

Разработка модели для исследования помехоустойчивости обнаружителя радиосигналов

Олег СОКОЛОВ,
к. т. н.

В статье приводятся результаты разработки модели для исследования помехоустойчивости обнаружителя радиосигналов, которая дополнена блоком выборки 20 отсчетов выходного напряжения согласованного фильтра и блоком оценок. По выборке из 20 отсчетов в блоке оценок вычисляются средняя амплитуда сигнала и ее среднеквадратичное отклонение, а затем отношение сигнал/помеха на выходе согласованного фильтра. Вычисляется также порог обнаружения для заданной вероятности ложной тревоги. По величине порога обнаружения на цифровом вольтметре оператор определяет число обнаруженных радиоимпульсов и оценивает вероятность их обнаружения при различных отношениях сигнал/помеха.

Модель для исследования помехоустойчивости обнаружителей радиосигналов актуальна для разработчиков соответствующей аппаратуры, эксплуатирующих ее специалистов и обучающихся в вузе будущих радиоинженеров.

Принципы построения обнаружителей радиосигналов и оценки их помехоустойчивости описаны в литературе [1].

В то же время отсутствуют описания моделей для исследования помехоустойчивости обнаружителей радиосигналов

в широко используемых программах моделирования электронных блоков и систем Micro-Cap 9 (7) [2].

В статье приведена модель обнаружителя радиосигналов со случайными параметрами, которая дополнена блоком выборки 20 от-

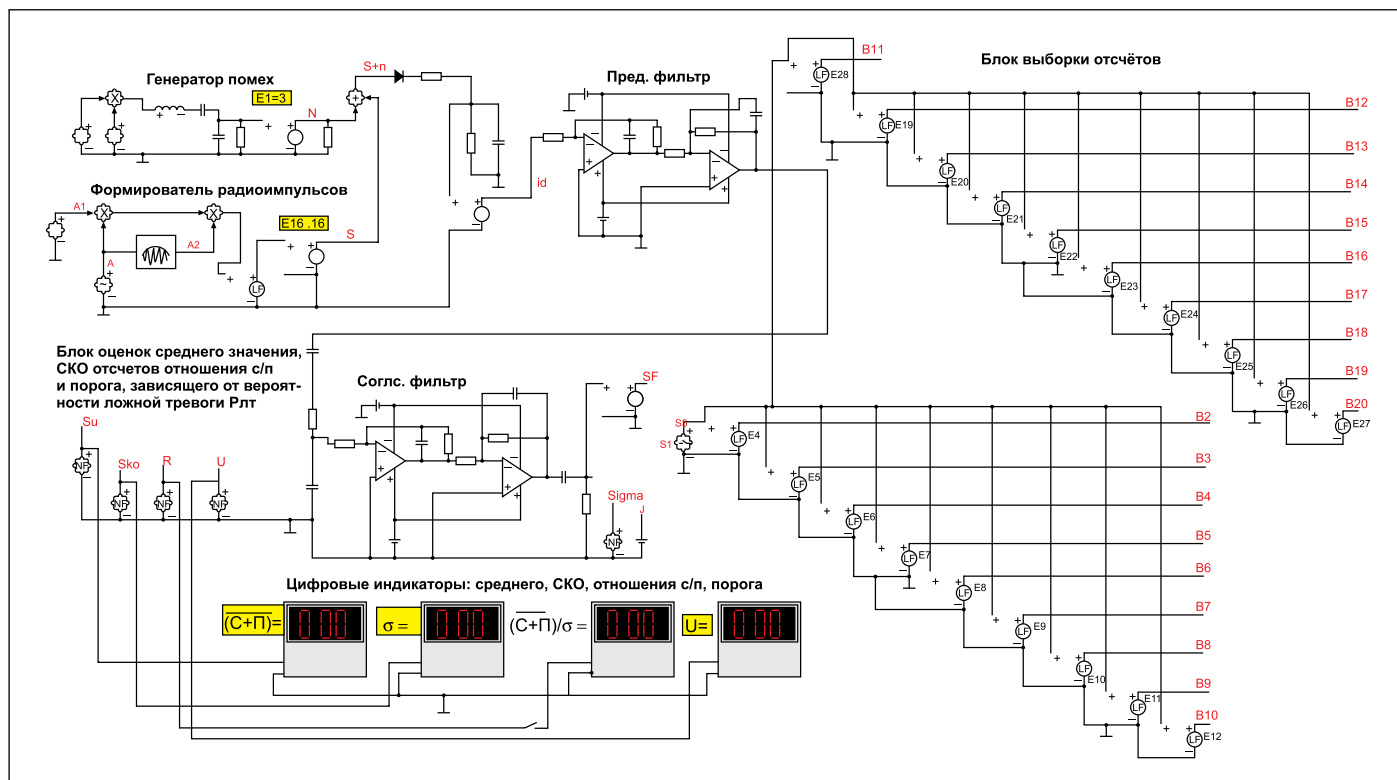


Рис. 1. Модель обнаружителя радиосигналов с блоками выборки отсчетов, оценки среднего значения, СКО отсчетов и отношения сигнал/помеха

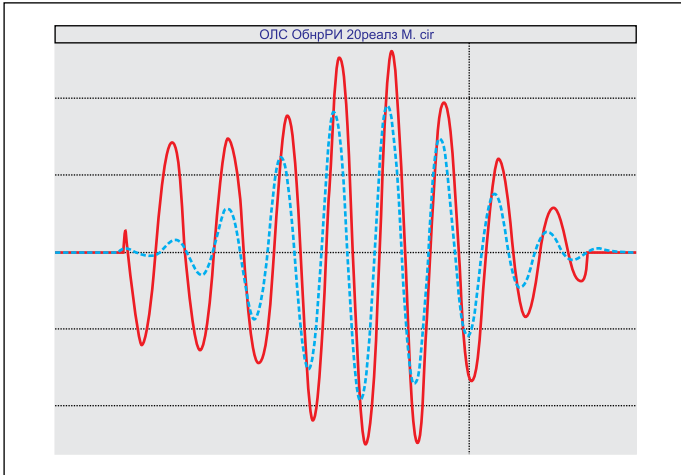


Рис. 2. Радиопульс на входе обнаружителя

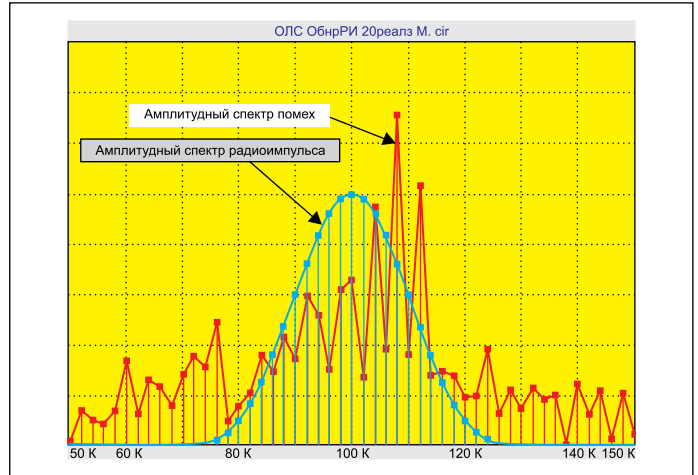


Рис. 3. Амплитудные спектры на входе обнаружителя

счетов выходного напряжения согласованного фильтра. По выборке из 20 отсчетов в блоке оценки среднего значения вычисляется средняя амплитуда сигнала и ее среднеквадратичное отклонение (СКО), а затем отношение сигнал/помеха на выходе согласованного фильтра. Схема модели представлена на рис. 1.

Формирователь радиопульсов создает радиопульсы с несущей частотой 100 кГц и огибающей колоколообразной формы. Эти импульсы поступают на вход S сумматора. На другой вход сумматора (N) поступает шумовой сигнал с выхода генератора помехи.

Под воздействием помехи реализация радиопульса на входе обнаружителя искажается так, что изменяется его форма, а амплитуда и фаза меняются случайным образом (рис. 2). Пунктиром показана осциллограмма исходного радиопульса.

Амплитудный спектр помехи перекрывает спектр радиопульсов, что иллюстрируют соответствующие спектры одной из реализаций, полученные в диапазоне частот от 50 до 150 кГц (рис. 3).

Осциллограммы радиопульса и помехи приведены соответственно на рис. 4а и б. С выхода сумматора (S+n) они поступают на инерционный детектор, выполненный на элементах D1, R1, R2, C1 и E17. На выходе (id) инерционного детектора получают импульсы, осциллограмма которых представлена на рис. 4в.

Для фильтрации высокочастотных составляющих в спектре огибающей применен фильтр предварительной фильтрации, состоящий из двух каскадов операционных усилителей (X4 и X5).

Отфильтрованное напряжение (рис. 4г) огибающих радиопульсов поступает через разделительную емкость C11 на согласованный фильтр, состоящий из инерционного звена R11, C6 и двух каскадов операционных усилителей (X7 и X8) и усилителя E18. Напряжение одной из реализаций на вы-



Рис. 4. Осциллограммы на выходах блоков обнаружителя

ходе согласованного фильтра (SF) изображено на рис. 4д.

На осциллограммах (рис. 4а, д) показано пунктирной стрелкой, что максимум напряжения на выходе согласованного фильтра

приходится на последние затухающие полтора периода радиопульса.

На рис. 5 показан амплитудный спектр огибающей радиопульсов на выходе согласованного фильтра.

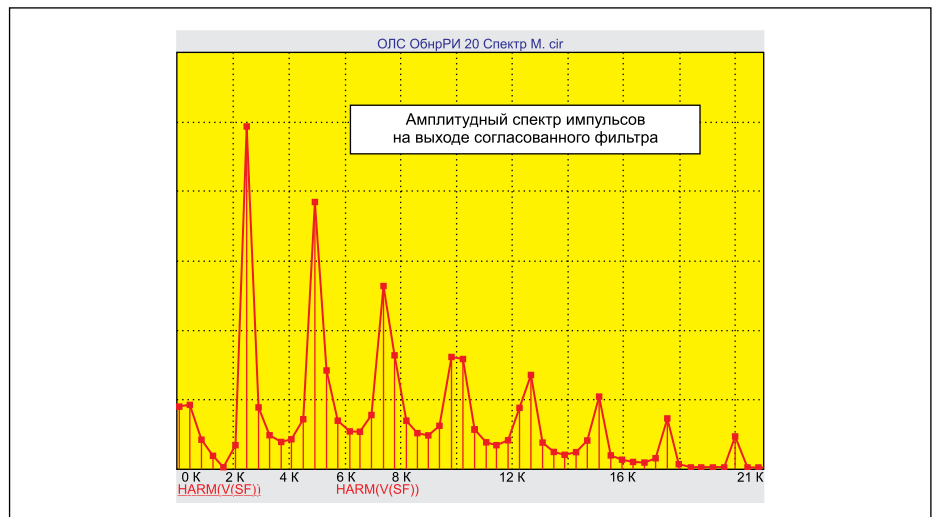


Рис. 5. Амплитудный спектр огибающей радиопульса

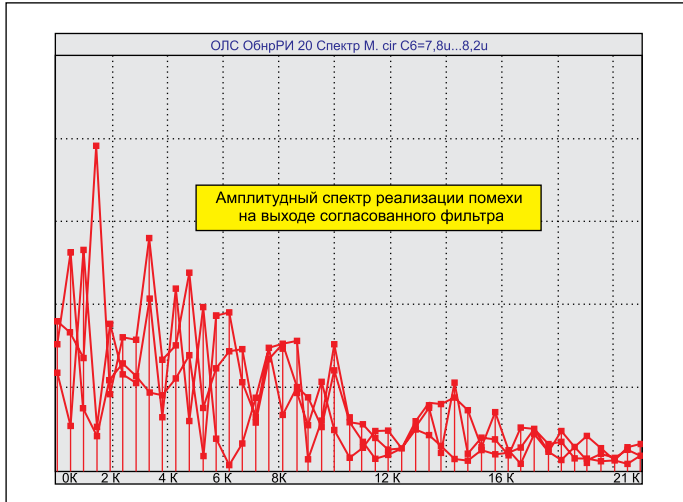


Рис. 6. Амплитудные спектры реализаций помехи

Сравнивая амплитудные спектры огибающей радиоимпульсов на рис. 5 и амплитудные спектры реализаций помехи на рис. 6 на выходе согласованного фильтра, отметим, что в этих двух случаях спад спектров до уровня 0,5 от максимума наблюдается на частоте ~8 кГц. Это свидетельствует о согласованности амплитудного спектра сигнала с квадратом модуля комплексного коэффициента передачи фильтра.

На рис. 7 приведена часть осциллограмм (сверху вниз) 20 реализаций радиоимпульсов, сигналов на выходе инерционного детектора, отрезков помехи, сигналов на выходе согласованного фильтра, вычисленного порога по заданной вероятности ложной тревоги $P_{лт} = 10^{-4}$ и полученной оценки СКО- σ , а также изменения среднего значения амплитуды сигнала на выходе согласованного фильтра (красного цвета).

Осциллограммы реализаций и цифровые оценки получены при отношениях сигнал/помеха q , равных 1,83, 4,44 и 6,64.

Радиоимпульс считается обнаруженным только в случае превышения порога U в момент окончания этого импульса. Оценка вероятности $P_{поэ} = 0,2$ правильного обнаружения представлена на рис. 7а. В данной выборке только четыре превышения порога U произошли в момент окончания радиоимпульсов. Другие превышения возникли из-за действия сравнительно мощной помехи.

Результаты экспериментальных выборок вероятности $P_{поэ}$ сравниваются на рис. 8 с расчетными значениями вероятности правильного обнаружения $P_{по}$ при заданных значениях вероятности ложных тревог $P_{лт}$, приведенных в работе [1].

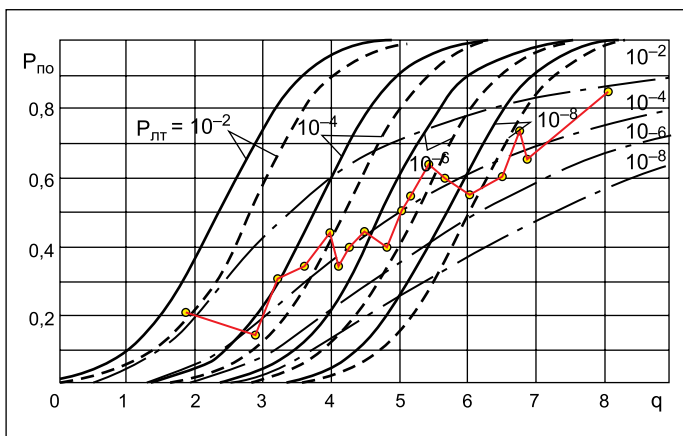


Рис. 8. Характеристики обнаружения радиосигналов [1] и экспериментальные оценки вероятности правильного обнаружения при различных q (желтые кружки, соединенные красными линиями)

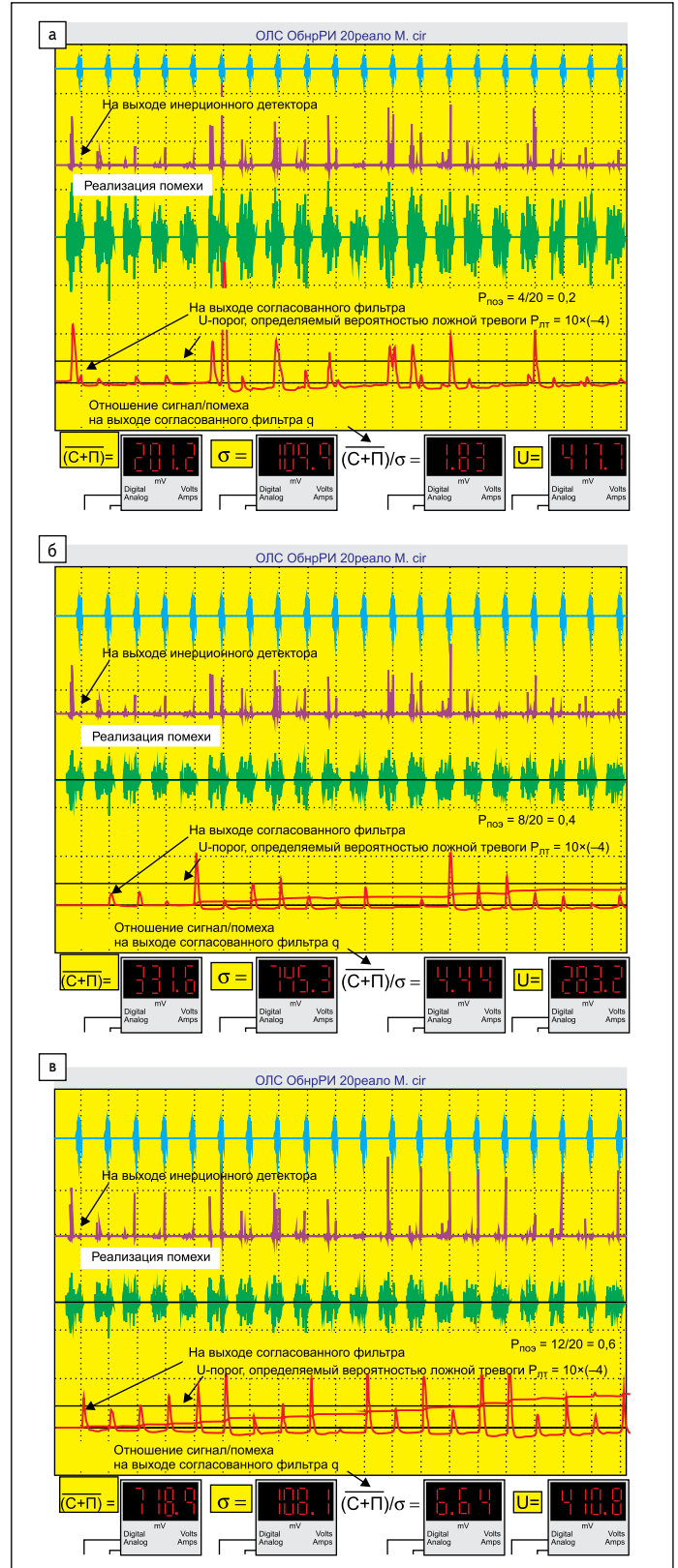


Рис. 7. Осциллограммы и цифровые оценки при отношении сигнал/помеха при: а) $q = 1,83$; б) $q = 4,44$; в) $q = 6,64$

Как следует из сравнения экспериментальных оценок вероятностей $P_{поэ}$, можно констатировать достаточно близкое совпадение их с расчетной характеристикой обнаружения радиоимпульса со случайными амплитудой и фазой при заданной вероятности ложной тревоги $P_{лт} = 10^{-4}$.

Наблюдаемые отклонения при отношениях сигнал/помеха $q \approx 1,8$, $q \approx 3,3 \dots$ и т. д. можно объяснить малой выборкой (20 реализаций).

В подобных случаях можно рекомендовать повторные испытания с соответствующей статистической обработкой результатов исследований.

Разработанная модель для исследования помехоустойчивости об-наружителей радиосигналов позволяет проводить широкий круг исследований, а также исследовать помехоустойчивость таких устройств

на лабораторных занятиях по дисциплине «Радиотехнические системы».

Литература

1. Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М. и др. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника». М.: Высшая школа, 2010.
2. Амелина М. А. Компьютерный анализ и синтез электронных устройств. Ч. 1: конспект лекций. Смоленск: МЭИ (ТУ), 2005.