

УДК 519.876.5

Н.В. Ипатова, студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,
А.А. Ипатов студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,
Т. В. Гордяскина, доцент каф. радиоэлектроники, к.ф.-м.н., ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,
603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АМ И ЧМ - СИГНАЛОВ В РАДИОТЕХНИЧЕСКОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ MATLAB SIMULINK R2009B

Ключевые слова: радиотехнический канал связи, цифровой радиотехнический сигнал, белый шум, модуляция, детектирование, программная среда Simulink Matlab.

Проводится сравнительный анализ помехозащищенности сигналов с амплитудной и частотной модуляцией при распространении в радиотехническом канале связи в программной среде Matlab R2009b Simulink.

Для передачи радиосигнала между двумя пространственно разделенными точками без линий передачи, т. е. средствами радиосвязи, необходимо сформировать радиотехнический канал связи. Общепринятая структура радиотехнического канала связи представлена на рис. 1. [1]

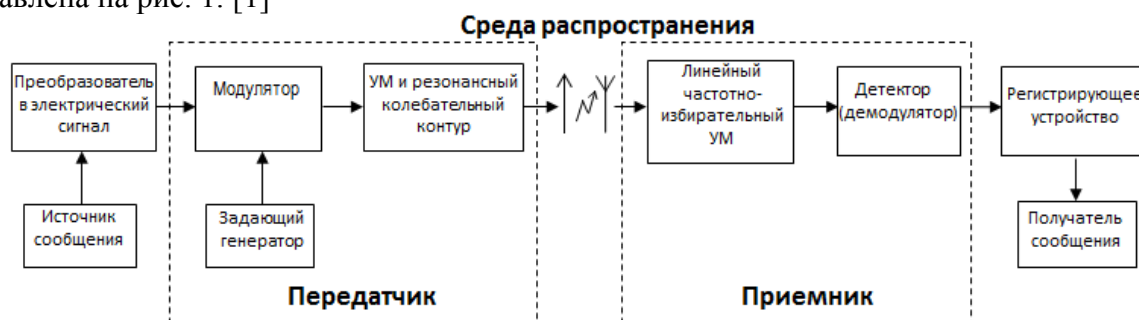


Рис. 1. Упрощенная структура радиотехнического канала связи

Рассмотрим процесс преобразования амплитудно-модулированных (АМ) и частотно-модулированных (ЧМ) сигналов в радиотехническом канале связи.

Рассмотрим математические модели однотоновых АМ и ЧМ сигналов.

Преобразование АМ сигнала рассмотрено подробно в [2], остановимся подробнее на теории ЧМ сигнала.

$$U_{\text{ЧМ}} = U_m \cos(\omega_0 t + \int S_{\text{упр}}(t)), \text{ где } S_{\text{упр}}(t) = U_m \cos \Omega t$$

$$U_{\text{ЧМ}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \frac{U_m}{\Omega} \sin \Omega t), \text{ где } m = \frac{U_m}{\Omega}$$

$$U_{\text{ЧМ}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t) \cos(m \sin \Omega t) - U_m \sin(\omega_0 t) \sin(m \sin \Omega t)$$

Сомножители $\cos(m \sin \Omega t)$ и $\sin(m \sin \Omega t)$ являются периодическими функциями во времени, поэтому их можно разложить в ряд Фурье при этом используя специальные функции Бесселя.

$$\sin(m \sin \Omega t) = 2I_1(m) \sin \Omega t + 2I_3(m) \sin 3\Omega t + \dots$$

$$\cos(m \sin \Omega t) = I_0(m) + 2I_2(m) \cos 2\Omega t + 2I_4(m) \cos 4\Omega t + \dots$$

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

$I_n(m)$ - функция Бесселя первого рода n -го порядка от аргумента m .

Подставляем данные сомножители в выражения для частотной модуляции.
 $U_{ЧМ}(t) = U_m \{ I_0(m) \cos \omega_0 t + I_1(m) [\cos(\omega_0 + \Omega)t + \cos(\omega_0 - \Omega)t] + I_2(m) [\cos(\omega_0 + 2\Omega)t + \cos(\omega_0 - 2\Omega)t] + I_3(m) [\cos(\omega_0 + 3\Omega)t + \cos(\omega_0 - 3\Omega)t] + \dots$
 Анализируя полученное выражение для сигнала с частотной модуляцией следует отметить, что спектр сигнала содержит бесконечное число гармонических составляющих, расположенных попарно симметрично относительно несущей частоты ω_0 .

$k \backslash m$	1	2	3	4	5
0	0.765	0.224	-0.260	-0.397	-0.178
1	0.440	0.577	0.339	-0.066	-0.328
2	0.115	0.353	0.486	0.364	0.047
3	0.020	0.129	0.309	0.430	0.365
4	0.002	0.034	0.132	0.281	0.391
5	$2 \cdot 10^{-4}$	0.007	0.043	0.132	0.261
6	$2 \cdot 10^{-5}$	0.001	0.011	0.049	0.131
7	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0.003	0.015	0.053

Рис. 2. Таблица функций Бесселя $I_k(m)$

В ЧМ-сигнале при $m=1$ учитываются только 0, 1 и 2 гармоники, а остальными можно пренебречь, т.к. они малы. В результате получен спектр, состоящий из несущего колебания, умноженного на I_0 , двух боковых гармоник, умноженных на I_1 и еще двух боковых гармоник, умноженных на I_2 .

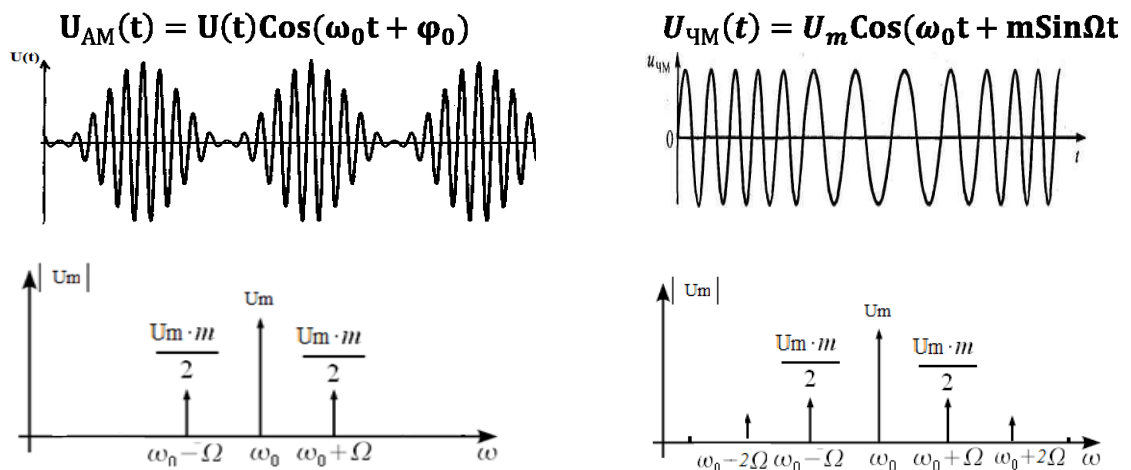


Рис. 3. Математическая модель АМ и ЧМ сигнала соответственно

Анализируя математическую модель АМ и ЧМ сигнала, можно сделать вывод, что при однотоновой модуляции при $m=1$, спектр ЧМ сигнала в 2 раза шире спектра АМ сигнала.

На приемной стороне с выхода частотно-избирательной системы сигнал поступает на демодулятор, где домножается на несущее колебание и подается на фильтр низкой частоты, где выделяется низкочастотный управляющий сигнал.

Компьютерное моделирование в Matlab. При реализации радиотехнического канала в Matlab, используются следующие параметры сигналов: источник сообщений формирует гармонический сигнал с управляющей частотой 5 кГц, задающий генератор формирует гармонический сигнал с несущей частотой 50 кГц, модуляторы формируют радиосигналы с однотоновой амплитудной и частотной модуляцией, помеха в канале связи моделируется «белым шумом», частота дискретизации 200кГц; регистрирующие устройства – осциллограф и анализатор спектра. (Рис. 4.)

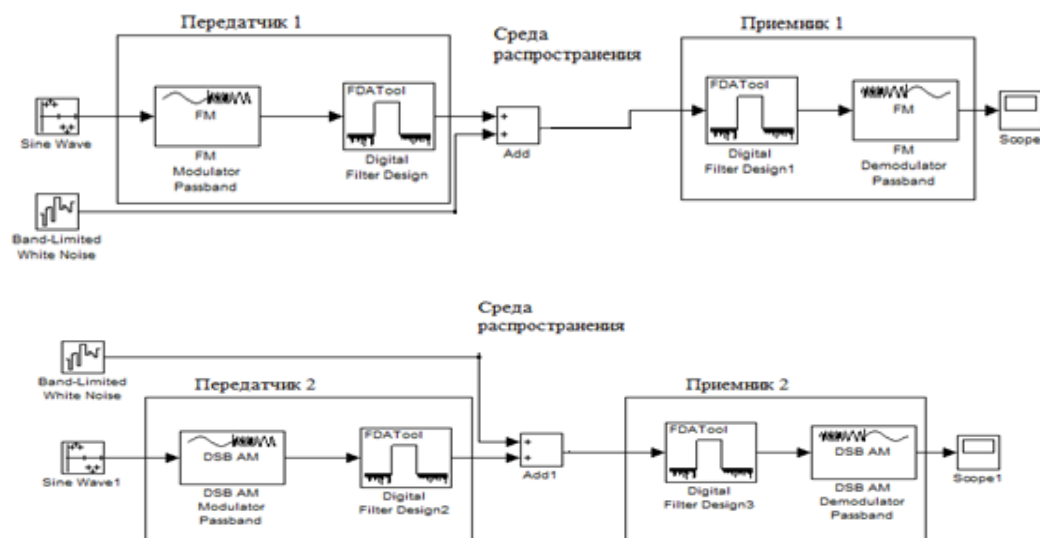


Рис. 4. Исследуемые радиотехнические каналы связи с амплитудной и частотной модуляцией

Исследование влияния помехи на АМ и ЧМ сигналы. Сравним сигналы на выходе приемника при амплитудной и частотной модуляции.

Параметры сигналов: $f_d=200\text{кГц}$, $f_y=5\text{кГц}$, $f_n=50\text{кГц}$, $m=1$, сигнал/шум=5, Апомехи=0,2В

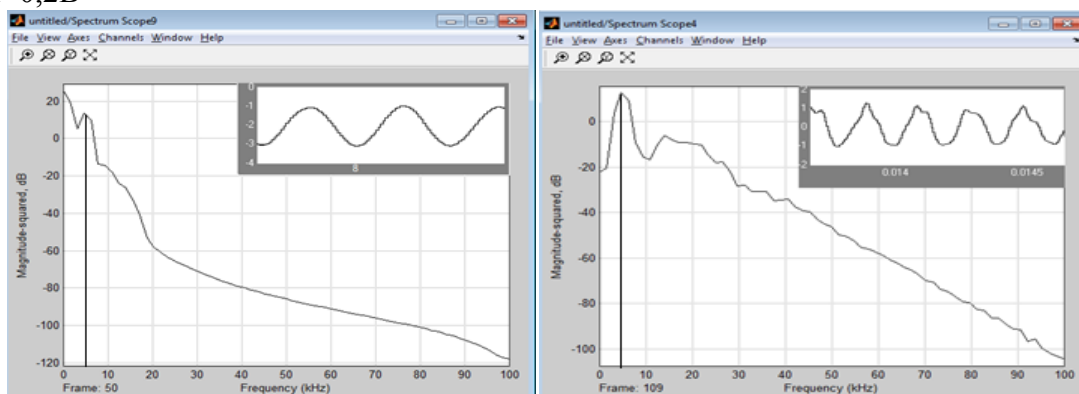


Рис. 5. Осциллограмма и спектр выходного сигнала приемника при АМ и ЧМ соответственно

При отношении сигнал/шум ≈ 5 , переданный управляющий сигнал восстанавливается.

Параметры сигналов: $f_d=200\text{кГц}$, $f_y=5\text{кГц}$, $f_n=50\text{кГц}$, $m=1$, сигнал/шум=1, Апомехи=1В

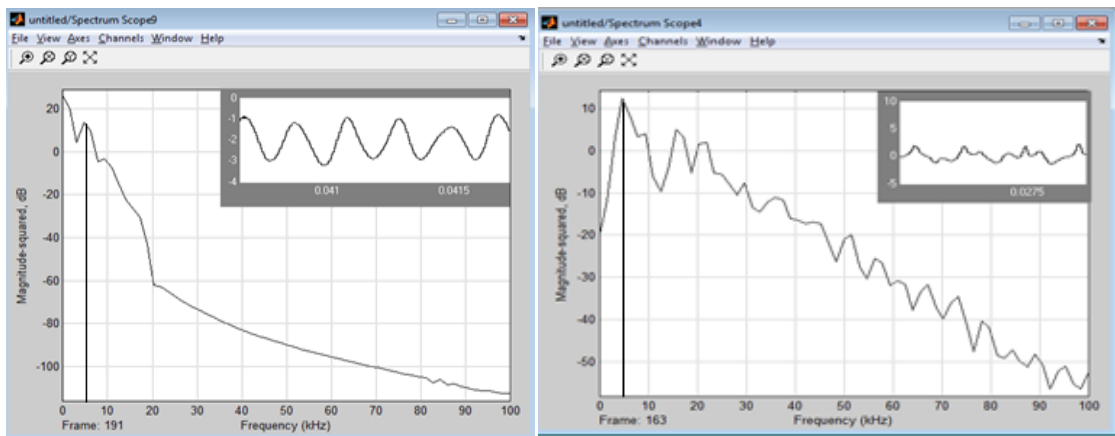


Рис. 6. Осциллограмма и спектр выходного сигнала при АМ и ЧМ

При отношении сигнал/шум =1 при частотной модуляции сигнал восстановить не удалось, при амплитудной модуляции сигнал восстановлен, но с потерей качества. То есть, при малом значении отношения сигнал/шум помехозащищенность сигнала с ЧМ хуже, чем с АМ.

Рассмотрим влияние полосы пропускания ПФ на восстановление сигнала с ЧМ в приемнике.

Рассмотрим пример исследования, где полоса пропускания (ПП) полосового фильтра (ПФ) ПП=16 кГц. Параметры АМ и ЧМ сигналов: $f_d=200$ кГц, $f_y=5$ кГц, $f_n=50$ кГц, $m=1$ Параметры фильтра: $F_{stop1}=40$ кГц, $F_{stop2}=60$ кГц, $F_{pass1}=42$ кГц, $F_{pass2}=58$ кГц, $F_s=200$ кГц (ПП=16кГц), ОСШ=5.

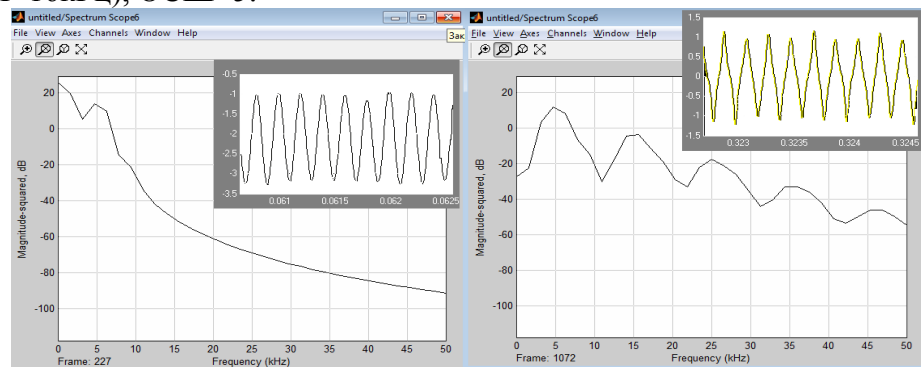


Рис. 7. Осциллограмма и спектр АМ и ЧМ сигнала соответственно при выбранных параметрах фильтра

Спектр АМ сигнала располагается в полосе пропускания (ПП) ПФ, поэтому проблем с выделением на выходе приемника нет. Спектр ЧМ сигнала выходит за пределы ПП, боковые гармоники срезаются, что приводит к искажению ЧМ сигнала (форма сигнала у ЧМ-пилообразная). При ЧМ сигнале полосовой фильтр должен иметь ПП не менее, чем ширина спектра ЧМ сигнала.

Рассмотрим пример исследования, где полоса пропускания ПФ =36 кГц. Параметры АМ и ЧМ сигнал $f_d=200$ кГц, $f_y=5$ кГц, $f_n=50$ кГц, $m=1$. Параметры фильтра: $F_{stop1}=30$ кГц, $F_{stop2}=70$ кГц, $F_{pass1}=32$ кГц, $F_{pass2}=68$ кГц, $F_s=200$ кГц (ПП=36кГц), ОСШ=5. При таких условиях проходят без искажений и АМ и ЧМ сигналы.

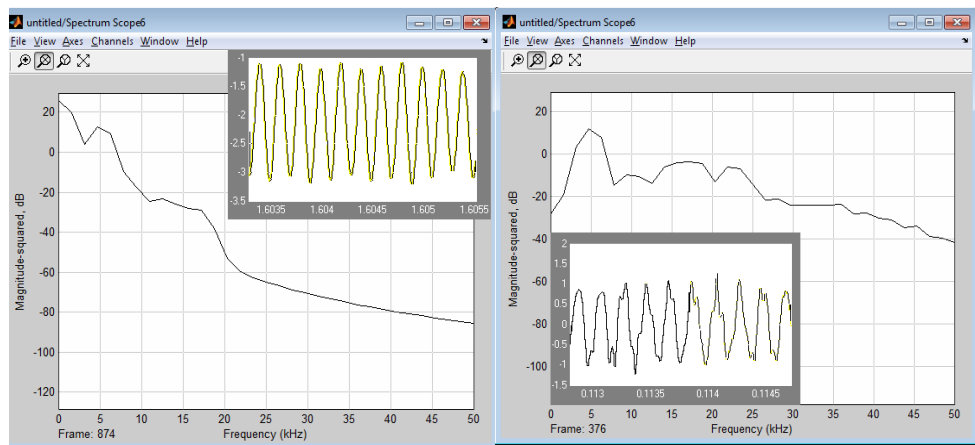


Рис. 8. Осциллограмма и спектр АМ и ЧМ сигнала соответственно при выбранных параметрах фильтра

Исследуем процесс многоканального приема сигналов.

Радиоканал состоит из 2х передатчиков и одного многоканального приемника, в котором передатчик 1 формирует ЧМ сигнал на частоте 80 кГц, передатчик 2 формирует АМ сигнал на частоте 50 кГц, при коэффициенте модуляции $m=1$.

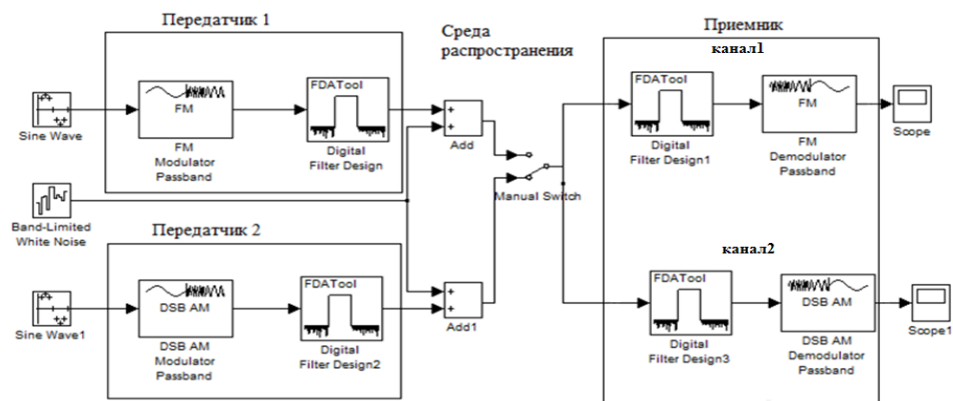


Рис. 9. Структура двухканального тракта

В приемнике избирательные цепи и модуляторы настраиваются каждый на свою несущую частоту передатчика, поэтому наблюдается практическая реализация многоканальной радиотехнической связи, а именно при включении 1 канала приемника система настраивается на передатчик 1, выделяется полезный сигнал частотной избирательной системой, домножается на несущее колебание и выделяется в демодуляторе, затем поступает на отображающее устройство. В этот момент работает и канал 2, но так как приемник настроен на частоту передатчика 1, то фильтрующая система подавляет сигнал с передатчика 2 и на выходе канала 2 сигнал отсутствует (Рис. 10).

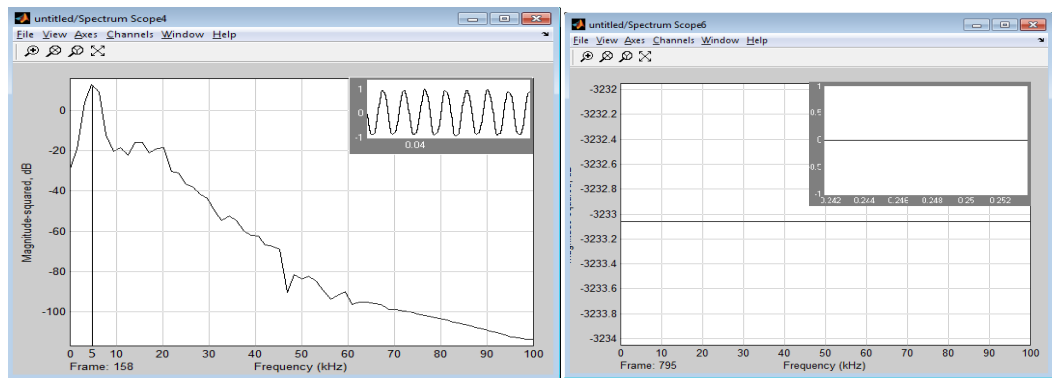


Рис. 10. Осциллограммы и спектры выходного сигнала канала 1 и 2 соответственно при приеме сигнала с передатчика 1

При настройке системы на передатчик 2, включается канал 2 приемника. В этот момент работает и канал 1, но на выходе канала 1 сигнал отсутствует (Рис. 11.).

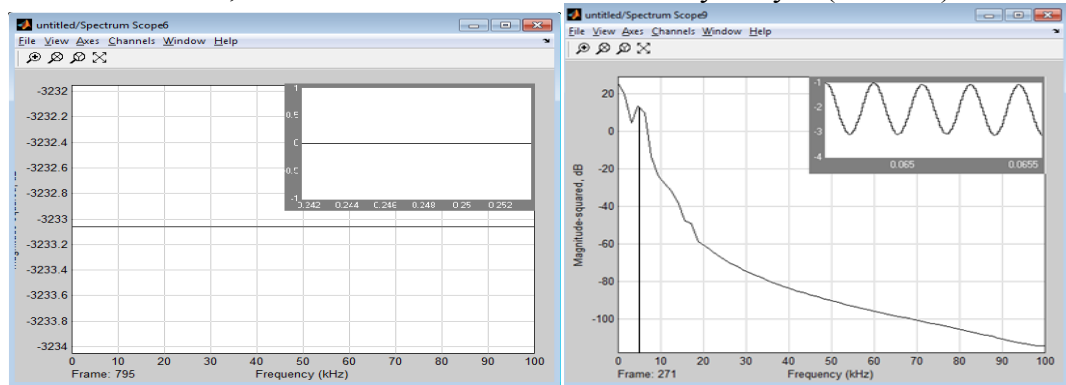


Рис. 11. Осциллограммы и спектры выходного сигнала канала 1 и 2 соответственно при приеме сигнала с передатчика 2

Проведенное компьютерное моделирование процесса преобразования сигнала в радиотехническом канале связи позволяет углубить теоретические основы классической теории радиотехнических цепей и сигналов. Предложенную методику и результаты исследований предполагается внедрить в учебный процесс в дисциплины «Радиотехнические цепи и сигналы» и «Прикладные задачи цифровой обработки сигналов».

Список литературы:

[1]. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для ВУЗов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986.–512с.

[2]. Ипатова Н.В., Ипатов А.А., Гордяскина Т.В. Исследование процесса преобразования сигналов в радиотехническом канале связи с использованием программной среды Matlab Simulink R2009B. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 51. Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ». Н. Новгород, 2017г.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRANSFORMATION OF AM AND FM SIGNALS IN THE RADIO COMMUNICATION CHANNEL USE OF THE PROGRAM ENVIRONMENT MATLAB R2009B SIMULINK

T.V.Gordyaskina, N.V.Ipatova, A.A.Ipatov.

Keywords: radio communication channel, digital radio signal, white noise, modulation, detection, software environment Simulink Matlab.

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

A comparative analysis of noise immunity of signals with amplitude and frequency modulation during the propagation in the radio channel in the software Matlab R2009b Simulink.