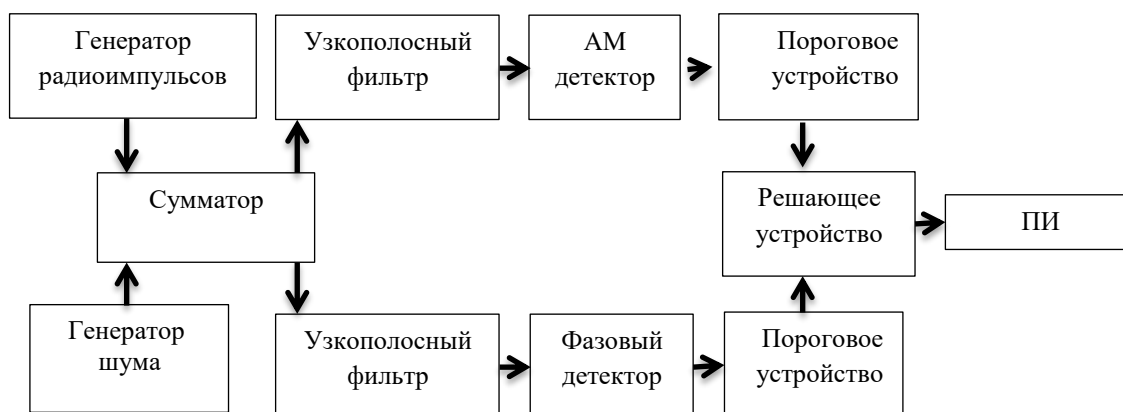


Рис.1. Структурная схема математической модели для исследования прохождения смеси сигнала и шума через каскады приемного устройства

На выходе фильтра при отсутствии сигнала получаем искомый гауссовский узкополосный случайный процесс. Структура узкополосного шума, как показано в работе [5], соответствует сигналу с подавленной несущей или сигналу биений. Известно, что особенностью сигнала биений является наличие точек, в которых дисперсия частоты имеет бесконечное значение [9]. В этих точках амплитуда огибающей узкополосных шумов равна нулю, значение фазы скачком изменяется на 180 градусов [9,10]. При наличии полезного сигнала на входе сумматора и на выходе полосового фильтра, как следует из работы [9], имеем аддитивную смесь полезного сигнала и узкополосного шума. Смесь полезного сигнала и узкополосного шума, как показано в работе [5], при малых отношениях сигнала/шум ($C/\Pi < 3$) имеет структуру сигнала с подавленной несущей. При больших отношениях сигнал/шум ($C/\Pi > 3$) структура узкополосного процесса на выходе линейного узко-

полосного фильтра приближается к структуре амплитудно-модулированного сигнала. Различие в структурах выходных узкополосных процессов при наличии и отсутствии полезного сигнала, как и показано в работе [5], может быть выявлено при помощи нелинейных методов обработки.

3. Моделирование прохождения радиоимпульса в двухканальном приемнике в среде Matlab/Simulink

Рассмотрим вопрос прохождения смеси узкополосного шума и полезного сигнала через фазовый детектор. Для этой цели в соответствии со структурной схемой экспериментальной установки, представленной на рис.1, была создана математическая модель при помощи пакета программ (Simulink MATLAB) (рис.2). В качестве полезного сигнала использовался радиоимпульс, который формировался при помощи стандартного генератора из библиотеки пакета программ (Simulink MATLAB). Помеха в виде "белого" шума также была сформирована специальным генератором из пакета программ. Для получения узкополосного процесса, радиоимпульс и "белый" шум смешивались при помощи сумматора, после чего аддитивная смесь полезного сигнала и широкополосного шума подавалась на квазиоптимальные узкополосные линейные фильтры. На выходе фильтров, в силу линейности преобразования, имеем смесь узкополосного шума и полезного сигнала. Установка является двухканальной, т.е. сигнал с выхода сумматора подается на канал, состоящий из линейного фильтра и амплитудного детектора, и канал, состоящий из аналогичного линейного фильтра и фазового детектора. Это сделано для того, чтобы иметь возможность исследовать помехоустойчивость реального приемника, прохождение смеси сигнала и шума через фазовый детектор, а также исследовать возможности повышения помехоустойчивости реального приемника за счет введения в схему дополнительного канала с нелинейной обработкой.

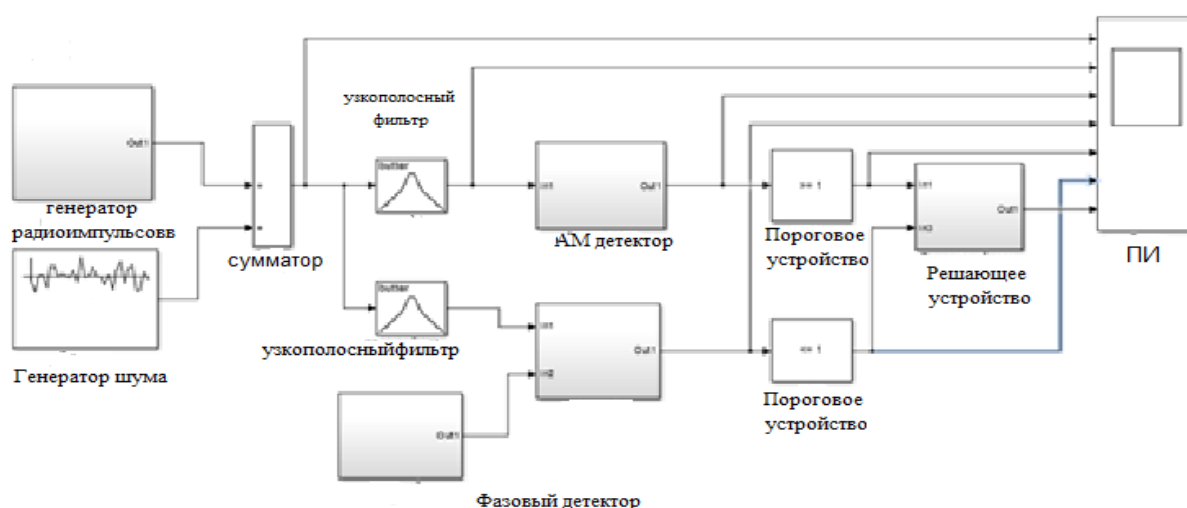


Рис.2. Структурная схема математической модели, реализованная с использованием пакета программ (Simulink MATLAB)

4. Результаты исследования

Результаты исследования прохождения смеси сигнала и узкополосного шума через каскады приемного устройства с амплитудным детектором и дополнительным каналом с фазовым детектором приведены на рис. 3.

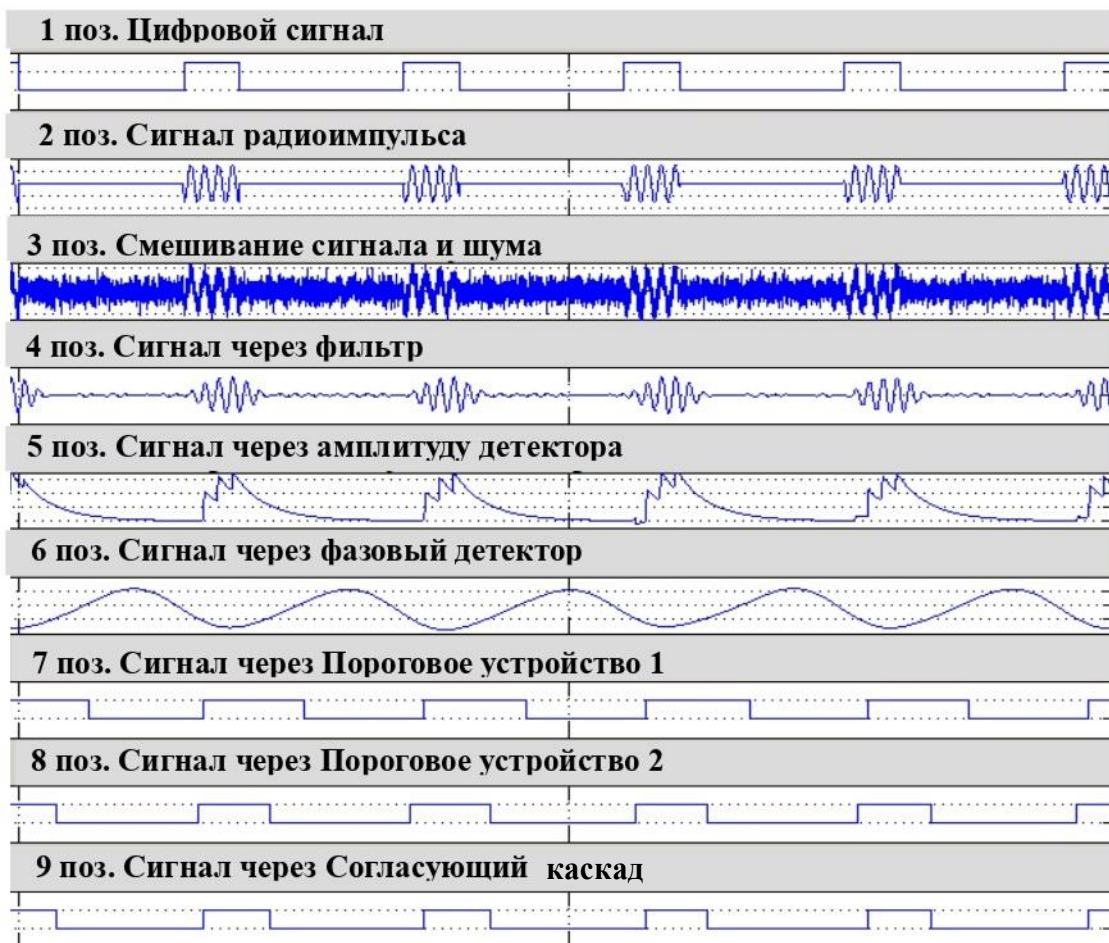


Рис.3. Результаты экспериментальных исследований

С генератора видеоимпульсов (рис.3, поз.1) сигнал поступает на амплитудный модулятор (рис.3, поз.2) и сумматор, где смешивается с «белым» шумом (рис.3, поз.3). Далее полученная аддитивная смесь широкополосных шумовых флуктуаций и полезного радиосигнала в виде радиоимпульса поступает на узкополосные фильтры в основной и дополнительный каналы. Поскольку узкополосные фильтры полностью идентичны и согласованы с параметрами узкополосного полезного сигнала, на выходе обоих фильтров появятся аддитивные смеси узкополосных шумов и радиоимпульсов (рис.3, поз.4). Поскольку первый канал приемной системы выполнен по общепринятой схеме, то результат амплитудного детектирования вполне предсказуем и позволяет сделать заключение о корректности работы математической модели (рис.3, поз.5). Если отношение сигнал/шум на входе приемника существенно больше трех, то вероятность достоверного приема сигнала достаточно высока. На рис.3 (поз.6) показан результат детектирования аддитивной смеси узкополосного шума и полезного сигнала. Как видно из графика (рис.3, поз.6), при наличии полезного сигнала структура аддитивной смеси сигнала и шума соответствует структуре квазигармонического амплитудно-модулированного колебания [1], в котором, как известно, начальная фаза изменяется медленно. Медленному изменению фазы соответствует малая амплитуда сигнала

на выходе фазового детектора, что может использоваться в качестве дополнительного информационного признака при решении вопроса обнаружения радиоимпульса. На рис.3 (поз.7 и поз.8) приведены сигналы на выходах пороговых устройств в основном и дополнительном каналах соответственно. Следует отметить, что сигнал на выходе порогового устройства основного канала с амплитудным детектором, выдает сигнал высокого уровня при превышении порога (рис.3, поз.7). Порог в данном случае выбирается согласно общепринятой теории и выбранного критерия оптимальности. Сигнал высокого уровня на выходе порогового устройства дополнительного канала с фазовым детектором напротив появляется при понижении уровня входного сигнала относительно выбранного порога (рис.3, поз.8). Согласующий каскад в данном случае является решающим устройством. Положительное решение о наличии сигнала принимается в случае совпадения высоких уровней сигнала на выходах обоих пороговых устройств (рис.3, поз.9).

Как видно из представленных результатов, в случае присутствия полезного сигнала на входе приемника, девиация фазы процесса на выходе линейного фильтра уменьшается. Это хорошо заметно по падению напряжения на выходе фазового детектора. Таким образом, уменьшение напряжения на выходе фазового детектора может быть использовано в качестве информационного признака, по которому косвенно можно принимать решение о наличии или отсутствии сигнала на входе приемного устройства. Однако следует отметить, что относительно плавное изменение напряжения на выходе фазового детектора не позволяет точно определить начало и конец радиоимпульса. Поэтому использование канала с фазовым детектором без основного канала приема с амплитудным детектором и пороговым устройством не позволит существенно улучшить характеристики приемных устройств.

По нашему мнению, помехоустойчивость большинства приемных устройств может быть существенно повышена за счет введения в схему дополнительного канала с фазовым детектором. Схема предлагаемого технического решения представлена на рис.2. Поскольку результаты, приведенные на рис. 3, являются результатами математического моделирования, то можно сделать вывод, что двухканальные приемные системы могут быть реализованы в виде цифровой приемной системы.

5. Заключение

Как известно, реальный приемник для обнаружения радиоимпульса в смеси сигнала и шума состоит из последовательно включенных блоков: квазиоптимальный линейный фильтр - амплитудный детектор - пороговое устройство. При малых отношениях сигнал/шум вышеуказанное устройство не всегда может обеспечить заданную вероятность ложной тревоги, в том случае если в качестве критерия оптимальности выбран критерий Неймана-Пирсона.

Для уменьшения вероятности ложной тревоги, в схему включен дополнительный канал с фазовым детектором и пороговым устройством. В том случае, если на выходе фазового детектора имеется напряжение ниже порогового, решающее устройство блокирует прохождение сигнала с выхода порогового устройства основного канала. Тем самым блокируются ложные решения, принятые основным пороговым устройством по фазовому признаку [11].

Как показали результаты математического моделирования, применение дополнительного фазового канала позволяет уменьшить вероятность ложной тревоги в 1.8 раза.

Список литературы

1. Khafaga, Ali S. Mahdi. Performance Analysis and Comparison of narrowband noise passing through filter types (Elliptic) and (Butterworth) / Ali S. M. Khafaga // Journal of Physics: Conference Series, 2021, vol. 1973, no. 1. DOI: 10.1088/1742-6596/1973/1/012009
2. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов - М.: Советское радио, 1966. - 680 с.
3. Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход / В.И. Борисов, В.М. Зинчук - М.: РадиоСофт, 2008. - 260 с.
4. Голубев, В.Н. Оценка помехозащищенности главного тракта радиоприемника на основе использования функции распределения вероятностей уровней одиночных помех / В.Н. Голубев, В.Г. Зимогляд // Радиотехника. 1986. № 10. С. 2205-2208.
5. Ильин, А.Г. Повышение помехоустойчивости и пропускной способности радиотехнических и оптоэлектронных систем на базе амплитудно-фазового преобразования сигнала и шумов: монография/ А.Г. Ильин. - Казань: Изд. КГТУ им. А.Н. Туполева, 2005. - 192 с.
6. Ильин, А.Г. К вопросу помехозащищенности реальных приемных устройств/ А.Г. Ильин, Г.И. Ильин, В.С. Баина // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, 2013. - № 4. - С. 143-146.
7. Ilyin, A.G. Modeling the Narrowband and Wideband Noise at the Output of Nonlinear Converters / A.G. Ilyin, A.S.M. Khafaga, V. Yunusova // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2021 IEEE. URL: DOI: 10.1109/IEEE-CONF51389.2021.9416064.
8. Баскаков, С.И. Радиотехнические пени и сигналы / С.И. Баскаков - М.: Высшая школа, 1983. - 536 с.
9. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника/ В.И. Тихонов. - 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 1982. — 624 с.
10. Баскаков, С.И. Радиотехнические пени и сигналы: учебник / С.И. Баскаков. - М.: Высшая школа, 1983. - 536 с.
11. Ильин, А. Г., Хафаджа, А. С. Моделирование прохождения смеси узкополосных шумов полезного сигнала через фазовый детектор: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Перспективы и технологии развития в области технических наук» 25 февраля 2017г., Нижний Новгород, Вып. II, 2017. – С.24-26.

PASSAGE OF A MIXTURE OF RADIO PULSES AND NARROW-BAND NOISE THROUGH A PHASE CONVERTER BASED ON A PHASE DETECTOR

A.G. Ilyin, A.S. Khafaga

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI
10, K. Marx, st., Kazan, 420111, Russian Federation

Abstract: The rapid development of digital information transmission systems using radio signals has led to the need to improve receiving systems. Especially when using the signal reception method in areas remote from cities that do not have a developed Internet connection structure. However, the task of digital transmission is very difficult. When the signal-to-noise ratio is low, the search for new methods to solve this problem is relevant. It is known that the essence of the detection problem is to make a decision about the presence or absence of a useful signal against the background of interference and

noise, which is fundamentally impossible to get rid of. It is shown that due to the use of structural differences between the mixture of useful signal and noise and just narrow-band noise, it is possible to significantly increase the reliability of digital signal reception in the region of low signal-to-noise ratios. This paper considers options for constructing detectors based on a phase detector are considered, and time diagrams of operation are given. This article discusses the results of mathematical modeling the passage of a mixture of a radio pulse and narrow-band noise through a phase detector.

Keywords: Phase detector, noise immunity, radio pulse, narrowband noise.

Дата отправки статьи в редакцию 24.02.2022 г.