

ОЦЕНКА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ

Г. В. Коняшкин, Ю. А. Полевода

В современном мире цифровая манипуляция является неотъемлемой частью нашей жизни. Она применяется в различных областях, начиная от обработки изображений и звука, заканчивая управлением технологическими процессами. Однако, при передаче цифровой информации возникает проблема присутствия помех, которые могут повлиять на качество и достоверность получаемых данных. Для решения этой проблемы используются методы помехоустойчивости, которые позволяют сохранить целостность передаваемой информации даже при наличии помех. Статья посвящена программно ориентированному анализу помехозащищенности цифровых видов модуляции сигналов. В работе отображены основные характеристики и сформированы методики численного анализа помехоустойчивости QPSK-, 8-PSK-, 16-QAM-сигналов. Сформирована функциональная блок-схема в среде визуально ориентированного программирования GNURadio, а также реализована программа на языке программирования Python для обработки полученных результатов.

Ключевые слова: GNURadio, цифровая обработка сигналов, цифровые виды модуляции, PSK, QAM, программная обработка.

Введение

Цифровые виды модуляции используются в различных областях, таких как телекоммуникации, радиосвязь, беспроводные сети и многих других [1]. Они позволяют передавать данные по каналам связи с высокой скоростью и эффективностью. Однако при передаче данных по каналам связи возникают помехи, которые могут привести к искажению информации [2].

Для минимизации шумовых воздействий существуют различные методы оценки помехозащищенности, тем не менее программная оценка вероятности битовой ошибки цифровых видов модуляции является наиболее результативным и актуальным методом [3].

Программная оценка помехозащищенности цифровых видов модуляции основывается на математическом анализе сигнала. Этот метод позволяет определить уровень помех в сигнале и оценить его качество с помощью специальных программных инструментов [4].

Применение методов оценки помехозащищенности цифровых видов модуляции в практических задачах позволяет повысить качество передачи данных и уменьшить вероятность искажения информации. Например, в телекоммуникационных системах данный метод позволяет улучшить качество связи и снизить затраты на обслуживание системы. В радиосвязи позволяет повысить скорость передачи данных и обеспечить более стабильную передачу информации.

Модели сигналов

На рис. 1 приведены сигнальные созвездия рассматриваемых сигналов (QPSK, 8-PSK, 16-QAM). На созвездиях отмечены сигнальные точки, соответствующие канальным символам. В случае присутствия помехи в канале связи сигнальные точки смещаются в соседние области, что свидетельствует о наличии ошибки в принимаемом сигнале [5].

Функциональная блок-схема

В рамках проведения исследования была сформирована функциональная блок-схема, представленная на рис. 2.

Для полноты восприятия разберем функционал данной блок-схемы:

1. Формирование битовой последовательности блоком Random Source в заданных пределах в зависимости от размерности цифровой модуляции (4 – QPSK; 8 – 8-PSK; 16 – 16-QAM).
2. Выгрузка сформированной последовательности в файл с помощью блока File Sink.
3. Кодирование сформированной последовательности в точки фазового созвездия с помощью блока Constellation Encoder.
4. Прохождение сформированного цифрового сигнала через блок модели канала с применением аддитивного белого гауссовского шума Channel Model.

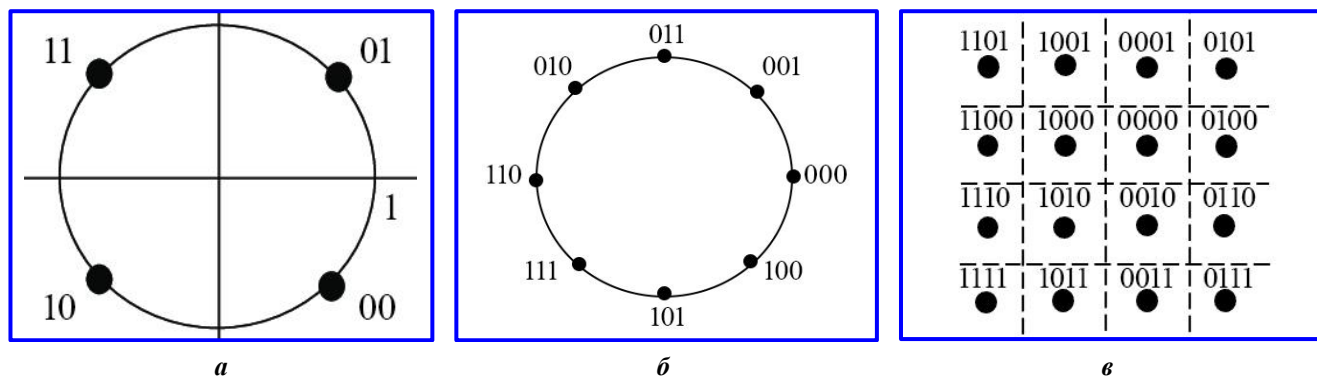


Рис. 1. Сигнальные созвездия сигналов: а – QPSK; б – 8-PSK; в – 16-QAM

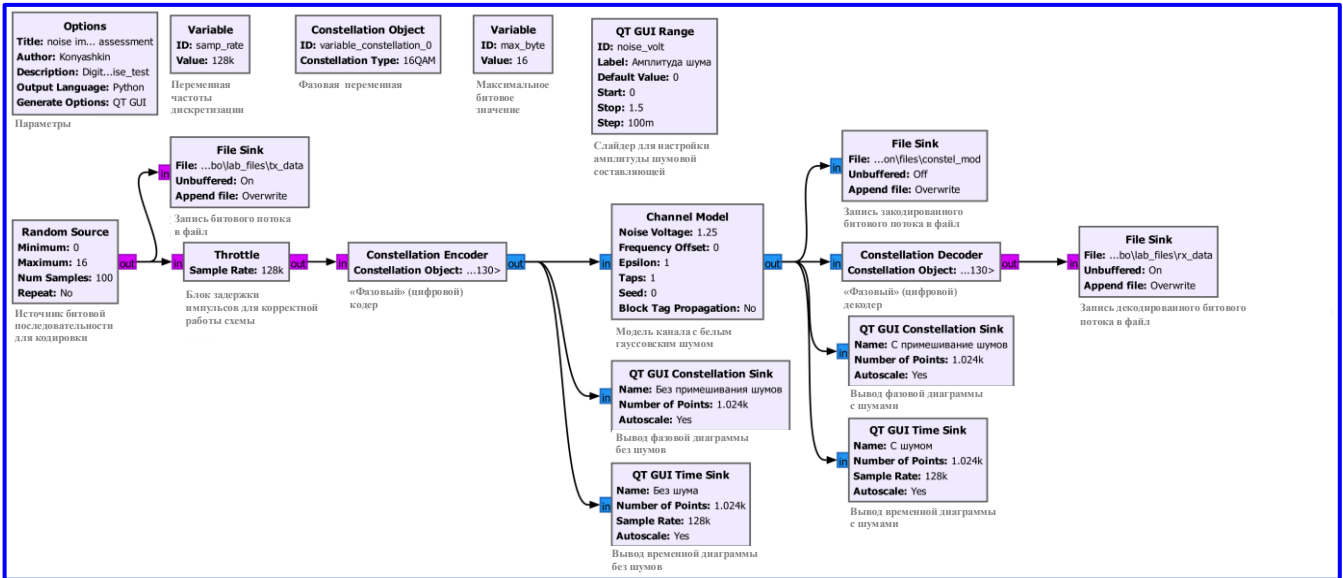


Рис. 2. Функциональная блок-схема для оценки помехоустойчивости цифровых видов манипуляции

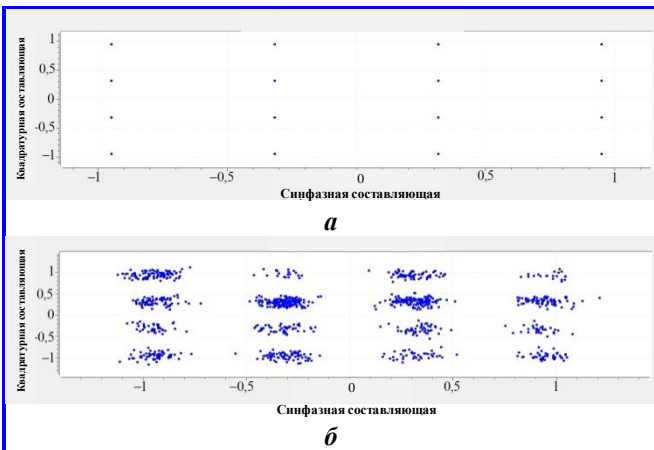


Рис. 3. 16-QAM-сигнал без шумовой (а) составляющей и с шумовой составляющей (б) с амплитудой 0,1 В

ченных файлов типа uint8, численная оценка количества некорректных битов на приемной части и построение графиков. Листинг программного кода (образец исходного кода программы) представлен ниже:

```

1. ..fromfile(open("rx_data"), dtype=numpy.uint8)
2. tx_data_txt import numpy
3. from matplotlib import pyplot
4. import pandas as pd
5. x1 = []
6. count = 0
7. tx_data = numpy.fromfile(open("tx_data"), dtype=numpy.uint8)
8. rx_data = numpy.fromfile(open("send_data_d.txt", 'w'))
9. constel_mod_txt = open('constel_mod_d.txt', 'w')
10. rx_data_txt = open('decoded_d.txt', 'w')
11. for line in tx_data:
12. tx_data_txt.write(str(line) + '\n')
13. tx_data_txt.close()
14. for line in rx_data:
15. rx_data_txt.write(str(line) + '\n')
16. rx_data_txt.close()
17. data = pd.read_csv('send_data_d.txt', sep='\s+', header=None)
18. data = pd.DataFrame(data)
19. data1 = pd.read_csv('decoded_d.txt', sep='\s+', header=None)
20. data1 = pd.DataFrame(data1)
21. x = data[0]
22. x = x[3:95]
23. x1[0:92]=x
24. y = data1[0]
25. for i in range(1, len(x1)):
26. if x1[i] != y[i]:
27. count += 1
28. print(count)
29. pyplot.plot(x1)
30. pyplot.plot(y)
31. pyplot.show()

```

5. Декодирование сигнала с шумовой составляющей с помощью блока Constellation Decoder.

6. Выгрузка сформированной последовательности с примешанной шумовой составляющей в файл с помощью блока File Sink.

В ходе проведения исследования были получены 15 файлов при моделировании канальной модели для 3-х видов цифровой модуляции с разным амплитудным уровнем шумовой составляющей. Для визуальной оценки работы блочно-функциональной модели на рис. 3 представлены фазовые созвездия 16-QAM-сигнала без (а) и с (б) добавлением аддитивного гауссовского шума.

Алгоритм программного анализа

В ходе проведения дальнейших исследований был сформирован программный код на языке Python, основной задачей которого было декодирование полу-

Порядок проведения исследования представляет собой следующий алгоритм действий:

1. Запуск функциональной блок-схемы, результатом работы которой является два сформированных файла битовых последовательностей на «отправной» и «приемной» части в формате uint8.

2. Компиляция программного кода, результатом работы которого являются графики битовых последовательностей на «отправной» и «приемной» части, наложенные друг на друга для визуальной оценки корректности передачи, а также количество некорректных информационных битов.

Визуальная и численная оценка полученных результатов

Графические репрезентации граничных результатов проведенных исследований относительно QPSK-модуляции представлены на рис. 4 и 5.

Также проведен количественный анализ битовых ошибок при аддитивном добавлении помехи

с различным уровнем амплитуды, результаты представлены в табл. 1.

На рис. 6 представлен график зависимости BER от амплитуды шумовой составляющей для QPSK-сигнала, построенный в соответствии с табл. 1.

Аналогично вышеописанному исследованию, было проведено моделирование для 8-PSK-сигнала, результаты представлены на рис. 7 – 8.

Таблица 1

Количественный анализ битовых ошибок при QPSK-модуляции

Уровень помехи, В	BER
0,25	0
0,5	0
0,75	0
1	0,032
1,25	0,107

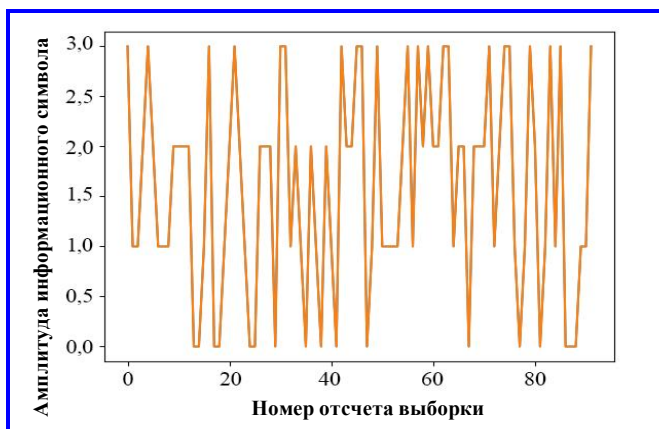


Рис. 4. График битовых последовательностей QPSK-сигнала на «отправной» и «приемной» части с уровнем помехи 0,25

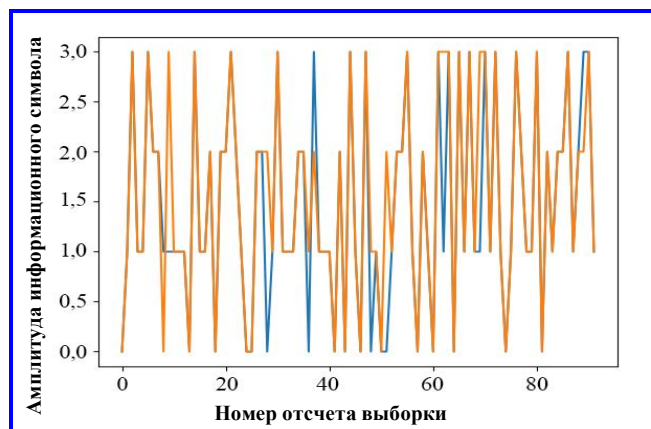


Рис. 5. График битовых последовательностей QPSK-сигнала на «отправной» и «приемной» части с уровнем помехи 1,25

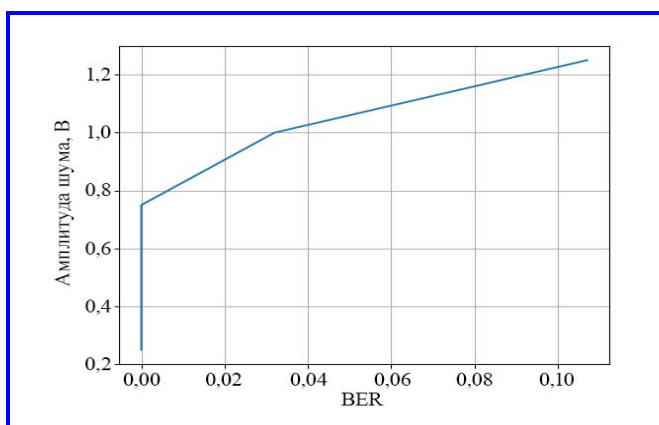


Рис. 6. График зависимости BER от амплитуды шума для QPSK-сигнала

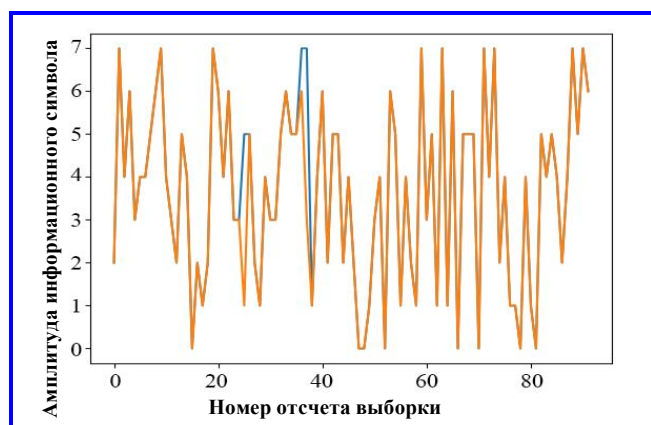


Рис. 7. График битовых последовательностей 8-PSK-сигнала на «отправной» и «приемной» части с уровнем помехи 0,25

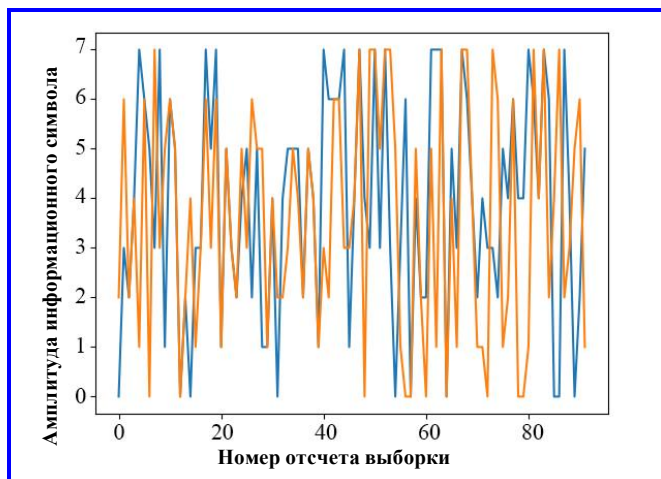


Рис. 8. График битовых последовательностей 8-PSK-сигнала на «отправной» и «приемной» части с уровнем помехи 1,25

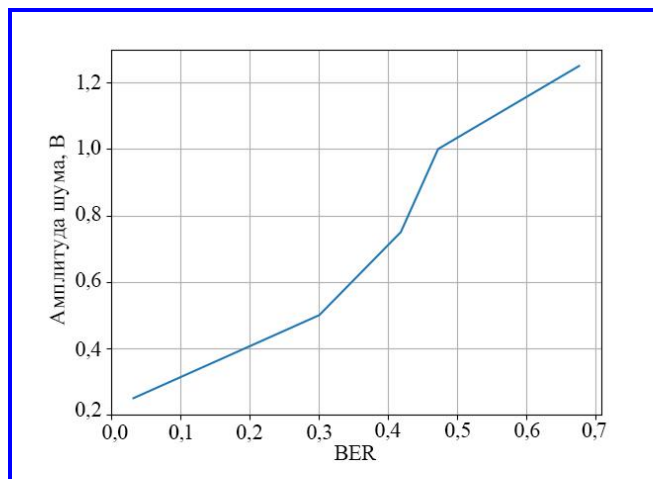


Рис. 9. График зависимости BER от амплитуды шума для 8-PSK-сигнала

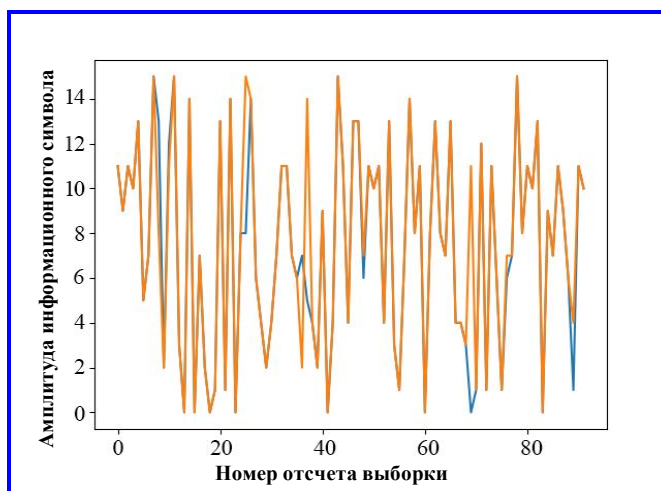


Рис. 10. График битовых последовательностей 16-QAM-сигнала на «отправной» и «приемной» части с уровнем помехи 0,25

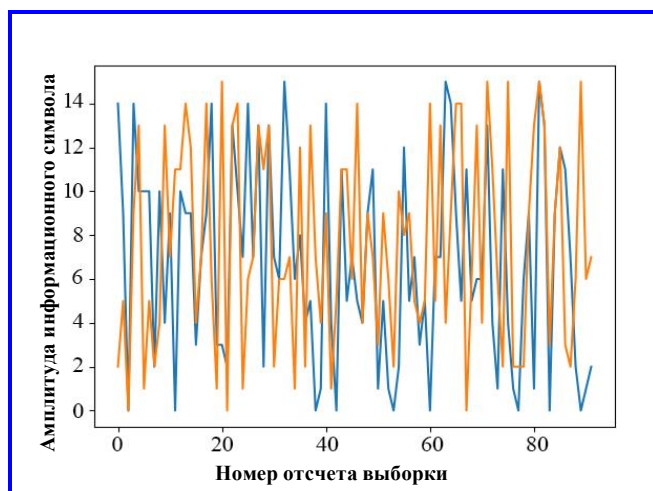


Рис. 11. График битовых последовательностей 16-QAM-сигнала на «отправной» и «приемной» части с уровнем помехи 1,25

Таблица 2

Количественный анализ битовых ошибок при 8-PSK-модуляции

Уровень помехи, В	BER
0,25	0,032
0,5	0,301
0,75	0,419
1	0,473
1,5	0,677

Таблица 3

Количественный анализ битовых ошибок при 16-QAM-модуляции

Уровень помехи, В	BER
0,25	0,097
0,5	0,452
0,75	0,709
1	0,688
1,25	0,796

Результаты количественного анализа битовых ошибок при аддитивном добавлении помехи с различным уровнем амплитуды представлены в табл. 2.

На рис. 9 представлен график зависимости BER от амплитуды шумовой составляющей для 8-PSK-сигнала, построенный в соответствии с табл. 2.

Также было проведено исследование для 16-QAM-модуляции, результаты представлены на рис. 10, 11.

Результаты количественного анализа битовых ошибок при аддитивном добавлении помехи с различным уровнем амплитуды представлены в табл. 3.

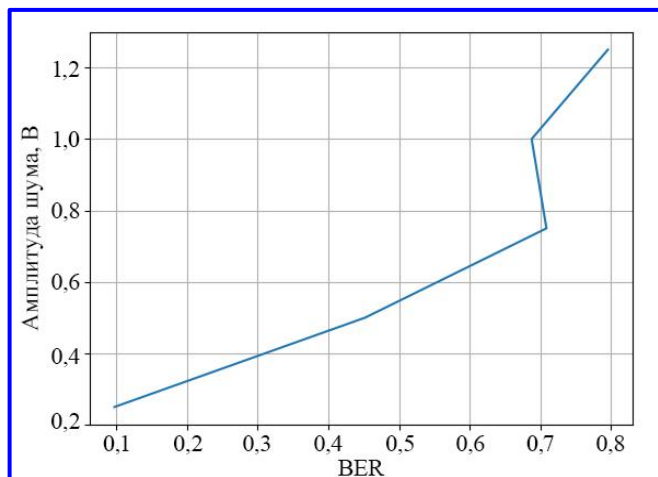


Рис. 12. График зависимости BER от амплитуды шума для 16-QAM-сигнала

На рис. 12 представлен график зависимости BER от амплитуды шумовой составляющей для 16-QAM-сигнала, построенный в соответствии с табл. 3.

Заключение

Подводя итог, можно сделать численный вывод для рассмотренных в данной работе цифровых видов модуляции. QPSK-модуляция имеет критический для декодирования уровень ошибок при амплитуде шумовой составляющей, равной $\sim 0,9$ В, для 8-PSK – равной $\sim 0,4$ В и для 16-QAM – равной $\sim 0,25$ В.

В работе рассмотрен метод анализа помехоустойчивости цифровых видов модуляции с применением актуальных бесплатных программных пакетов – GNU Radio и Python. Полученные результаты соответствуют теоретической базе. Сформированный алгоритм показывает свою эффективность с точки зрения скорости компиляции и возможности дальнейшего развития с имплементацией сторонних библиотек для численно-математического анализа. Построена функциональная блок-схема, реализован программный

код для обработки сформированных данных, получены графики битовых последовательностей на «отправной» и «приемной» части для визуальной оценки и численные результаты. Также представлены графики зависимости BER от амплитуды шума, построенные по полученным численным результатам.

Литература

1. Полевода Ю. А. Определение статистических параметров распределений случайных процессов в корреляционном приемнике сигналов КАМ на фоне ЧМ помехи / Ю. А. Полевода, Г. В. Куликов, Е. В. Самохина // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем «РАДИОИНФОКОМ – 2021»: Сборник научных статей V Международной научно-практической конференции. – Москва : МИРЭА – Российский технологический университет, 2021. – С. 385–389.
2. Куликов Г. В. Анализ помехоустойчивости приема КАМ сигналов на фоне ЧМ помехи в программной среде Matlab / Г. В. Куликов, Ю. А. Полевода // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем («Радиоинфоком – 2022»): Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции. – Москва : МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. – С. 555–559.
3. Гусев Н. А. Амплитудно-фазовая и квадратурная амплитудная манипуляция в стандартах цифрового телевидения / Н. А. Гусев // Actual science. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 103–104.
4. Помехоустойчивость приема сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией в присутствии гармонической помехи / Куликов Г. В., Нгуен Ван Зунг, Нестеров А. В. [и др.] // Научные технологии. – 2018. – № 11. – С. 32–38.
5. Нгуен Ван Зунг. Влияние прицельной гармонической помехи на качество приема сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией / Нгуен Ван Зунг // XVI Всероссийская молодежная научно-техническая конференция «Радиолокация и связь – перспективные технологии». – Москва : Мир науки, 2018. – С. 45–49.

Поступила в редакцию 05.04.2023

Георгий Викторович Коняшкин, магистрант, заведующий лабораторией кафедры радиоволновых процессов и технологий, т.: +7 (499) 215-65-65 # 20517, e-mail: konyashkin@mirea.ru.

Юрий Александрович Полевода, аспирант, ассистент кафедры радиоволновых процессов и технологий, т.: +7 (499) 215-65-65 # 20517, e-mail: polevoda@mirea.ru. (МИРЭА – Российский технологический университет).

ASSESSMENT OF IMMUNITY OF DIGITAL MODULATION TYPES

G. V. Konyashkin, Yu. A. Polevoda

In the modern world digital manipulation is an integral part of our life. It is used in different areas, starting from processing of images and sound, and ending with process control. However, during transmission of digital information the problem with noises that may affect the quality and validity of received data arises. In order to solve this problem the methods ensuring noise resistance that allow maintaining the

integrity of transmitted information even in the presence of noises are used. The article deals with program-oriented analysis of noise immunity of digital types of signal modulation. The article contains the main characteristics and describes the methods of numerical analysis of noise immunity of QPSK, 8-PSK and 16-QAM signals. A functional block diagram has been generated in GNURadio visually-oriented programming environment, and a Python program for processing of obtained results has been implemented.

Key words: GNURadio, digital processing of signals, digital types of modulation, PSK, QAM, software processing.

References

1. Polevoda Yu. A. Determination of statistical parameters of distributions of random processes in the correlation receiver of CAM signals against the background of FM interference / Yu. A. Polevoda, G. V. Kulikov, E. V. Samokhina // Current problems and prospects for the development of radio engineering and infocommunication systems «RADIOINFOCOM – 2021»: Collection of scientific articles of the V International Scientific and Practical Conference. – Moscow : MIREA – Russian Technological University, 2021. – P. 385–389.
2. Kulikov G. V. Analysis of the noise immunity of receiving CAM signals against the background of FM interference in the Matlab software environment / G. V. Kulikov, Yu. A. Polevoda // Current problems and prospects for the development of radio engineering and infocommunication systems («Radioinfocom – 2022»): Collection of scientific articles based on the materials of the VI International Scientific and Practical Conference. – Moscow : MIREA – Russian Technological University, 2022. – P. 555–559.
3. Gusev N. A. Amplitude-phase and quadrature amplitude manipulation in digital television standards / N. A. Gusev // Actual science. – 2015. – Vol. 1. – No. 1. – P. 103–104.
4. Noise immunity of receiving signals with multi-position phase manipulation in the presence of harmonic interference / Kulikov G. V., Nguyen Van Zung, Nesterov A. V. [et. al.] // High-tech technologies. – 2018. – No. 11. – P. 32–38.
5. Nguyen Van Dung. The influence of targeted harmonic interference on the quality of receiving signals with multi-position phase manipulation / Van Dung Nguyen // XVI All-Russian Youth Scientific and Technical Conference «Radar and communications - promising technologies». – Moscow : Mir nauki, 2018. – P. 45–49.

Georgy Viktorovich Konyashkin, Master's student, Head of Laboratory of the Department of Radio Wave Processes and Technologies, tel.: +7 (499) 215-65-65 # 20517, e-mail: konyashkin@mirea.ru.

*Yuri Alexandrovich Polevoda, postgraduate student, assistant of the Department of Radio Wave Processes and Technologies, tel.: +7 (499) 215-65-65 # 20517, e-mail: polevoda@mirea.ru.
(MIREA – Russian Technological University).*