

УДК 621.37(04)

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-60-68

Разработка программно-аппаратных средств для имитации работы радиосредств связи**А. А. Зыкин**, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия**В. В. Хворенков**, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия**А. Н. Копысов**, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия**М. А. Бояршинов**, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия**Р. А. Хатбуллин**, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Статья посвящена разработке программно-аппаратного комплекса, позволяющего имитировать работу средств связи в условиях воздействия естественных и преднамеренных помех. Программно-аппаратный комплекс построен на базе приборов Rohde & Schwarz и оборудования National Instruments. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет учитывать физические характеристики реальных приемопередающих трактов средств связи и каналов связи. При этом программно-аппаратный комплекс может использоваться в качестве источника и приемника сигналов как существующие средства связи, так и SDR-трансиверы.

В ходе разработки программно-аппаратного комплекса были созданы программы для автоматизированного управления приборами (Rohde & Schwarz) и оборудованием (National Instruments), которые входят в состав разрабатываемого программно-аппаратного комплекса. Также проведено программно-аппаратное моделирование работы средств связи, использующих сигналы OFDM в условиях воздействия преднамеренных помех.

В результате программно-аппаратного моделирования средств связи в условиях воздействия преднамеренных помех была исследована устойчивость сигнала OFDM к воздействию помех в виде тонального и аналогового ЧМ-сигнала. По результатам моделирования получены графики зависимости вероятности битовой ошибки от уровня мешающего сигнала (помехи). По результатам видно, что с увеличением значения уровня помехи вероятность битовой ошибки возрастает. Например, при воздействии помехи в виде тонального гармонического сигнала с уровнем 10 дБм на передачу OFDM-сигнала вероятность битовой ошибки составляет 0,2414, при уровне помехи 15 дБм – 0,3806. Также при воздействии помехи в виде аналогового ЧМ-сигнала при увеличении значения уровня помехи вероятность битовой ошибки возрастает. Например, при значении уровня помехи –30 дБм вероятность битовой ошибки равна 0,0054, при уровне помехи –25 дБм – 0,065.

Разработанный программно-аппаратный комплекс для имитации работы средств связи в условиях радиоэлектронного противодействия позволяет оперативно изменять параметры средств радиоэлектронной борьбы и проводить оценку влияния радиоэлектронных помех на процесс работы средств связи. Разработанное программное обеспечение комплекса создает условия для автоматизированного управления приборами и оборудованием. Комплекс позволяет задавать режимы работы с персонального компьютера.

Ключевые слова: автоматизированное управление, система, LabVIEW, Rohde & Schwarz, National Instruments, радиоэлектронное подавление.

Введение

Изобретение радио и дальнейшее его использование в начале XX в. стимулировало разработку и внедрение способов и средств обнаружения сигналов и подавления их радиопомехами. Впоследствии применение радиопомех потребовало создания средств и методов защиты средств связи от них.

В настоящее время наблюдается активное развитие и совершенствование как средств по подавлению радиоэлектронных систем связи, так и методов и способов защиты радиоэлектронных систем связи от пагубного влияния средств радиоэлектронного подавления. При разработке средств связи и средств по их подавлению применяются новейшие достижения науки

и техники, что способствует развитию наукоемкой отрасли. Также наблюдается тенденция, что при появлении нового комплекса связи начинаются разработки комплекса по его радиоэлектронному подавлению. Возможна и обратная ситуация, при которой разрабатывают методы и средства радиоэлектронной защиты, направленные против новейшего комплекса радиоэлектронного подавления.

В настоящее время является актуальным изучение вопроса конфликтного взаимодействия средств радиосвязи и радиоэлектронного подавления. При разработке средств связи применяется имитационное моделирование для изучения влияния естественных помех и средств радиоэлектронного подавления. Но во время эксплуатации нового средства связи может выясниться, что на этапе разработки при имитационном моделировании не учтены некоторые факторы, влияющие на работу средств связи в условиях воздействия естественных и преднамеренных помех. Поэтому во время разработки новых средств связи вместо имитационного моделирования лучше применять программно-аппаратное моделирование, которое позволяет учитывать физические характеристики реальных приемопередающих трактов средств и каналов связи. При этом программно-аппаратное моделирование может применяться как на этапах разработки средств связи, так и на этапах их эксплуатации.

Цель исследования – разработка комплекса программно-аппаратных средств на базе приборов Rohde & Schwarz и оборудования National Instruments, позволяющего исследовать работу средств связи в условиях радиоэлектронного противодействия.

Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет учитывать физические характеристики реальных приемопередающих трактов средств связи и каналов связи. При этом программно-аппаратный комплекс может использоваться в качестве источника и приемника сигналов как существующие средства связи, так и SDR-трансиверы, построенные по технологии программно-определяемого и когнитивного радио [1–6]. Для комплекса разработаны программы для автоматизированного управления приборами Rohde & Schwarz и оборудованием National Instruments.

Автоматизированное управление контрольно-измерительной аппаратурой и оборудованием

Программно-аппаратный комплекс построен по технологии интернета вещей, которую мож-

но определить как множество элементов, подключенных к сети Интернет [7].

Для программно-аппаратного комплекса были разработаны программы автоматизированного управления приборами Rohde & Schwarz и оборудования National Instruments в среде разработки LabVIEW. Это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments, которая позволяет разрабатывать системы измерения, контроля, диагностики и управления практически любой сложности [8]. Программно-аппаратный комплекс является инструментом для оперативного выполнения поставленных научно-производственных задач.

На рисунке 1 представлена структурная схема программно-аппаратного комплекса, позволяющего проводить моделирование работы радиолинии в условиях воздействия преднамеренных помех (имитировать радиоэлектронное противодействие).

В качестве источника сигнала в программно-аппаратном комплексе используется SDR-трансивер USRP X300, а в качестве приемника сигнала – SDR-трансивер NI USRP-2901. В комплексе также используется в качестве передатчика помех векторный генератор сигналов R&S SMW200A, а для наблюдения передаваемых по радиозфиру сигналов и помех – анализатор спектра и сигналов R&S FSW8. Для подключения приборов и оборудования к персональным компьютерам используется сетевой коммутатор. Автоматизированное управление приборами и оборудованием осуществляется с помощью двух персональных компьютеров, на которых установлена среда разработки LabVIEW [9].

Программа автоматизированного управления SDR-трансивером USRP X300

Рассмотрим программу для передачи аудиофайла, которая написана в LabVIEW, с использованием универсального программируемого приемопередатчика USRP X300. В данном случае в качестве аудиофайла передается запись OFDM-сигнала. OFDM – метод одновременной передачи потока цифровых данных по множеству частотных каналов (с множеством несущих или поднесущих колебаний) [10, 11].

Перед началом работы с USRP X300 необходимо установить на компьютер соответствующий драйвер USRP Hardware Driver™ для устройства USRP X300. После установки драйвера SDR-трансивер USRP X300 подключается к компьютеру с помощью кабеля 1 Gigabit Ethernet или гигабитного оптоволоконного кабеля.

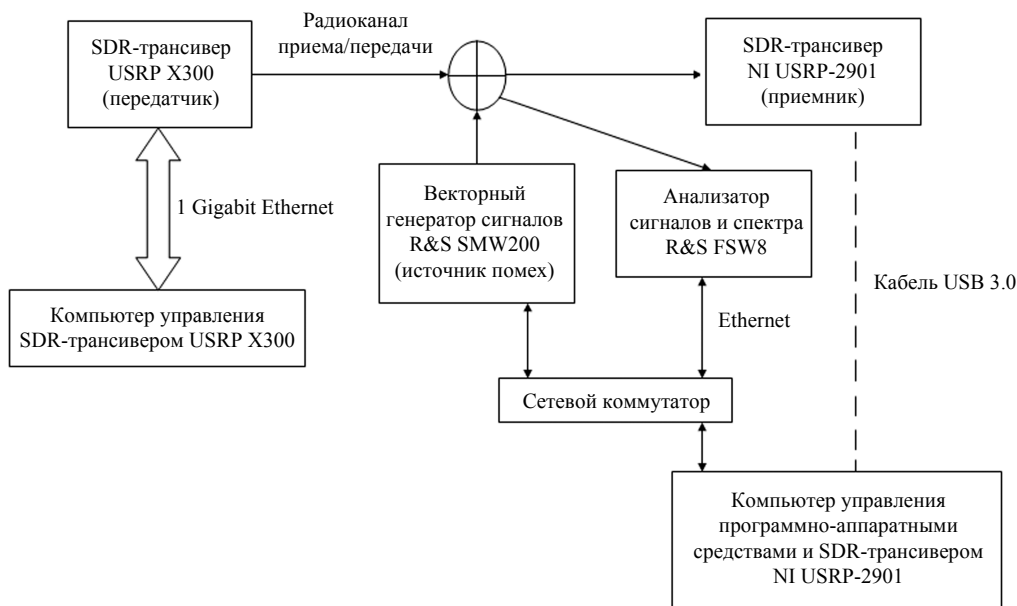


Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса для моделирования радиоэлектронного противодействия работе средств связи

Fig. 1. A block diagram of hardware-software complex for hardware-software complex jamming support of communication activity

На лицевой панели программы осуществляется настройка SDR-трансивера USRP X300 в режим передачи, при этом устанавливаются значения частоты дискретизации (Sample rate [Hz]), несущей частоты (Carrier [Hz]), величины усиления антенны (Gain [dB]), количества символов в кадре (Samples in frame).

На лицевой панели программы для передачи аудиофайла выбирается канал передачи сигнала (Channel), выход передающей антенны (Antenna) для передачи сигнала с помощью USRP X300. В строке File Path указывается путь к аудиофайлу, который будет передаваться по радиоэффиру с помощью трансивера USRP X300.

На рисунке 2 представлена лицевая панель программы для передачи аудиофайла с помощью SDR-трансивера USRP X300.

Выход из программы осуществляется посредством нажатия кнопки Exit.

Программа автоматизированного управления SDR-трансивером NI USRP-2901

SDR-трансивер NI USRP-2901 подключается к компьютеру управления программно-аппаратными средствами с помощью кабеля USB 3.0. С помощью программы автоматизированного управления осуществляется настройка SDR-трансивера на отображение радиоэфира, а также прием и запись радиосигнала из радиоэфира.

На рисунке 3 представлена лицевая панель программы для приема сигналов и записи радиоэфира.



Рис. 2. Лицевая панель программы для передачи аудиофайла

Fig. 2. The front panel of the program for transmission an audio file

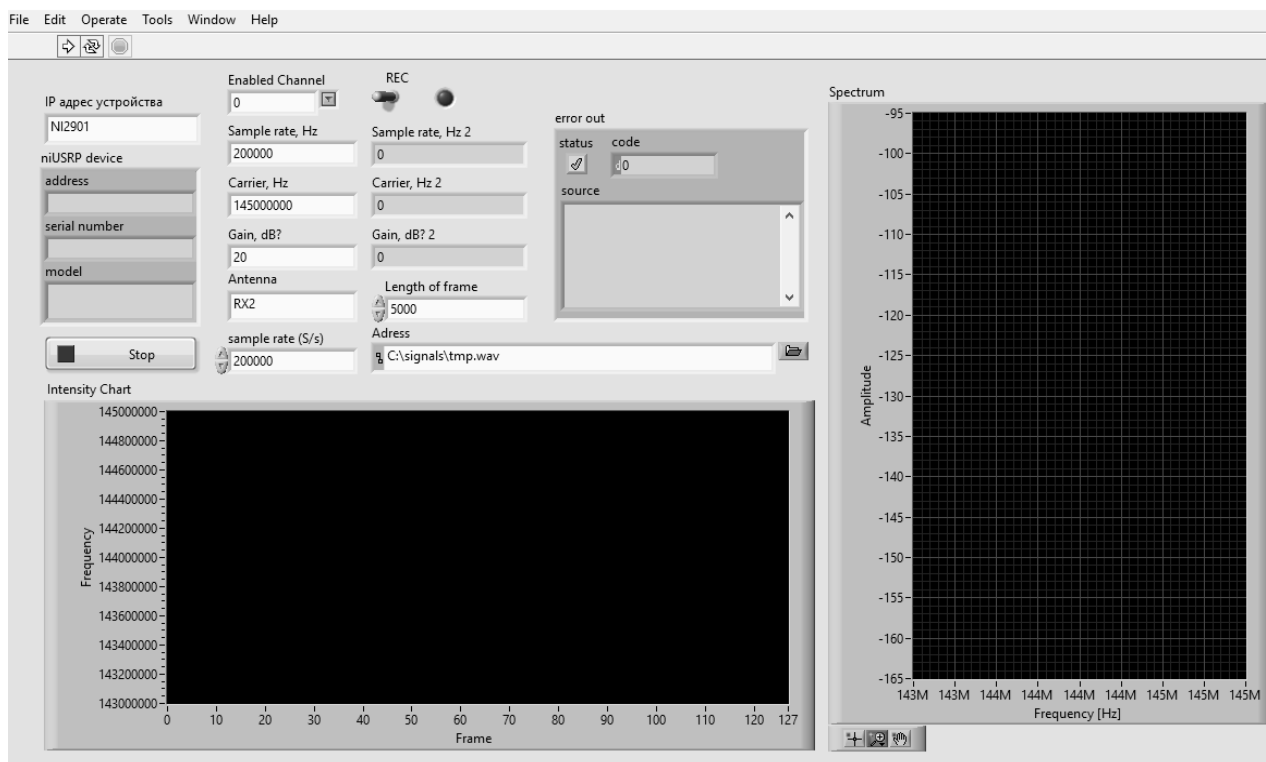


Рис. 3. Лицевая панель программы для просмотра и записи радиоэфира с помощью SDR-трансивера NI USRP-2901

Fig. 3. The front panel of the program for scrolling and recording radio using the SDR transceiver NI USRP-2901

На лицевой панели программы осуществляется настройка SDR-трансивера NI USRP-2901 в режим приема, при этом устанавливаются значения частоты дискретизации (Sample rate [Hz]), несущей частоты (Carrier [Hz]), величины усиления (Gain [dB]), длины кадра (length in frame). Также в лицевой панели выбирается канал приема сигнала (Channel) и вход приемной антенны (Antenna) для приема сигнала с помощью SDR-трансивера NI USRP-2901. В строке Address указывается путь к папке, где будут сохранены записи радиоэфира, а также имя записываемого файла с расширением .wav. С помощью тумблера REC осуществляется переключения SDR-трансивера NI USRP-2901 в режим записи радиоэфира (положение тумблера вправо означает, что SDR-трансивер перешел в режим записи радиоэфира, положение влево – режим записи радиоэфира выключен). Также контроль записи радиоэфира осуществляется с помощью индикатора в виде зеленого светодиода. Если светодиод загорелся, то осуществляется запись радиоэфира с помощью SDR-трансивера NI USRP-2901, и наоборот. Также на лицевой панели можно наблюдать спектрограммы принимаемого сигнала (внизу слева) и спектр принимаемого сигнала (справа).

Демодуляция принимаемого сигнала осуществляется в заранее подготовленной программе демодулятора OFDM-сигнала, написанной в математическом пакете MatLAB R2017a.

Программа автоматизированного управления векторным генератором сигналов R&S SMW200A

Векторный генератор сигналов подключается к компьютеру управления программно-аппаратными средствами по интерфейсу Ethernet. С помощью программы автоматизированного управления осуществляется настройка векторного генератора сигналов на генерацию помехового сигнала.

На лицевой панели программы осуществляется настройка векторного генератора сигналов на генерацию либо гармонического сигнала, либо сигнала с аналоговой FM-модуляцией. При этом устанавливаются значения несущей частоты (Frequency [Hz]), уровня сигнала по мощности (Power Level [dBm]), длины кадра (length in frame), номеров портов, с которых генерируется ВЧ-сигнал (Path), частоты девиации ЧМ-сигнала (Deviation). Также на лицевой панели выбирается режим частотной модуляции (FM Mode) и связь внешнего источника (FM External Coupling). С помощью переключе-

чатера Output Enabled осуществляется включение/выключение генерации гармонического сигнала при положении переключателя FM Enabled в положении «выключен». Если же положение переключателя FM Enabled «включен», то на выходе векторного генератора сигналов

R&S SMW200A генерируется сигнал с аналоговой FM-модуляцией.

Лицевая панель программы автоматизированного управления векторным генератором сигналов R&S SMW200A представлена на рисунке 4.

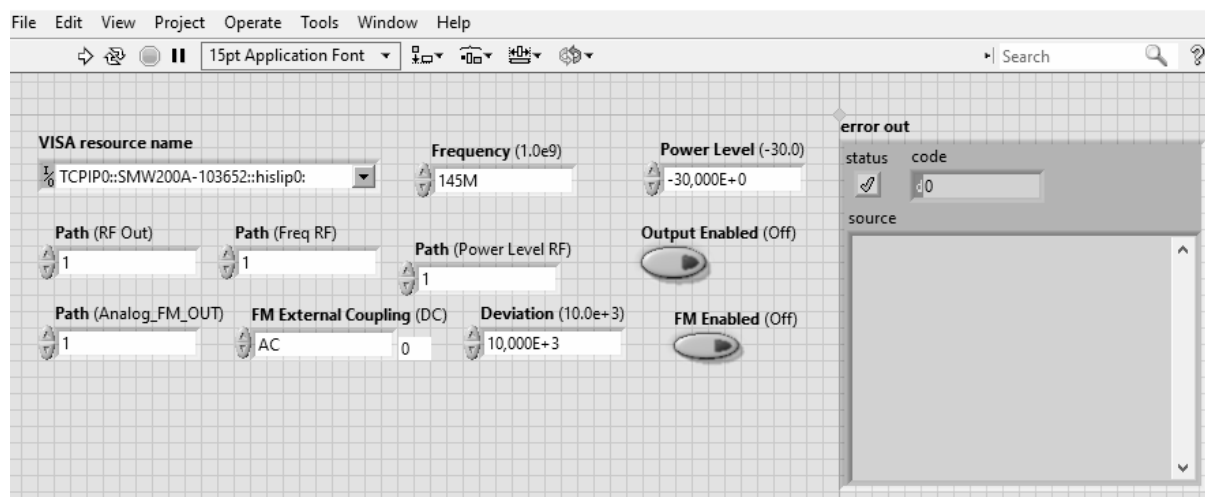


Рис. 4. Лицевая панель программы автоматизированного управления векторным генератором сигналов R&S SMW200A

Fig. 4. Front panel of the R&S SMW200A vector signal generator automated control program

Данная программа использовалась для имитации воздействия преднамеренных помех в канал связи при передаче аудиофайла по эфиру.

Программа автоматизированного управления анализатором спектра и сигналов R&S FSW8

Контрольно-измерительным прибором R&S FSW8 также можно реализовать автоматизированное управление. Для автоматизированного управления контрольно-измерительным прибором была разработана программа в среде разработки программ LabVIEW. Данная программа позволяет настраивать анализатор спектра сигналов на отображение спектрограммы входного (передаваемого по радиоэфиру с помощью SDR-трансивера USRP X300) сигнала. При этом необходимо задать значения центральной частоты анализа (Frequency Center), начальной частоты анализа (Frequency Start), конечной частоты анализа (Frequency Stop) и времени обновления дисплея (Sweep Time) анализатора спектра и сигналов R&S FSW8. Также необходимо настроить уровень сопротивления на ВЧ-входе (Impedance, Input Coupling), выбрать тип фильтра (Sweep Coupling) – фильтра промежуточной частоты или видеополосового фильтра, полосу фильтра (Coupling Value), управлять вертикальной разверткой. Лицевая панель программы автоматизированного управления анализатором спектра

и сигналов R&S FSW8 представлена на рисунке 5, на котором отображается спектрограмма гармонического сигнала на несущей частоте 145 МГц и полосой обзора 2 МГц.

Программа автоматизированного управления анализатором сигналов и спектра R&S FSW8 применяется в данной работе для наблюдения спектра передаваемого сигнала (записи OFDM-сигнала) и спектра преднамеренных помех [12].

Влияния помехи в виде тонального гармонического сигнала на процесс передачи аудиофайла

В результате исследования проведена оценка вероятности битовой ошибки в зависимости от уровня помехи, в нашем случае – тонального гармонического сигнала, который формируется с помощью векторного генератора сигналов R&S SMW200A. В процессе программно-аппаратного моделирования уровень OFDM-сигнала задавался в программу автоматизированного управления SDR-трансивером USRP X300 сигнала и составлял 5 дБм. За время проведения моделирования уровень OFDM-сигнала оставался постоянным, а уровень помехи изменялся от 0 до 30 дБм.

В таблице 1 приведены результаты исследования вероятности битовой ошибки от уровня помехи в виде тонального гармонического сигнала.

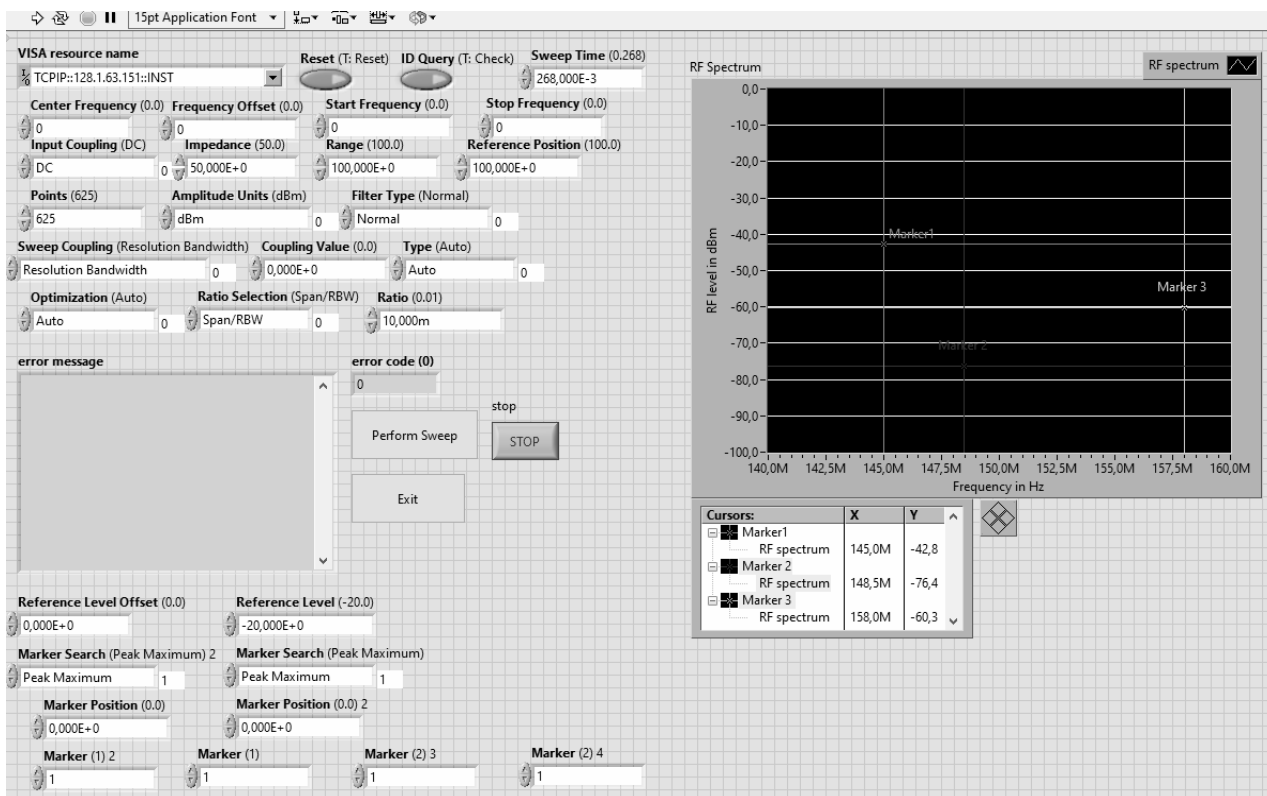


Рис. 5. Лицевая панель программы автоматизированного управления анализатором спектра и сигналов R&S FSW8

Fig. 5. The front panel of the R&S FSW8 signal and spectrum analyzer automated control program

Таблица 1. Результаты исследования битовой ошибки от уровня помехи

Table 1. The results of the study of bit error from the level of interference

Уровень помехи, дБм	0	5	10	15	20	25	30
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ошб}}$	0,064	0,154	0,2414	0,3806	0,9390	0,4935	0,5008

На рисунке 6 представлен график зависимости вероятности битовой ошибки от уровня помехи в виде тонального гармонического сигнала.

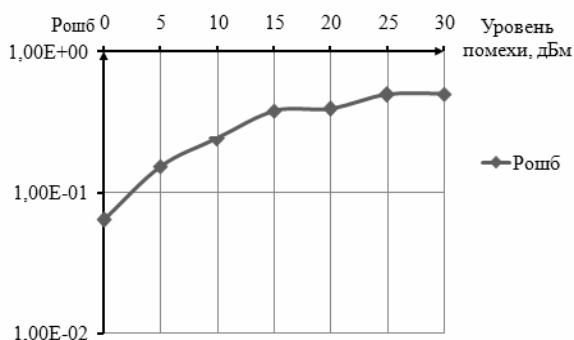


Рис. 6. График возрастания вероятности битовой ошибки от увеличения уровня помехи

Fig. 6. Graph of increasing probability of bit error from increasing interference level

По результатам исследования зависимости вероятности битовой ошибки от уровня помехи в виде тонального гармонического сигнала видно, что при увеличении значения уровня помехи по мощности вероятность битовой ошибки возрастает. Например, при значении уровня помехи 10 дБм вероятность битовой ошибки равна 0,2414, а при уровне помехи 15 дБм – 0,3806. Также важно отметить, что при уровне помехи 5 дБм вероятность битовой ошибки равна 0,154. Из этого можно сделать вывод, что система связи при использовании сигнал OFDM будет подавлена в результате воздействия помехи.

Влияния помехи в виде аналогового ЧМ-сигнала на процесс передачи аудиофайла

В результате исследования проведена оценка вероятности битовой ошибки в зависимости от уровня помехи в виде аналогового ЧМ-сигнала, который формируется с помощью векторного генератора сигналов R&S SMW200A.

В процессе программно-аппаратного моделирования уровень OFDM-сигнала задавался в программу автоматизированного управления SDR-трансивером USRP X300 сигнала и составлял 10 дБм. За время проведения моделирования

уровень OFDM-сигнала оставался постоянным, а уровень помехи изменялся от -30 до 0 дБм.

В таблице 2 приведены результаты исследования вероятности битовой ошибки от уровня помехи в виде аналогового ЧМ-сигнала.

Таблица 2. Результаты исследования битовой ошибки от уровня помехи

Table 2. The results of the study of bit error from the level of interference

Уровень помехи, дБм	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Вероятность битовой ошибки $P_{\text{ошб}}$	0,0054	0,065	0,1422	0,5013	0,5014	0,4935	0,5008

На рисунке 7 представлен график зависимости вероятности битовой ошибки от уровня помехи в виде аналогового ЧМ-сигнала.

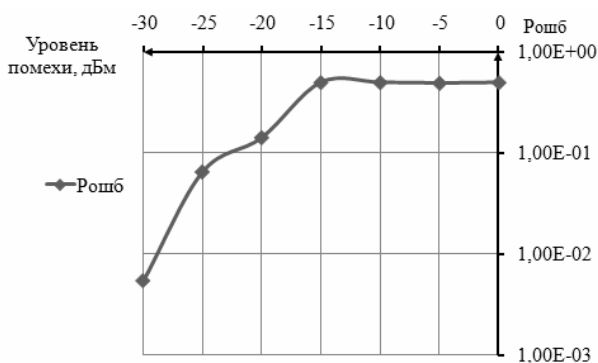


Рис. 7. График возрастания вероятности битовой ошибки от увеличения уровня помехи

Fig. 7. Graph of increasing probability of bit error from increasing interference level

По результатам исследования зависимости вероятности битовой ошибки от уровня помехи в виде аналогового ЧМ-сигнала видно, что при увеличении значения уровня помехи по мощности вероятность битовой ошибки возрастает. Например, при значении уровня помехи -30 дБм вероятность битовой ошибки равна $0,0054$, при уровне помехи -25 дБм вероятность битовой ошибки составляет $0,065$. При уровне помехи от -15 до 0 дБм наблюдается сбой кадровой синхронизации при демодуляции OFDM-сигнала в приемнике. Сбой кадровой синхронизации говорит о том, что система связи подавлена воздействием помехи в виде аналогового ЧМ-сигнала. Также важно отметить, что при уровне помехи -20 дБм вероятность битовой ошибки равна $0,1422$. Из этого можно сделать вывод, что система связи при использовании сигнал OFDM будет подавлена в результате воздействия помехи [13].

Выводы

Разработана структура программно-аппаратного комплекса для имитации радиоэлектрон-

ного противодействия работе средств связи, а также программное обеспечение для автоматизированного управления приборами Rohde & Schwarz и оборудованием National Instruments в среде разработки LabVIEW. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет учитывать физические характеристики реальных приемопередающих трактов средств связи и каналов связи. При этом программно-аппаратный комплекс может использовать в качестве источника и приемника сигналов как существующие средства связи, так и SDR-трансиверы.

В ходе разработки программно-аппаратного комплекса были созданы программы для автоматизированного управления приборами (Rohde & Schwarz) и оборудованием (National Instruments), которые входят в состав комплекса. Также проведено программно-аппаратное моделирование работы средств связи, использующее сигналы OFDM в условиях воздействия преднамеренных помех. В процессе моделирования в качестве источника сигнала использовался SDR-трансивер USRP X300, а в качестве приемника сигнала — SDR-трансивер NI USRP-2901. В программно-аппаратном комплексе в качестве передатчика помех используется векторный генератор сигналов R&S SMW200A.

С помощью комплекса проведено моделирование для оценки устойчивости сигналов OFDM к воздействию помех тонального и аналогового ЧМ-сигнала.

Разработанный программно-аппаратный комплекс для имитации работы средств связи в условиях радиоэлектронного противодействия позволяет оперативно изменять параметры средств радиоэлектронной борьбы и проводить оценку влияния радиоэлектронных помех на процесс работы средств связи.

Разработано программное обеспечение комплекса, создающее условия для автоматизированного управления приборами и оборудованием. Комплекс позволяет задавать режимы работы с персонального компьютера.

Библиографические ссылки

1. Rupali B.P., Kulat K.D., Gandhi A.S. SDR Based Energy Detection Spectrum Sensing in Cognitive Radio for Real Time Video Transmission. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2018, Article ID 2424305, 10 p. doi.org/10.1155/2018/224305.
2. Tanveer A., Khan Z.U., Malik A.N., Qureshi I.M., Lee S. Flexible Queuing Model for Number of Active Users in Cognitive Radio Network Environment. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018. doi.org/10.1155/2018/8349486.
3. Halloush R., Musa A., Salameh H.B., Halloush M., Almalkawi I. A resource sharing platform for resource-constrained software defined cognitive radio networks. *Fifth International Conference on Software Defined Systems (SDS)*, Barcelona, 2018, pp. 32-39. doi: 10.1109/SDS.2018.8370419.
4. Fabio Principe, Giacomo Bacci, Filippo Giannetti, Marco Luise. Software-Defined Radio Technologies for GNSS Receivers: A Tutorial Approach to a Simple Design and Implementation. *International Journal of Navigation and Observation*, 2011, Article ID 979815, 27 p. doi.org/10.1155/2011/979815.
5. Van Tam Nguyen, Frederic Villain, Yann Le Guillou. Cognitive Radio RF: Overview and Challenges. *VLSI Design*, 2012, Article ID 716476, 13 p. doi.org/10.1155/2012/716476.
6. Definition of cognitive radio system 2009 Report ITU-R SM.2152 09/2009 (Geneva).
7. Васильев О. И., Нистюк А. И. Тактильная связь с телекоммуникационными устройствами // Интеллектуальные системы в производстве. 2015. № 2 (26). С. 85–88.
8. Построение системы контроля и тестирования радиосистем как элемент ИОТ / В. В. Хворенков, А. И. Нистюк, Р. А. Хатбуллин, А. А. Зыкин // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 3. С. 155–165. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-155-165.
9. Алгоритмы управления режимами работы системы когнитивного радио / Г. А. Благодатский, А. Н. Копысов, В. В. Хворенков, И. С. Батурин // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 4. С. 93–106. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-93-106.
10. Fuqin Xiong. Digital Modulation Techniques. Second Edition. ARTECH HOUSE, INC. 685 Canton Street Norwood, MA, 2006, 1039 p.
11. Ермолаев В. Т., Флакман А. Г. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи : монография. Н. Новгород : Изд-во ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2011. 368 с.
12. Использование технологии «интернет вещей» для создания автоматизированных систем контроля и тестирования радиосистем / А. Н. Копысов, В. В. Хворенков, А. А. Зыкин, М. М. Марков, А. А. Богданов // Успехи современной радиоэлектроники. 2018. № 12. С. 71–76. DOI: 10.18127/j20700784-201812-15.
13. Программно-аппаратный комплекс для имитации радиоэлектронного противодействия работе средств связи / М. А. Бояршинов, Р. А. Хатбуллин, А. А. Зыкин, Ю. Н. Черенков, Ю. Т. Загидуллин, А. А. Симушин // Приборостроение в XXI веке – 2019. Интеграция науки, образования и производства : Сб. материалов XV Всерос. науч.-техн. конф. (Ижевск, 20–22 ноября 2019 г.). Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2019. С. 194–202.

References

1. Rupali B.P., Kulat K.D., Gandhi A.S. SDR Based Energy Detection Spectrum Sensing in Cognitive Radio for Real Time Video Transmission. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2018, Article ID 2424305, 10 p. doi.org/10.1155/2018/224305.
2. Tanveer A., Khan Z.U., Malik A.N., Qureshi I.M., Lee S. Flexible Queuing Model for Number of Active Users in Cognitive Radio Network Environment. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018. doi.org/10.1155/2018/8349486.
3. Halloush R., Musa A., Salameh H.B., Halloush M., Almalkawi I. A resource sharing platform for resourceconstrained software defined cognitive radio networks. *Fifth International Conference on Software Defined Systems (SDS)*, Barcelona, 2018, pp. 32-39. doi: 10.1109/SDS.2018.8370419.
4. Fabio Principe, Giacomo Bacci, Filippo Giannetti, Marco Luise. Software-Defined Radio Technologies for GNSS Receivers: A Tutorial Approach to a Simple Design and Implementation. *International Journal of Navigation and Observation*, 2011, Article ID 979815, 27 p. doi.org/10.1155/2011/979815.
5. Van Tam Nguyen, Frederic Villain, Yann Le Guillou. Cognitive Radio RF: Overview and Challenges. *VLSI Design*, 2012, Article ID 716476, 13 p. doi.org/10.1155/2012/716476.
6. Definition of cognitive radio system 2009 Report ITU-R SM.2152 09/2009 (Geneva).
7. Vasilyev O.I., Nistyuk A.I. [Tactile communication with telecommunication devices]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2015, no. 2, pp. 85-88 (in Russ.).
8. Khorenkov V.V., Nistyuk A.I. Khatbullin R.A., Zykin A.A. [Building a System for Monitoring and Testing Radio Systems As an IoT Element]. *Vestnik IzhGTU imeni M T. Kalashnikova*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 155-165 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-155-165.
9. Blagodatskii G.A., Kopysov A.N., Khvorenkov V.V., Baturin I.S. [Cognitive Radio System Operational Control Algorithm]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 93-106 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-93-106.
10. Fuqin Xiong. Digital Modulation Techniques. Second Edition. ARTECH HOUSE, INC. 685 Canton Street Norwood, MA, 2006, 1039 p.
11. Ermolaev V.T., Flaksman A.G. *Teoreticheskie osnovy obrabotki signalov v besprovodnykh sistemakh*

svyazi [Theoretical foundations of signal processing in wireless communication systems]. Nizhny Novgorod, NNSU imeni N.I. Lobachevsky Publ., 2011, 368 p. (in Russ.).

12. Kopysov A.N., Khvorenkov V.V., Zykin A.A., Markov M.M., Bogdanov A.A. [Using the Internet of Things technology to create automated systems for monitoring and testing radio systems]. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2018, no. 12, pp. 71-76 (in Russ.). DOI: 10.18127/j20700784-201812-15.

13. Boyarshinov M. A., Khatbullin R. A., Zykin A. A., Cherenkov Yu. N., Zagidullin Yu. T., Simushin A. A.

Programmno-apparatnyi kompleks dlya imitatsii radioelektronnogo protivodeistviya rabote sredstv svyazi [Hardware-software complex with the purpose of simulation jamming support communication activity]. *Priborostroenie v XXI veke - 2019. Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva : Sb. materialov XV Vseros. nauch.-tekhn. konf. (Izhevsk, 20-22 noyabrya 2019 g.)* [Instrumental Engineering in the XXI Century. Integration of Science, Education and Production]. Proc. XV All-Russia scientific conference (Izhevsk, November 20-22, 2019). Izhevsk, IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova Publ., 2019, pp. 194-202 (in Russ.).

Development of Software and Hardware for Simulating the Operation of Radio Communication Facilities

A.A. Zykin, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

V.V. Khvorenkov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A.A. Kopysov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

M.A. Boyarshinov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

R.A. Khatbullin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The paper is devoted to developing a software and hardware complex that allows simulating the operation of communication facilities under the influence of natural and deliberate interference. The hardware and software complex is based on Rohde & Schwarz instruments and National Instruments equipment. The developed software and hardware complex allows taking into account the physical characteristics of real transceiver paths of communication facilities and communication channels. Simultaneously, the software and hardware complex can use both existing communication means and SDR transceivers as a source and receiver of signals.

In the course of work on developing a software and hardware complex, programs were designed for automated control of devices (Rohde & Schwarz) and equipment (National Instruments), which are part of the developed software and hardware complex. Also, software and hardware modeling of communication facilities' operation using OFDM signals under the influence of deliberate interference was carried out.

As a result of software and hardware modeling of communication facilities' operation under the influence of deliberate interference, the OFDM signal's stability to interference in the form of a tone and analog FM signal was investigated. Based on the simulation results, graphs of the dependence of the bit error probability on the level of the interfering signal (interference) were obtained. The results show that with an increase in the interference level's value, the probability of a bit error increases. For example, when the interference in the form of a harmonic tone signal with a level of 10 dBm affects the transmission of an OFDM signal, the probability of a bit error is 0.2414; with an interference level of 15 dBm, the probability of a bit error is 0.3806. Also, under the influence of interference in the form of an analog FM signal, we see that with an increase in the interference level's value, the probability of a bit error increases. For example, when the interference level is -30 dBm, the bit error probability is 0.0054; when the interference level is -25 dBm, the bit error probability is 0.065.

The developed hardware and software complex for simulating communication facilities' operation in the conditions of electronic countermeasures allows you to quickly change the parameters of electronic warfare and assess the impact of electronic interference on communication facilities' operation. The developed software of the complex provides automated control of devices and equipment. The complex allows you to set operating modes from a personal computer.

Keywords: automated control, system, LabVIEW, Rohde & Schwarz, National Instruments, electronic jamming.

Получено 07.07.2020

Образец цитирования

Разработка программно-аппаратных средств для имитации работы радиосредств связи / А. А. Зыкин, В. В. Хворенков, А. Н. Копысов, М. А. Бояршинов, Р. А. Хатбуллин // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 4. С. 60–68. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-60-68.

For Citation

Zykin A.A., Khvorenkov V.V., Kopysov A.A., Boyarshinov M.A., Khatbullin R.A. [Development of Software and Hardware for Simulating the Operation of Radio Communication Facilities]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 4, pp. 60-68 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-4-60-68.