

УДК 519.876.5

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ МОДЕЛИ В MATLAB SIMULINK ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ В СУДОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Рыжова Анастасия Алексеевна¹, студент

e-mail: znaniya_uspeh@mail.ru

Гордяскина Татьяна Вячеславовна¹, доцент кафедры радиоэлектроники

e-mail: klimtat@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Рассмотренная методика изучения математических моделей радиоизлучений с использованием программных моделей в Matlab Simulink позволяет наглядно представить параметры осциллограмм и спектров амплитудно-модулированных сигналов в судовых системах связи.

Ключевые слова: радиоизлучения, программные модели амплитудной модуляции, Matlab Simulink, судовые системы связи, однополосная модуляция, спектр сигнала.

DEVELOPMENT OF AN ANALOG COMMUNICATION CHANNEL HARDWARE SIMULATOR FOR TRAINING SPECIALISTS IN THE TECHNICAL OPERATION OF TRANSPORT RADIO EQUIPMENT

Anastasia A. Ryzhova¹, Student

e-mail: znaniya_uspeh@mail.ru

Tatyana V. Gordyaskina¹, Associate Professor of the Department of Radio Electronics

e-mail: klimtat@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The method of studying mathematical models of radio emissions using software models in Matlab Simulink allows you to visualize the parameters of oscillograms and spectra of amplitude-modulated signals in ship communication systems.

Keywords: radio emissions, amplitude modulation software models, Matlab Simulink, ship communication systems, single-band modulation, signal spectrum.

В соответствии с Федеральным Государственным образовательным стандартом специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» одним из объектов профессиональной деятельности выпускника является оборудование судовых систем связи. Изучение процессов в судовых системах связи начинается с теоретических основ формирования радиосигналов. Процесс формирования модулированных сигналов рассматривается на простейших примерах математических

моделей аналоговой амплитудной модуляции (АМ). Однако, только теоретическое изучение аналитического представления, осциллограмм (временного представления), спектров (частотного представления) сигналов дает лишь базовое понимание сути процесса модуляции.

Учет диапазонов частот сигналов, используемых в реальных судовых системах связи, приводит к формированию моделей радиоизлучений, максимально приближенных к процессам в реальных каналах связи. Полученные при этом осциллограммы радиоизлучений значительно отличаются от простейших теоретических моделей. Наиболее наглядный способ отобразить процессы модуляции в судовых системах связи – использование программных моделей в Matlab Simulink.

Рассмотрим процесс формирования радиоизлучений в соответствии с требованиями Российского Морского Регистра судоходства (РМРС) и Российского Классификационного Общества (РКО) на примере амплитудно-модулированных сигналов. [1, 2] Требования РМРС и РКО к формированию радиоизлучений в аналоговых судовых системах связи приведены в таблице 1.

Таблица 1. Требования РМС и РКО к формированию радиоизлучений

Диапазон длин волн	Частотный диапазон МГц		Номер канала/частота	Ширина канала, кГц	Класс излучения
	РКО, МГц	РМРС, МГц			
ПВ	1,5 – 3	1,607 – 4	2182 кГц	3	J3E, H3E
КВ	3 – 30	4 – 27,5	4125 кГц	3	J3E
			6215 кГц		J3E
			8291 кГц		J3E
			12290 кГц		J3E, H3E
			16420 кГц		A3E

Рассмотрим подробнее процесс формирования радиоизлучения следующих классов в ПВ и КВ диапазонах:

J3E – однополосная АМ с подавленной несущей,

H3E – однополосная АМ с одной боковой полосой и полной несущей,

A3E – двухполосная АМ с полной несущей. [3]

Математическая модель двухполосной амплитудной модуляции

Теоретическое изучение ММ АМ сигналов проводится на примере однотональной модуляции, то есть в качестве управляющего сигнала берется гармоническое колебание, что упрощает расчеты и повышает наглядность процесса модуляции. Пример аналитических выражений, осциллограмм и спектров управляющего, несущего и АМ сигналов приведен на рисунке 1. [4]

Приведенный общий вид осциллограмм и спектров сигналов не учитывает соотношения частот управляющего и несущего сигналов в реальных судовых системах связи. То есть, при исследовании реальных радиосигналов осциллограммы и спектры будут значительно отличаться от общих теоретических, показывающих только общие закономерности в изменении параметров несущего сигнала по закону передаваемого сообщения (управляющего сигнала).

Программная модель процесса формирования радиоизлучения основывается на частотах реальных сигналов, используемых в судовых системах связи. Параметры радиоизлучений задаются в соответствии с требованиями РМРС и РКО (Таблица 1).

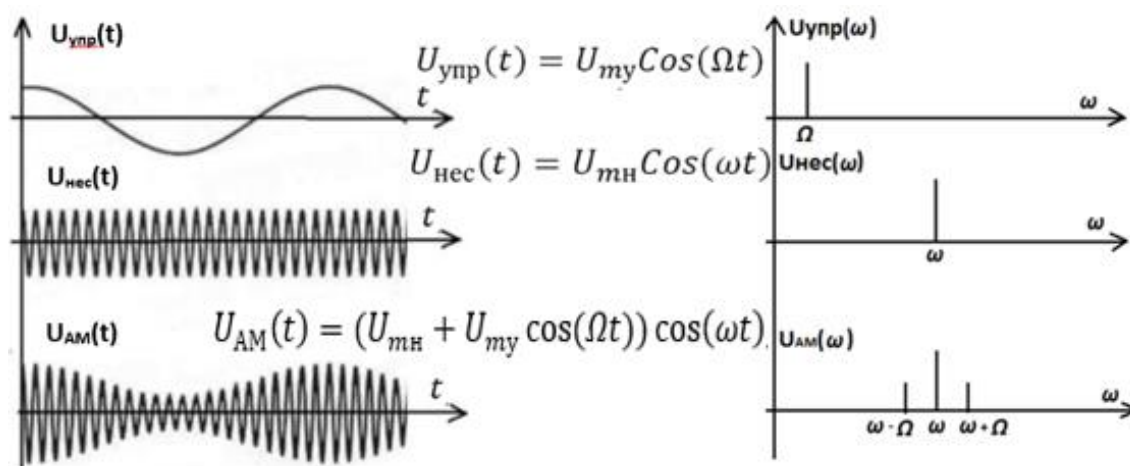


Рисунок 1 – ММ управляющего, несущего, АМ сигналов

В качестве примера рассмотрим программную модель формирования радиоизлучения класса АЗЕ – двухполосную АМ с полной несущей в Matlab Simulink, представленную на рисунке 2.

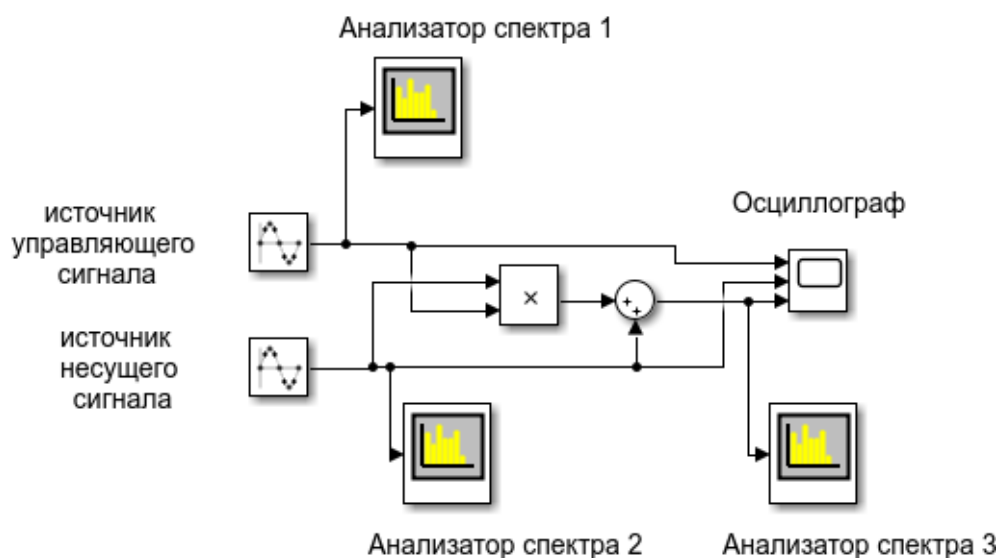


Рисунок 2 – Программная модель формирования двухполосного однотонового АМ сигнала в Matlab Simulink

В модель входят источники гармонических сигналов: управляющего сигнала с частотой 1кГц, несущего сигнала с частотой 16,42 МГц; умножитель $U_{\text{нес}}(t) \cdot U_{\text{упр}}(t)$; сумматор $U_{\text{нес}}(t) \cdot U_{\text{упр}}(t) + U_{\text{нес}}(t)$; анализаторы спектров и осциллограф. Спектры и осциллограммы всех сигналов представлены на рисунке 3.

Осциллограммы несущего и АМ сигналов, представленные в одном временном масштабе с управляющим сигналом, имеют вид «сплошной черной заливки». Это связано с тем, что на одном периоде управляющего сигнала ($T_{\text{у}} = 1\text{мс}$) расположено 16420 периодов несущего колебания ($T_{\text{н}} = 60\text{нс}$). В правом верхнем углу представлены осциллограммы управляющего, несущего, АМ сигналов в укрупненном масштабе.

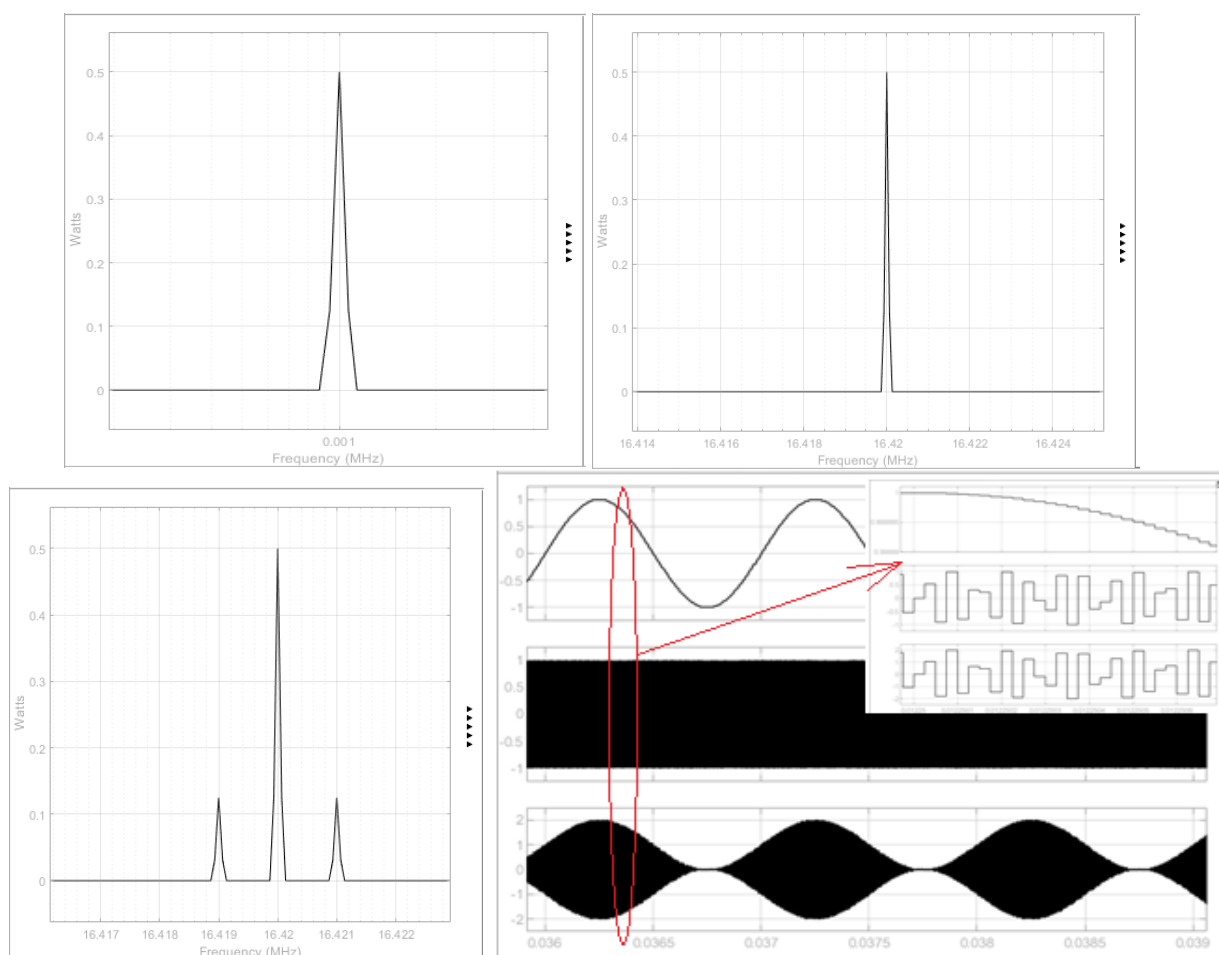


Рисунок 3 – Спектры и осциллограммы управляющего, несущего и двухполосного однотонового АМ сигнала в Matlab Simulink

Математическая модель однополосной амплитудной модуляции

Спектр однополосного амплитудно-модулированного (ОАМ) сигнала содержит только одну из боковых полос двухполосного АМ сигнала, что позволяет уменьшить ширину спектра, повысить энергетическую эффективность и сохранить всю передаваемую информацию.

Аналитическое представление однополосного однотонового АМ-сигнала содержит несущее колебание и гармоническое колебание нижней боковой полосы:

$$U_{\text{ОАМ}}(t) = U_{mн} \cos(\omega_n t) + \frac{1}{2} U_{mн} M \cos((\omega_n - \omega_y) t) \quad (1)$$

Осциллограммы и спектры теоретической модели несущего, управляющего и ОАМ сигналов приведены на рисунке 4.

Исследование сигналов с ОАМ в судовых системах связи ПВ и КВ диапазонов волн в Matlab Simulink проводится в соответствии с требованиями РМРС и РКО на примере модели радиоизлучения класса НЗЕ – однополосной АМ с одной боковой полосой и полной несущей (Таблица 1).

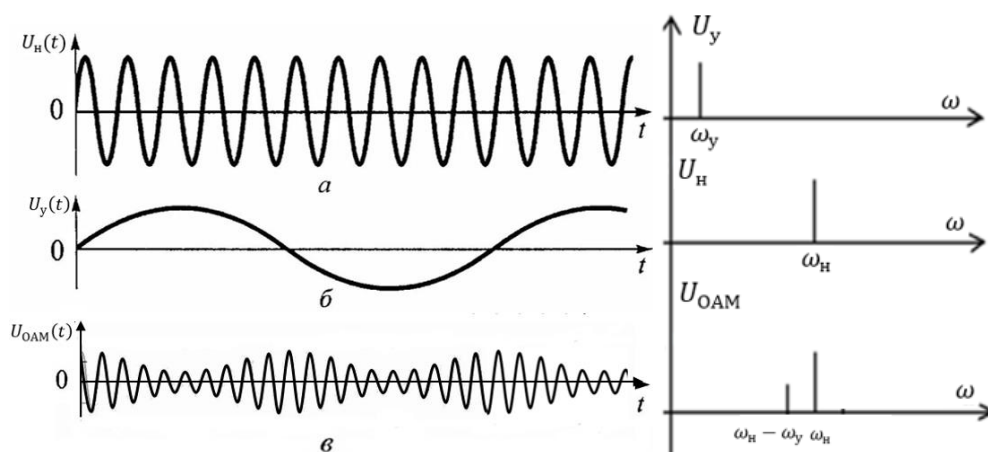


Рисунок 4 – Осциллограммы и спектры управляющего, несущего, ОАМ сигналов

Программная модель формирования однотонового ОАМ сигнала в Matlab Simulink приведена рисунке 5.

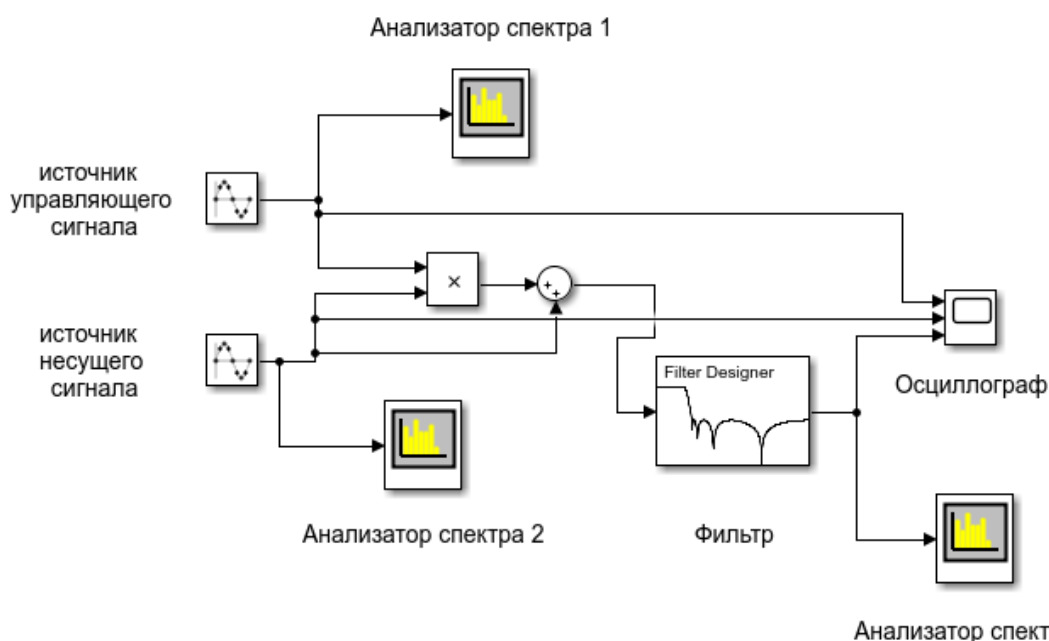


Рисунок 5 – Программная модель формирования однотонового ОАМ сигнала в Matlab Simulink

В модель входят источники гармонических сигналов: управляющего сигнала с частотой 1кГц, несущего сигнала с частотой 12,29 МГц; умножитель $U_{нес}(t) \cdot U_{упр}(t)$; сумматор $U_{нес}(t) \cdot U_{упр}(t) + U_{нес}(t)$; цифровой нерекурсивный фильтр низкой частоты, подавляющий верхнюю полосу частот АМ сигнала; анализаторы спектров и осциллограф. Спектры несущего и ОАМ сигналов представлены на рисунке 6.

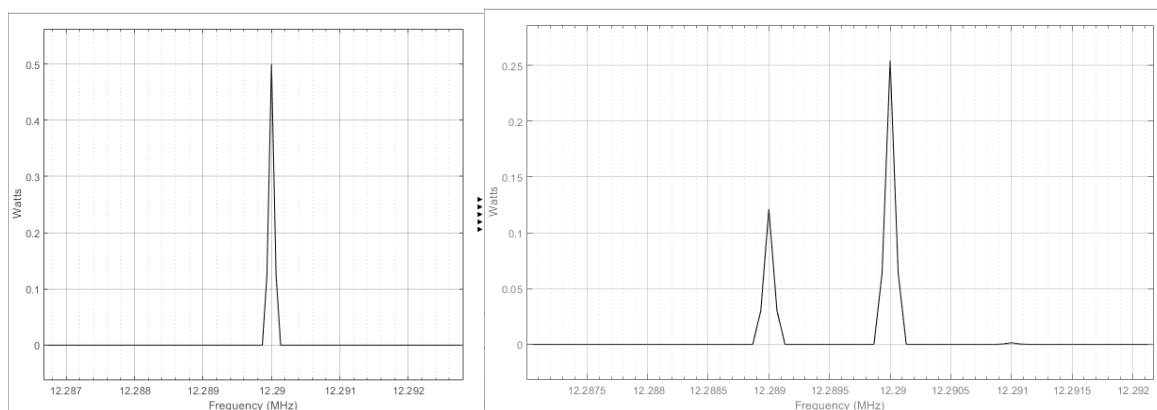


Рисунок 6 – Спектры несущего и однотонового ОАМ сигнала в Matlab Simulink

Осциллограммы управляющего, несущего и ОАМ сигналов представлены на рисунке 7.

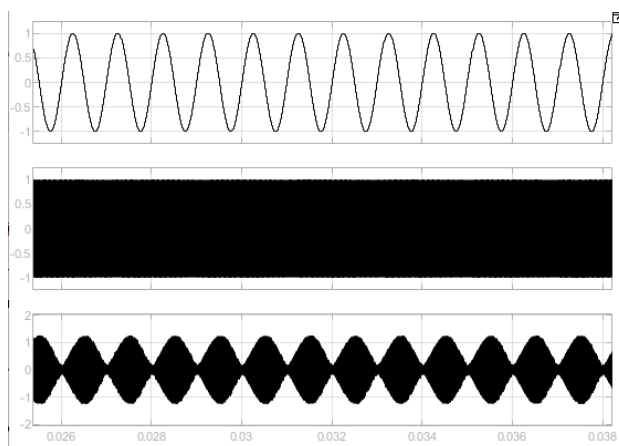


Рисунок 7 - Осциллограммы управляющего, несущего и однотонового ОАМ сигнала в Matlab Simulink

Осциллограммы несущего и ОАМ сигналов, представленные в одном временном масштабе с управляющим сигналом, имеют вид «сплошной черной заливки» так же, как и в случае с двухполосной амплитудной модуляцией. То есть, на одном периоде управляющего сигнала ($T_y = 1\text{мс}$) расположено 12290 периодов несущего колебания ($T_n = 81\text{нс}$).

Рассмотренная методика исследования процессов формирования радиоизлучений в аналоговых судовых системах связи является базовой для разработки методических указаний по выполнению лабораторных работ и может быть внедрена в учебный процесс в ФГБОУ ВО «ВГУВТ» на специальности 25.05.03.

Список литературы:

1. Российский морской регистр судоходства. Правила по оборудованию морских судов. Часть IV. Радиооборудование. – 2018г. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293741/4293741687.pdf?ysclid=minbn36hns972949968> (дата обращения: 01.02.2026)
2. Российское классификационное общество. Правила по оборудованию морских судов. Часть IV. Радиооборудование. – 2020г. – URL: https://rfclass.ru/uploads/pravila_po_oborudovaniyu_morski_kh_sudov-4.pdf (дата обращения: 10.02.2026)

3. Классификация излучений. Классификация излучений радиопередающих устройств. – 2013г. – URL: <https://hard-wired.ru/spravochk/45369-waveclass.pdf?ysclid=mif3polnof533351126> (дата обращения: 15.02.2026)
4. Бочаров М.И. ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет». Формирование радиосигналов. Часть 1. Аналоговые виды модуляции. Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия. – 2010 г. – URL: https://cchgeu.ru/upload/iblock/e2d/8ya6p44vjtr0klchr8j2pyoi8dfutf/UP_RPDU_AVM.CH.1..pdf?ysclid=mif1b0987e299948779 (дата обращения: 15.02.2026)
5. Березовский П.П. Министерство образования и науки Российской Федерации. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Основы радиотехники и связи. Учебное пособие. – 2017г. – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/48972/1/978-5-7996-2093-6_2017.pdf?ysclid=mif1fw3but463578196 (дата обращения 15.02.2026)

