

УДК 519.876.5

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ОСНОВАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОБОРУДОВАНИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИГордяскина Т. В.¹, Лебедева С. В.¹¹Волжский государственный университет водного транспорта, Россия, Нижний НовгородСтатья **поступила** 22.05.2025, **принята** к публикации 30.06.2025. Опубликована онлайн.

Аннотация. Современный специалист по технической эксплуатации транспортного радиооборудования должен обладать теоретическими знаниями, практическими навыками и умениями по разработке структуры объекта профессиональной деятельности, выбора параметров оборудования для технической диагностики и возможной его модернизации. Поэтому в рамках учебного процесса применяются комплексные методики изучения радиоэлектронных средств на базе отдельных объектов профессиональной деятельности.

На кафедре радиоэлектроники ФГБОУ ВО «ВГУВТ» одним из базовых изучаемых объектов является оборудование судового радиотехнического канала связи. Изучение физических процессов в канале связи начинается с исследования аналоговых систем на младших курсах. Целью является теоретическое исследование классических методов преобразований радиотехнических сигналов линейными и нелинейными радиотехническими цепями в передающем и приемном устройствах. Наглядность преобразований с целью формирования целостного видения структуры и функций отдельных блоков и всего оборудования канала связи обеспечивается компьютерным моделированием в программной среде Multisim.

На старших курсах объектом исследования является цифровые радиоэлектронные средства, обеспечивающие преобразования сигналов в цифровых радиотехнических

каналах связи. Особое внимание в процессе обучения уделяется взаимосвязи аналоговых и цифровых радиоэлектронных средств; уточняются особенности дискретизации аналоговых сигналов, синтеза линейных цифровых фильтров, цифрового детектирования. Теоретические исследования закрепляются компьютерным моделированием цифрового канала связи в Matlab Simulink, что позволяет проанализировать весь путь преобразования управляющего низкочастотного сигнала приемо-передающей аппаратурой.

Внедрение данной методики исследований, включающей как теоретическое изучение, так и компьютерное моделирование процессов в аналоговых и цифровых радиотехнических системах, в учебный процесс позволит увеличить качество и эффективность формирования профессиональных компетенций у будущих выпускников специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», повысит их конкурентоспособность на рынке труда.

Ключевые слова: объект профессиональной деятельности, радиотехнический канал связи, аналоговые и цифровые радиоэлектронные средства, теоретическое изучение, компьютерное моделирование, технические характеристики, блоки радиооборудования, модели сигналов

THE METHODOLOGY OF TEACHING THE BASICS OF MODELING PHYSICAL PROCESSES IN THE EQUIPMENT OF THE RADIO COMMUNICATION CHANNEL

Gordyaskina T. V.¹, Lebedeva S. V.¹¹Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. A modern specialist in the technical operation of transport radio equipment must have theoretical knowledge, practical skills and abilities to develop the structure of the object of professional activity, select the parameters of equipment for technical diagnostics and its possible modernization. Therefore, within the framework of the educational process, complex methods of studying radio-electronic means based on individual objects of professional activity are used.

At the Department of Radio Electronics, one of the basic objects studied is the equipment of the ship's radio communication channel. The study of physical processes in a communication channel begins with the study of analog systems in junior courses. The aim is a theoretical study of classical methods of converting radio signals by linear and nonlinear radio circuits in transmitting and receiving devices. The visibility of transformations in order to form a holistic vision of the structure and functions of individual blocks and all communication channel equipment is provided by computer modeling in the Multisim software environment.

In senior courses, the object of research is digital radio-electronic devices that provide signal

conversion in digital radio communication channels. Special attention in the learning process is paid to the relationship between analog and digital radio electronic devices; the features of sampling analog signals, synthesizing linear digital filters, and digital detection are clarified. Theoretical research is supported by computer modeling of the digital communication channel in Matlab Simulink, which allows analyzing the entire path of conversion of the low-frequency control signal by the receiving and transmitting equipment.

The introduction of this research methodology, which includes both theoretical study and computer modeling of processes in analog and digital radio engineering systems, into the educational process will increase the quality and effectiveness of the formation of professional competencies among future graduates of the specialty "Technical operation of transport radio equipment", increase their competitiveness in the labor market.

Keywords: the object of professional activity, radio engineering communication channel, analog and digital electronic means, theoretical study, computer modeling, technical characteristics, radio equipment units, models of signals

Введение

В федеральном государственном образовательном учреждении «Волжский государственный университет водного транспорта» (ВГУВТ) проводится подготовка инженеров по специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

В рамках образовательной программы специализации «Радиосвязь и электрорадионавигация морского флота» курсантами должны быть освоены профессиональные компетенции, что позволит выпускникам эффективно

проводить техническую диагностику объектов профессиональной деятельности.

В соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства и Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты все суда оснащаются судовыми средствами радиосвязи, обеспечивающими надежную беспроводную связь с береговыми службами и соседними судами [1, 2]. Поэтому одним из объектов профессиональной деятельности радиоинженера - выпускника ВГУВТ является радиотехнический канал связи [3, 4].

Методы и результаты

Потребность в решении задачи поиска кратчайшего маршрута в транспортной логистике появляется постоянно, но часто усложняется дополнительными ограничениями, такими как пробки на дорогах, ограничения по скорости и времени доставки. Поэтому часто приходится выбирать различные алгоритмы и решать одну и ту же задачу несколько раз.

Существует несколько наиболее распространенных алгоритмов, предназначенных для решения задачи поиска кратчайшего маршрута [8]:

- алгоритм Дейкстры – используется для определения кратчайшего пути от одной вершины до всех остальных в графе с неотрицательными весами ребер;
- алгоритм Литгла – используется для решения задачи «коммивояжера» (TSP задачи).

Несмотря на свою теоретическую сложность, TSP задача широко используется в реальном мире:

- логистика и транспорт: оптимизация маршрутов доставки товаров и передвижения транспорта;

- робототехника: планирование передвижений автономных роботов, дронов и производственных механизмов;
- молекулярная биология: анализ последовательностей ДНК;
- производственные процессы: маршрутизация станков и оптимизация производства;
- коммуникационные сети: минимизация затрат на соединение узлов сети.

Целесообразно рассмотреть вышеуказанные алгоритмы для решения задач в области логистики и транспорта.

Теоретическое изучение процессов в радиотехническом канале связи

Упрощенная структура радиотехнического канала связи представлена на рис. 1 [5]. В методике рассматривается процесс на примере однотоновой амплитудной модуляции (АМ), отражающий основы функционирования приемо-передающей аппаратуры. Управляющее гармоническое колебание берется из звукового диапазона частот ($f_{упр}=10\text{кГц}$), несущее гармоническое колебание – с частотой $f_{нес}=500\text{кГц}$, что соответствует относительно узкополосному модулированному сигналу: $f_{упр}/f_{нес} = 10^4/(5 \cdot 10^5) = 0,02 \ll 1$.

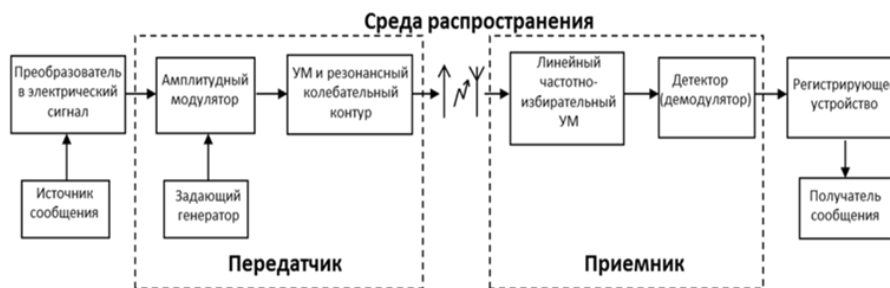


Рис. 1. Структура радиотехнического канала связи

Теоретические модели управляющего $U_{упр}(t) = U_{му} \cos(\omega_y t)$, несущего $U_{несущ}(t) = U_{мн} \cos(\omega_n t)$ и АМ сигналов $U_{АМ}(t) = U_{мн} \left[1 + \left(\frac{U_{му}}{U_{мн}} \right) \cos(\omega_y t) \right] \cos(\omega_n t)$ в передающем устройстве, а также управляющего сигнала на выходе приемника $U_{вых}(t) = U_{му} \cos(\omega_y t)$ приведены на рис. 2-5.

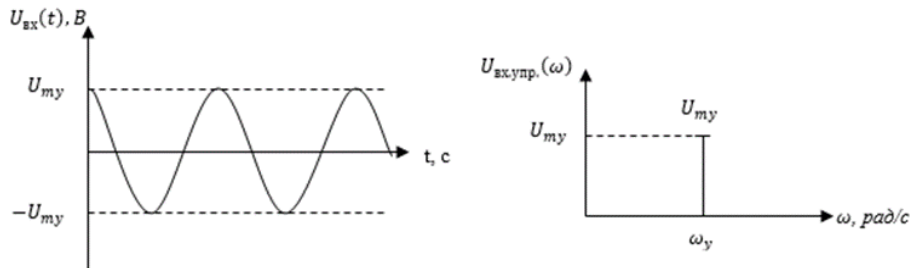


Рис. 2. Осциллограмма и спектр гармонического управляющего сигнала

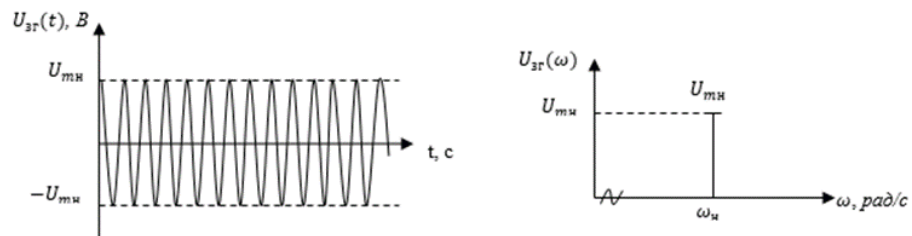


Рис. 3. Осциллограмма и спектр гармонического несущего колебания

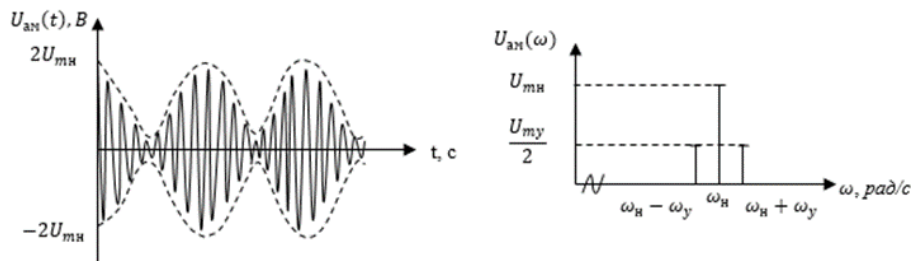


Рис. 4. Осциллограмма и спектр амплитудно-модулированного колебания

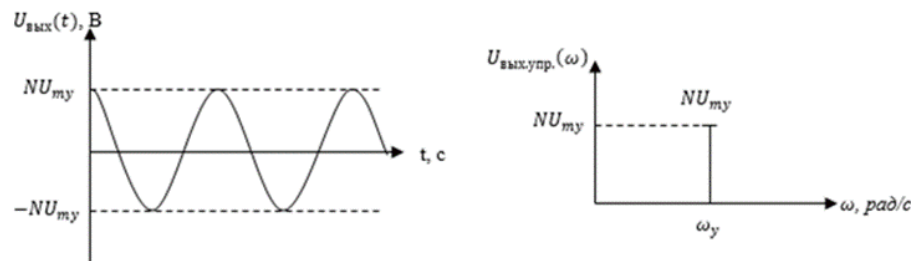


Рис. 5. Осциллограмма и спектр на выходе приемного устройства

В данной статье не приводится методика расчета параметров усилителей, модуляторов, детекторов, фильтров, но перед проведением компьютерного моделирования обязательно проводится расчет номинальных значений всех элементов оборудования.

Компьютерное моделирование процессов преобразования сигналов в аналоговом канале связи в Multisim

Компьютерное моделирование с помощью программного пакета Multisim параметров и характеристик линейных и нелинейных цепей, процесса преобразования сигналов в блоках передающих и приемных устройств канала связи, позволяет обучающимся сформировать целостное видение структуры и функций объектов профессиональной деятельности [6]. Предлагаемая методика дает возможность на конкретном сигнале посмотреть все «классические»

преобразования сигналов в модуляторе, усилителе, детекторе, подключая осциллографы и анализаторы спектра на входы и выходы блоков. На рис. 6. указана структурная схема аналоговых приемо-передающих устройств в Multisim, состоящих их стандартных модулей (усилителей, фильтров, модулятора, детектора) для параметров сигналов: $U_{упр}=40\text{мВ}$, $f_{упр}=10\text{кГц}$; $U_{нес}=30\text{мВ}$, $f_{нес}=500\text{кГц}$.

Можно попробовать представить исходные данные немного иначе – зададим расстояние между пунктами не в виде матрицы [6], как указано на рис.1 и рис.2, а в виде наиболее привычной формы таблицы (пункты отправления, пункты назначения), общий вид которой представлен на рис.3.

Осциллограммы и спектры на входе передатчика приведены на рис. 7, 8. На выходе амплитудного модулятора формируется радиосигнал, который после блока усиления (рис. 9) излучается в среду распространения.

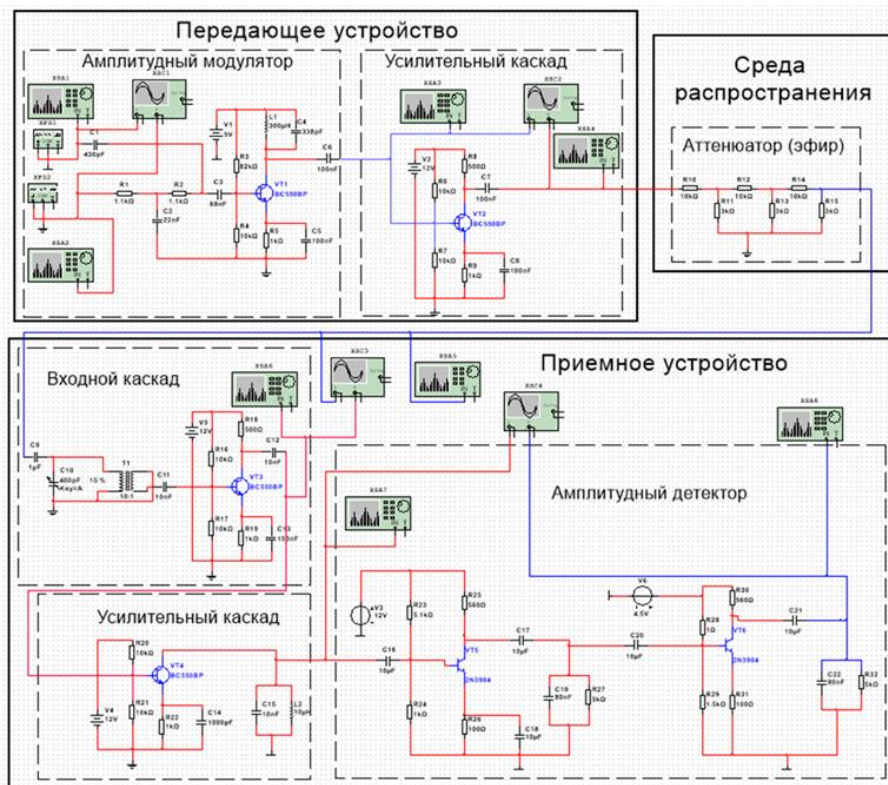


Рис. 6. Модель аналогового приемо-передающего оборудования в Multisim

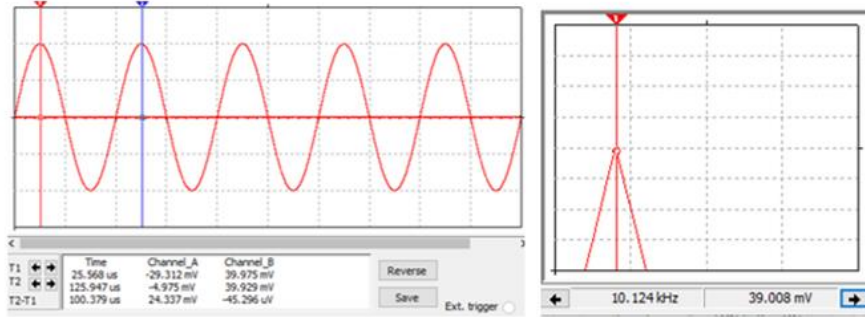


Рис. 7. Осциллограмма и спектр управляющего сигнала

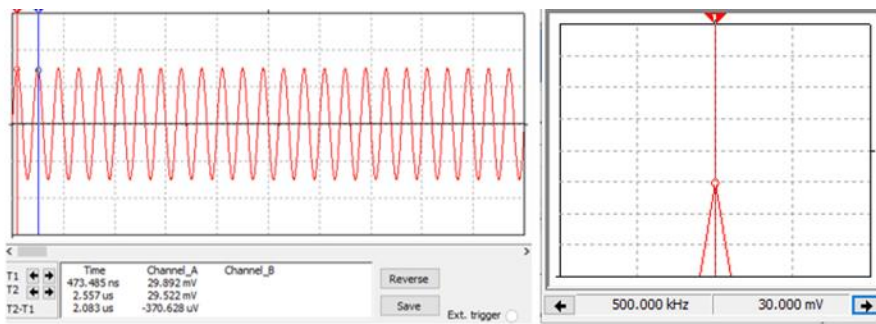


Рис. 8. Осциллограмма и спектр несущего сигнала

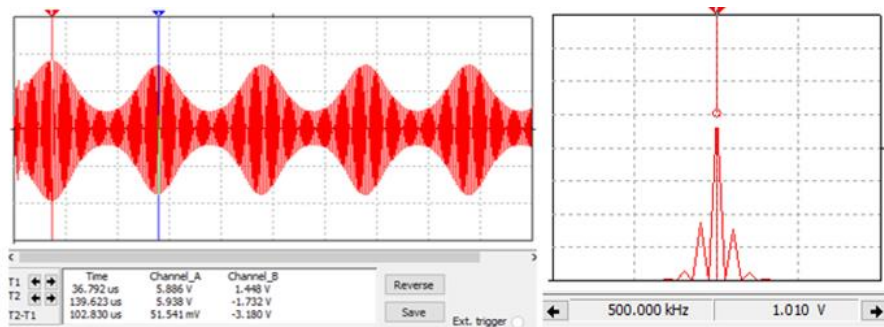


Рис. 9. Осциллограмма и спектр амплитудно-модулированного сигнала

Передача радиосигнала в среде распространения эмулируется аттенуатором, ослабляющим передаваемый сигнал в 100 раз. После фильтрации и усиления АМ радиосигнала входным полосовым фильтром и усилителем (RC – усилитель и резонансный усилитель ($f_{рез} = f_{нес}$) на биполярном транзисторе), АМ-сигнал передается на детектор для выделения управляющего колебания. Блок детектора выполнен в виде каскада усилителей на биполярных транзисторах, нагрузкой которых является ФНЧ (RC-цепь)

с расчетной $f_{среза} \geq f_{упр}$. Сигналы на входе и выходе детектора представлены на рис. 10.

Применение компьютерных технологий позволяет соединить «классические» схемы блоков радиотехнических устройств (на биполярных транзисторах выполнены: RC и резонансные усилительные каскады, модулятор и детектор), изучаемые в теоретической части дисциплин, и наглядно продемонстрировать весь процесс преобразований сигнала в аналоговом канале связи.

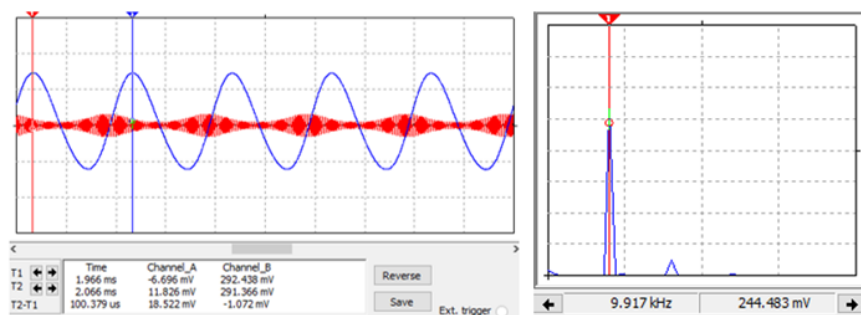


Рис. 10. Осциллограммы на входе и выходе детектора и спектр на выходе детектора

Анализ управляющего сигнала (осциллограмм, спектров) на входе передающего и выходе приемного устройств подтверждает теоретические расчеты, так как параметры сигнала на выходе приемного устройства с точностью до 90% соответствуют параметрам управляющего сигнала на входе передающего устройства, то есть сигнал был передан по каналу связи без потерь качества.

Компьютерное моделирование процессов преобразования сигналов в цифровом канале связи в Matlab

Физические процессы преобразования сигналов в цифровом канале радиосвязи аналогичны процессам в аналоговом канале, отличия в приемо-передающей аппаратуре. Аппаратно приемо-передающая аппаратура может выполняться на цифровых сигнальных процессорах, программное обеспечение которых позволяет синтезировать различные преобразования сигналов (генерацию несущего колебания, усиление, модуляцию и детектирование) [7,8]. Особую сложность при синтезе цифровых устройств представляет реализация линейной фильтрации.

Линейные цифровые фильтры реализуются в виде нерекурсивных или рекурсивных алгоритмов, обеспечивающих требуемую амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), синтезированные в Matlab значения импульсной характеристики фильтра записываются в сигнальный процессор.

На рис. 11 приведено окно синтеза полосового цифрового нерекурсивного фильтра, в котором, наряду с типом алгоритма фильтрации, задаются частоты среза (F_{pass}), определяющие ширину полосы пропускания фильтра, коэффициенты затухания в полосах пропускания (A_{pass}) и задерживания (A_{stop}), частота дискретизации (F_s).

Параметры фильтра определяются, исходя из параметров передаваемых сигналов: коэффициент затухания (A_{pass}) в полосе пропускания не более 3дБ; коэффициент затухания в полосе задерживания (A_{stop}) не менее 60дБ, что обеспечивает электромагнитную совместимость синтезируемых устройств; $f_{несущ} = 500\text{кГц}$, $f_{управл} = 10\text{кГц}$, $f_{дискретизации} = F_s = 5\text{МГц}$. F_s выбирается единой для всей приемо-передающей аппаратуры канала связи в соответствии с условиями теоремы Котельникова: $F_{дискр} \geq 2F_{верхн}$, где $F_{верхн}$ – максимальная частота спектра сигнала (в рассматриваемом примере АМ-колебания).

Синтезированный цифровой фильтр имеет АЧХ, идентичную АЧХ полосового аналогового фильтра, что позволяет обучающимся соотнести требования для формирования АМ-сигнала на цифровой и аналоговой аппаратуре.

Усиление сигналов в цифровой модели канала связи задается блоком Gain (в примере коэффициент усиления взят равным 10).

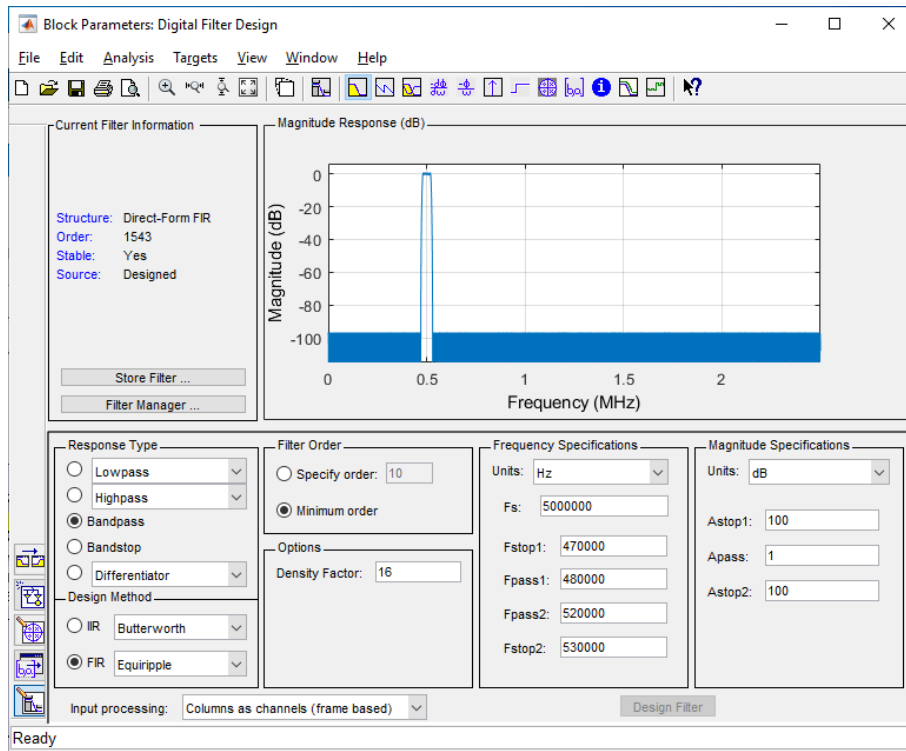


Рис. 11. Рабочее окно синтеза полосового цифрового нерекурсивного фильтра

Модулятор и детектор реализуются блоками DSB AM, в которых задаются модели формирования АМ-сигнала и его детектирования. Параметры несущего колебания задаются в модуляторе.

В процессе изучения особенно обращается внимание, что выделение управляющего сигнала из АМ-колебания цифровой аппаратурой отличается от аналоговых детекторных устройств, выполненных на транзисторных усилителях с нагрузкой в виде ФНЧ, что позволяет за счет нелинейной ВАХ транзистора получить полигармонический сигнал, из которого ФНЧ выделяется управляющее колебание.

В цифровых системах имеется только принятый АМ-сигнал и информация о параметрах несущего сигнала. Поэтому в цифровом детекторе происходит операция

перемножения АМ-сигнала на несущее колебание с дальнейшим выделением из полученного полигармонического сигнала управляющего колебания цифровым ФНЧ. Цифровой ФНЧ синтезируется в блоке детектора (рассчитывается частота среза АЧХ: $f_{\text{среза}} \geq f_{\text{упр}}$).

Среда распространения сигнала в данной упрощенной модели выполнена в виде линии связи, не учитывающей потери энергии при распространении сигнала и влияние помех. Эти факторы легко моделируются с помощью сумматора, в котором к АМ-сигналу можно добавлять помехи, а также аттенюатора, ослабляющего энергию АМ-сигнала.

Простейшая структура цифрового канала связи в программной среде Matlab Simulink приведена на рис. 12 [9, 10].

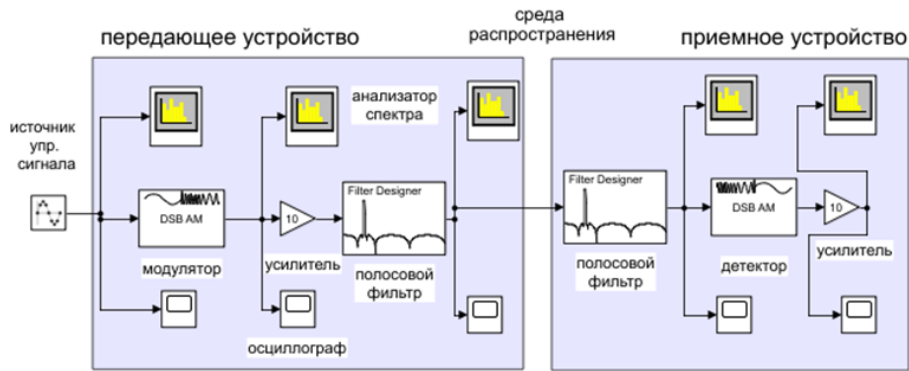


Рис. 12. Структура цифрового канала связи в Matlab Simulink

Цифровая модель канала связи позволяет проанализировать осциллограммы и спектры сигналов на входах и выходах всех блоков. Параметры сигналов в ключевых

точках модели (на входе передатчика, после модулятора, на выходе детектора) приведены на рис.13-15.

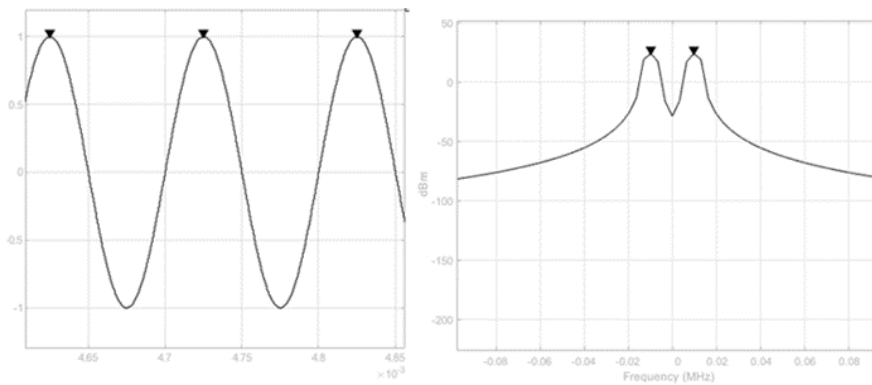


Рис. 13. Осциллограмма и спектр управляющего сигнала на входе передающего устройства

Отличительной особенностью спектрального представления в Matlab является комплексное представление спектра, что приводит к появлению спектральных

составляющих на отрицательной оси частот. Физический смысл имеет только спектральные составляющие в области положительных частот.

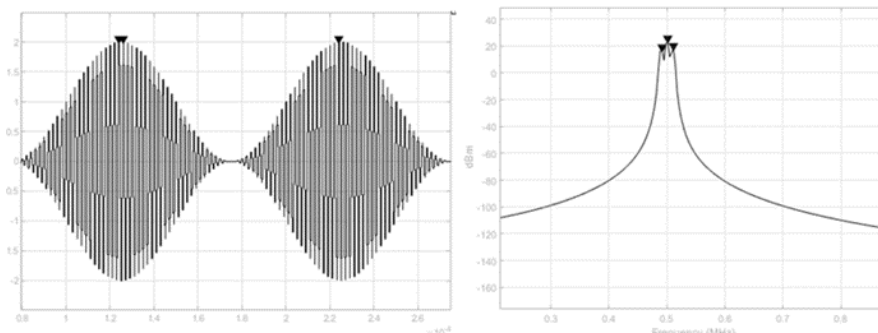


Рис. 14. Осциллограмма и спектр AM - сигнала в передающем устройстве

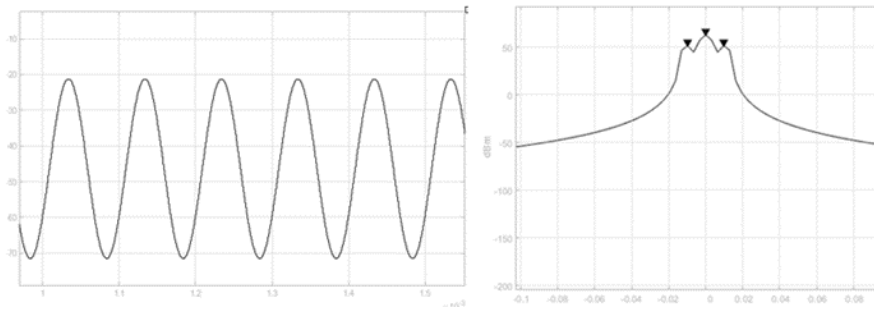


Рис. 15. Осциллограмма и спектр управляющего сигнала на выходе приемного устройства

Анализ осциллограмм и спектров сигналов в цифровом канале связи демонстрирует практическое полное совпадение с параметрами сигналов в аналоговом канале связи и с теоретическим представлением преобразований в приеме-передающей аппаратуре.

А именно, демонстрирует получение передаваемого сообщения (управляющего сигнала) на приемной стороне канала связи с минимальными искажениями [7-10].

Выводы

Рассмотренная методика изучения физических процессов в объектах профессиональной деятельности на базе упрощенной структуры радиотехнического канала связи позволяет:

- освоить расчет параметров отдельных блоков (фильтров, усилителей, модуляторов, детекторов) аппаратуры,
- понять, как происходит взаимодействие отдельных модулей в структуре канала, выяснить влияние функционирования каждого модуля на итоговый результат формирования сигнала на выходе приемника,
- сформировать у обучающихся целостную картину всего процесса преобразования сигнала в приеме-передающем оборудовании,
- более глубоко освоить профессиональные компетенции.

Список литературы

1. Российский морской регистр судоходства. Правила по оборудованию морских судов. Часть IV Радиооборудование. НД № 2-

020101-171. ФАУ «Российский морской регистр судоходства»: Санкт-Петербург, 2024. URL: [https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=96F4FBB0-A703-4EB6-819B-](https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=96F4FBB0-A703-4EB6-819B-562B7E299C68&f=2-020101-171-4)

562B7E299C68&f=2-020101-171-4 (дата обращения: 01.03.2025).

2. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДНВ-78) с поправками (консолидированный текст): – Санкт Петербург, АО «ЦНИИМФ», 2021.

3. Kuzmichev I. K., Plyushchayev V. I. Ways of the ship automatic mooring implementation with-in the framework of free shipping technology creation: Marine intellectual technologies. N 4 (42) V.2, 2018, pp.98-103.

4. Bazylev A. V., Plyushchayev V. I. Digital information system for inland water transport vessels based on AIS. Journal of Physics: Conference Series 2131 (2021) 032031 doi:10.1088/1742-6596/2131/3/032031

5. Гордяскина Т. В. Реализация синхронного детектора с применением сигнального процессора TMS320C5510 / Т. В. Гордяскина, А. С. Грошева // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 54. – С. 20-29. – EDN YSGUHZ.

6. Worldwide Technical Support and Product Information. NI Circuit Design Suite. URL: <https://www.ni.com/en/support/downloads/software-products/download.multisim.html#452133>/(дата обращения: 01.10.2024).

7. Солонина, А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Simulink / А. И. Солонина. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с. – (Учебное пособие). – ISBN 978-5-9775-0686-1. – EDN SDQUPR.
8. Грошева, Л. С. Исследование элементов судовой приемо-передающей аппаратуры на базе сигнального процессора TMS320C5510 / Л. С. Грошева, Т. В. Гордяскина // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 63. – С. 40-47. – DOI 10.37890/jwt.vi63.74. – EDN DONDMZ.
9. Дьяконов, В. П. MATLAB и Simulink для радиоинженеров. – М.: ДМК Пресс, 2011 – 976 с.
10. Schumacher, L., Kermoal, J.P., Mogensen, P. E. and Frederiksen, F.A. Stochastic MIMO Radio Channel Model with Experimental Validation //IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2002. Vol. 20, N. 6, pp. 1211-1226. August 2002.

References

1. Rossijskij morskoy registr sudoxodstva. Pravila po oborudovaniyu morskix sudov. Chast` IV Radiooborudovanie. ND № 2-020101-171. [Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the equipment of marine vessels. Part IV Radio equipment. ND No. 2-020101-171.], «Rossijskij morskoy registr sudoxodstva» [FAA "Russian Maritime Register of Shipping"], Saint Petersburg, 2024. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/get-Documents?type=rules3&d=96F4FBB0-A703-4EB6-819B-562B7E299C68&f=2-020101-171-4> (date accessed 03.01.2025). In Russ.
2. Mezhdunarodnaya konvenciya o podgotovke i diplomirovanii moryakov i nesenii vaxty` 1978 goda (PDNV-78) s popravkami (konsolidirovannyj tekst) [International Convention on the Training and Certification of Seafarers and Watch-keeping of 1978 (STCW-78), as amended (consolidated text)], Saint Petersburg, Publ. CNIIMF JSC, 2021. In Russ.
3. Kuzmichev I. K., Plyushchaev V. I. Ways of the ship automatic mooring implementation with-in the framework of free shipping technology

- creation: Marine intellectual technologies. N 4 (42) V.2, 2018, pp.98-103.
4. Bazylev A. V., Plyushchaev V. I. Digital information system for inland water transport vessels based on AIS. Journal of Physics: Conference Series 2131 (2021) 032031 doi:10.1088/1742-6596/2131/3/032031.
5. Gordyaskina T. V., Grosheva L. S., Realizaciya sinxronnogo detektora s primeneniem signal`nogo processora TMS320C5510 [Implementation of a synchronous detector using a TMS320C5510 signal processor], Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta [Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport]. 2018, N 54, pp.20-29. In Russ.
6. Worldwide Technical Support and Product Information. NI Circuit Design Suite. <https://www.ni.com/en/support/downloads/software-products/download.multisim.html#452133>/(date of access 01.10.2024).
7. Solonina, A. I., Cifrovaya obrabotka signalov. Modelirovanie v Simulink [Digital signal processing. Simulation in Simulink], St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2012, 432 p. ISBN 978-5-9775-0686-1. EDN SDQUPR. In Russ.
8. Grosheva L. S., Gordyaskina T. V., Issledovanie e`lementov sudovoj priemo-peredayushhej apparatury` na baze signal`nogo processora TMS320C5510 [Investigation of elements of ship's receiving and transmitting equipment based on the TMS320C5510 signal processor], Nauchny`e problemy` vodnogo transporta [Scientific Problems of Water Transport], 2020. № 63. pp. 40-47. DOI 10.37890/jwt.vi63.74. EDN DONDMZ.
9. D`yakonov, V. P., MATLAB i SIMULINK dlya radioinzhenerov [MATLAB and SIMULINK for radio engineers], Moscow, Publ. DMK Press, 2011, 976 pp. In Russ.
10. Schumacher, L., Kermoal, J.P., Mogensen, P. E. and Frederiksen, F.A. Stochastic MIMO Radio Channel Model with Experimental Validation //IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2002. Vol. 20, N. 6, pp. 1211-1226. August 2002.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/ ABOUT THE AUTHORS

Татьяна Вячеславовна Гордяскина, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент по кафедре радиоэлектроники, Морская академия; Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, klimtat@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-1105-3664

Светлана Владимировна Лебедева, кандидат технических наук, доцент, доцент по кафедре радиоэлектроники, Морская академия; Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, kaf_radio@vsuwt.ru

ORCID: 0009-0003-6024-0612

Tatyana Vyacheslavovna Gordyaskina, Candidate of Physics and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Radio Electronics, Maritime Academy; Volga State University of Water Transport, 5, str. Nesterov, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Svetlana Vladimirovna Lebedeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Radio Electronics, Maritime Academy; Volga State University of Water Transport, 5, str. Nesterov, Nizhny Novgorod, Russia, 603951