

УДК 519.876.5

Филинова Н.В., Ипатов А.А. – студенты ФГБОУ ВО ВГУВТ,
Гордяскина Т. В. – доцент кафедры радиоэлектроники, к.ф.-м.н.,
ФГБОУ ВО ВГУВТ, 603005, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ SIMULINK MATLAB R2009

Ключевые слова: радиотехнический канал связи, цифровой радиотехнический сигнал, моделирование в программной среде Simulink Matlab.

Исследование процесса преобразования цифровых радиотехнических сигналов звукового диапазона частот в программной среде Matlab R2009 со встроенным пакетом Simulink.

Новые требования, выдвигаемые Государственным образовательным стандартом к выпускникам специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», обеспечиваются овладением профессиональными компетенциями, например, в области научно-исследовательской деятельности:

-способностью генерирования идей, решения задач по созданию теоретических моделей, позволяющих прогнозировать изменение свойств объектов профессиональной деятельности (ПК-32);

-способностью разработки планов, программ и методик проведения исследований объектов профессиональной деятельности на основе информационного поиска и анализа информации по объектам исследований (ПК-33).

Остановимся подробнее на формировании профессиональных компетенций при изучении фундаментальных основ радиотехники. То есть, создадим виртуальную модель, позволяющую прогнозировать физические процессы в радиотехническом канале связи, и предложим методику ее исследования.

Основной задачей радиотехники является передача сообщения на расстояние. В процессе передачи и приема сообщений сигналы подвергаются различным преобразованиям. Некоторые из этих преобразований являются типовыми, обязательными для большинства радиотехнических систем независимо от их назначения, а также от характера передаваемых сообщений. Перечислим эти фундаментальные процессы и попутно отметим их основные черты применительно к обобщенной схеме радиотехнического канала, представленного на рис. 1. [1]

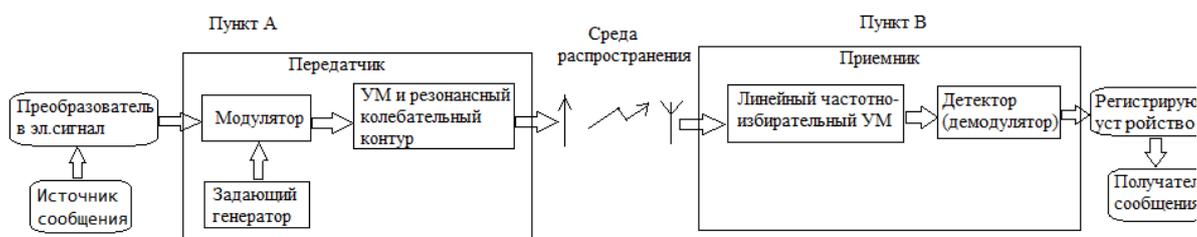


Рис. 1. Упрощенная структура радиотехнического канала связи

Источником и получателем сообщения является человек. В качестве преобразователя сообщения в электрический сигнал можно использовать микрофон, в качестве регистрирующего устройства - динамик, осциллограф, анализатор спектра. Рассмотрим более подробно процессы, протекающие в передающем и приемном устройствах канала связи, полагая, что среда распространения сигнала является идеальной (не вносит помех в передаваемый сигнал).

Наряду с теоретическим изучением физических процессов в радиотехническом канале связи предлагается наиболее наглядный метод исследования – компьютерное моделирование в программной среде Matlab со встроенным пакетом Simulink. Данная программная среда позволяет строить динамические модели на базе готовых библиотечных блоков как в передающем, так и в приемном устройстве, включая дискретные нелинейные системы средств цифровой связи и устройств реального времени с широкими возможностями визуализации исследуемых процессов (отображения осциллограмм, спектров исследуемого сигнала, аудирования и сохранения звуковых сигналов).

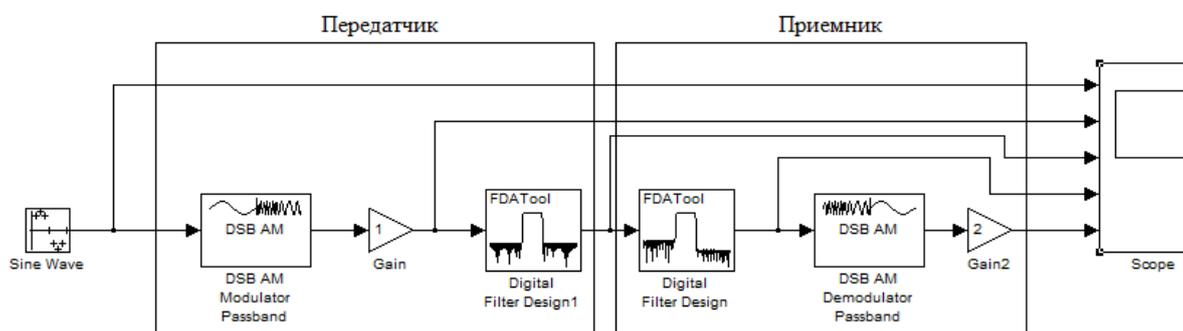


Рис. 2. Общая схема исследования процесса преобразования сигнала в радиотехническом канале связи в программной среде Matlab

1. Формирование сигнала от источника сообщения. Для освоения фундаментальных принципов преобразования сигнала в радиотехническом канале связи в качестве сообщения исследуется простейший детерминированный сигнал - гармонический сигнал звукового диапазона частот: $U_{упр}(t) = N \sin(2\pi N 10^3 t)$, где N - целое число от 1 до 19 (границы звукового диапазона частот от 20Гц до 20кГц). В примере (рис. 3) частота управляющего сигнала $F_{у} = 1$ кГц.

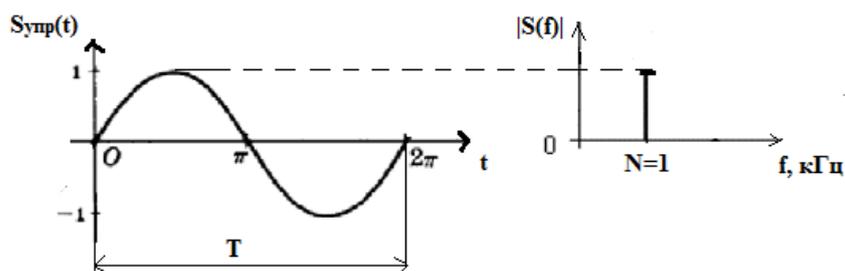


Рис. 3. Теоретическое представление гармонического управляющего сигнала

В настоящее время информация в радиотехническом канале связи передается в цифровом виде, будем считать, что дискретизация исходного аналогового сигнала проведена в соответствии с условиями теоремы Котельникова (взята стандартная частота дискретизации $F_d = 44100$ Гц), что позволяет на приемной стороне восстановить аналоговый сигнал без потери качества.[2]

Пример выбора параметров для источника сигнала в Matlab приведен на рис.4. осциллограмма и спектр сигнала приведены на рис. 5.

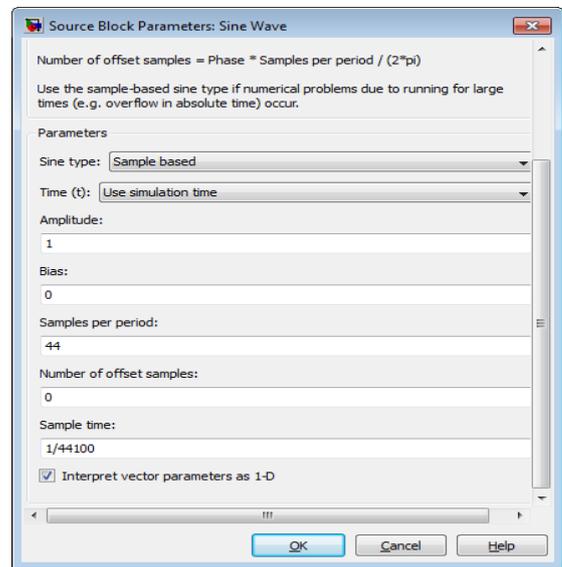
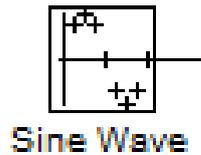


Рис. 4. Окно выбора параметров цифрового гармонического сигнала звукового диапазона с частотой $F=1$ кГц в программной среде Matlab

Выбран стандартный период дискретизации Sample time, равный $1/44100$ с, в соответствии с условиями теоремы Котельникова. Для дискретизации аналогового сигнала без потери информации частота отсчетов должна быть как минимум в два раза выше верхней граничной частоты спектра сигнала. $F_d=44100$ Гц, $t_d=1/44100$ с. Samples per period- количество отсчетов рассчитывается по формуле:

$$N = T_c \cdot f_d = \frac{f_d}{f_c},$$

где N - целое положительное число, частоту источника сигнала берем равной 1 кГц ($N=44$).

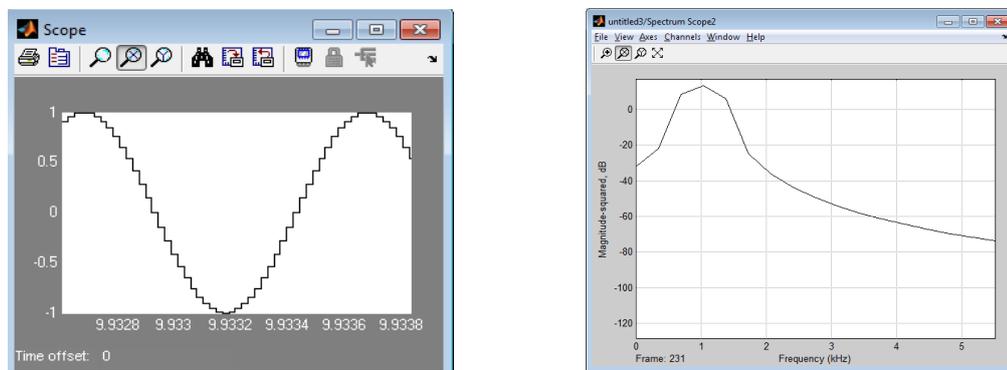


Рис. 5. Осциллограмма и спектр сигнала от источника сообщения в программной среде Matlab

2. Управление колебаниями (модуляция). Процесс модуляции заключается в изменении одного или нескольких параметров высокочастотного колебания, формируемого задающим генератором, по закону передаваемого сообщения. Частоты модулирующего колебания, малы по сравнению с несущей частотой генератора.

$$U_{up}(t) = \sin(2\pi \cdot 10^3 t), \quad U_{нес}(t) = \sin(2\pi \cdot 11 \cdot 10^3 t). \quad F_{up} = 1 \text{ кГц}, \quad F_{нес} = 10 \text{ кГц}.$$

Высокочастотный генератор является источником колебаний несущей частоты.

$U_{нес}(t) = N \cdot \sin(2\pi N \cdot 10^4 t)$, где N - любое число, $F_{нес} = N \cdot 10^4$ Гц, осциллограмма и спектр представлены на рис. 6.

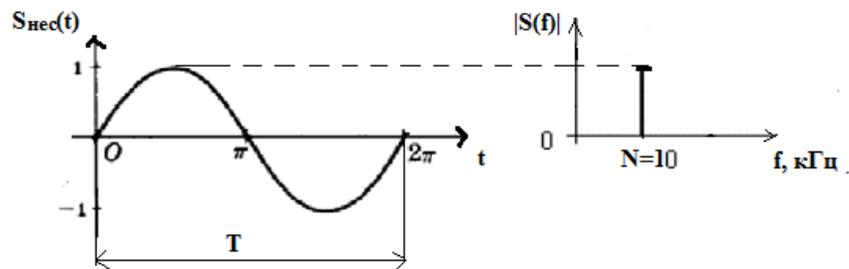


Рис. 6. Теоретическое представление гармонического несущего колебания

Для компьютерного моделирования $f_{нес}=10\text{кГц}$.

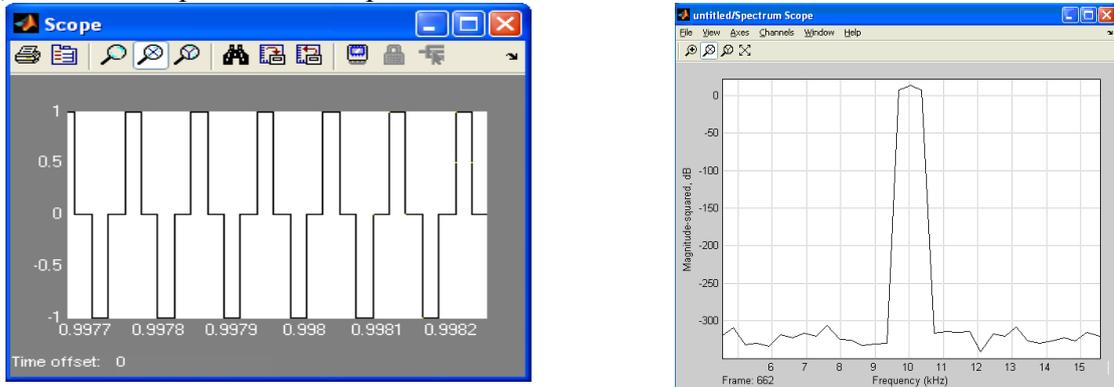


Рис. 7. Осциллограмма и спектр задающего генератора в программной среде Matlab

Параметры для блока модуляции задаются в соответствии с каноническим выражением АМ-сигнала: $U_{ам}(t) = U_{мн} \{ 1 + (U_{му}/U_{мн}) \cos(2\pi f_{упр}t) \} \cos(2\pi f_{нес}t)$.



Рис. 8. Теоретическое представление амплитудно-модулированного сигнала (осциллограмма и спектр) при $U_{му}=U_{мн}$.

Процесс модуляции в Matlab реализуется в блоке DSB AM (задающий генератор с $f_{нес}=10\text{кГц}$ встроен в модулятор DSB AM).

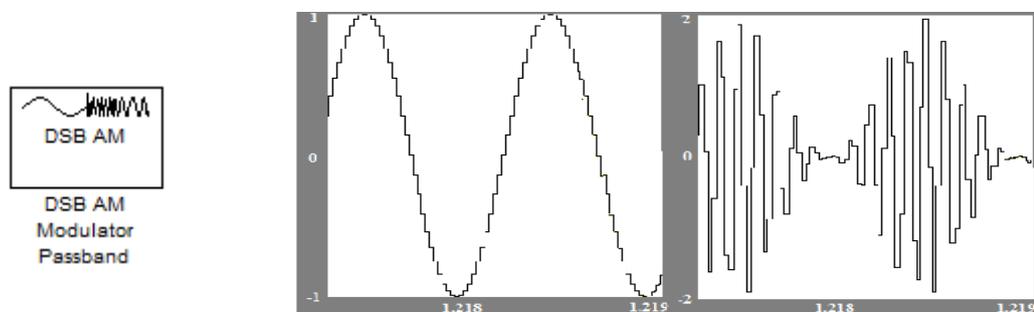


Рис. 9. Схема исследования амплитудного модулятора и осциллограммы управляющего и амплитудно-модулированного сигналов в программной среде Matlab

На осциллограммах видно, что модулированный сигнал получен путем перемножения двух сигналов: информационного и несущего. Спектр радиочастотного колебания при одностональной амплитудной модуляции состоит из трех составляющих: несущей, нижней и верхней боковой гармоник.

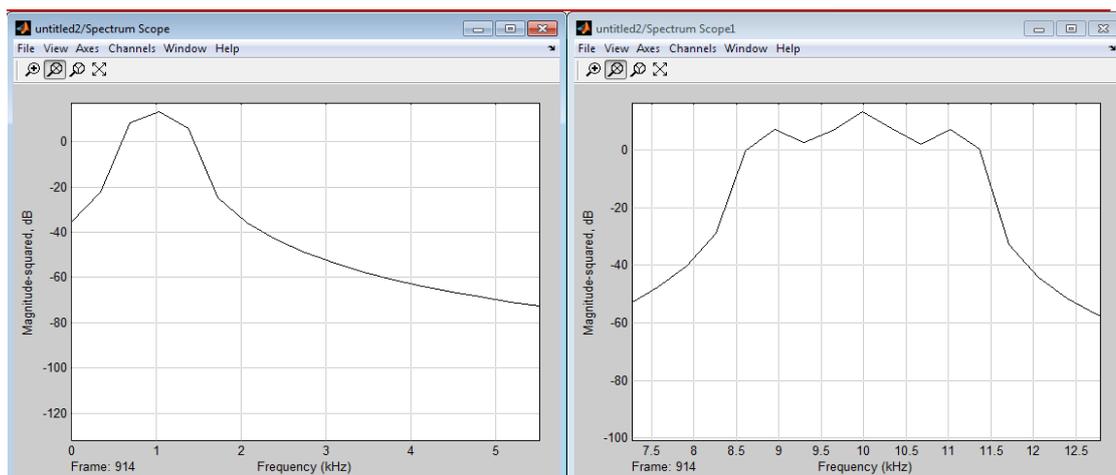


Рис.10 Спектры входного управляющего сигнала и выходного АМ-сигнала при $U_{my}=U_{mn}$ сигналов в программной среде Matlab

3. Усиление слабых сигналов в передатчике и приемнике. В процессе преобразования сигналов на передающей и приемной стороне радиотехнического канала связи возникает необходимость в усилении амплитуды сигнала. Данный процесс реализуется в блоке умножителя амплитуды. Пример функционирования блока **Gain** при умножении амплитуды входного сигнала на постоянный коэффициент 10 (Рис. 11).

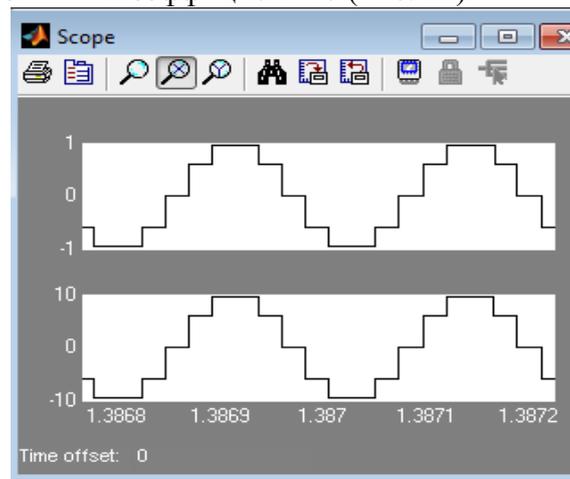
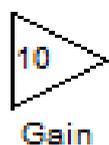


Рис. 11. Схема и осциллограммы входного и выходного сигналов в программной среде Matlab

4. Синтез цифрового нерекурсивного полосового фильтра. Частотно-избирательная система – полосовой фильтр устанавливается как на выходе передатчика, так и на входе приемника, обеспечивая частотную селекцию сигнала в радиотехническом канале связи. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) полосового фильтра приведена на рис. 12.

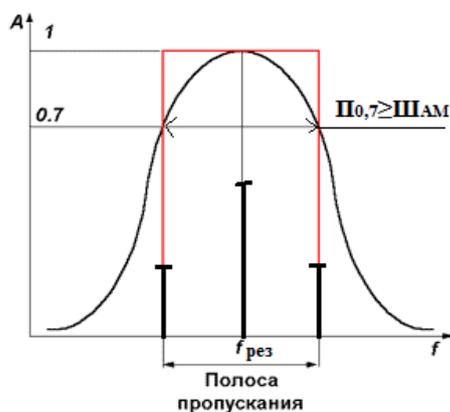


Рис. 12. Теоретическое представление АЧХ полосового фильтра

Синтез цифровых фильтров в Matlab проводится в программном пакете Filter Design (Рис. 13). [2] Задаются параметры: частота дискретизации $F_s=44100$ Гц; граничные частоты полосы задерживания $F_{stop1}=8000$ Гц, $F_{stop2}=13500$ Гц; граничные частоты полосы пропускания $F_{pass1}=8500$ Гц, $F_{pass2}=13000$ Гц.

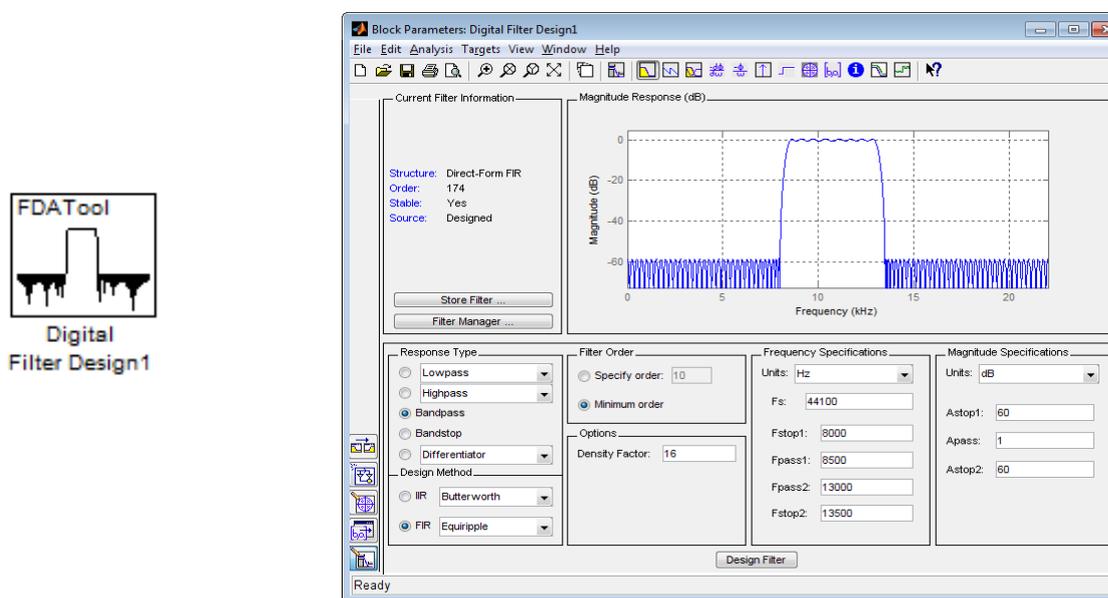


Рис.13. АЧХ нерекурсивного цифрового фильтра в программной среде Matlab

5. Выделение сообщения из высокочастотного колебания (детектирование).

Детектирование (демодуляция) является процессом, обратным модуляции. В результате детектирования должно быть получено напряжение (ток), изменяющееся во времени так же, как изменяется один из параметров (амплитуда, частота или фаза) модулированного колебания, т. е. должно быть восстановлено передаваемое сообщение. Основное требование к детектору - точное воспроизведение формы управляющего сигнала.

Процесс детектирования в цифровых системах осуществляется двумя действиями:

1) спектр входного сигнала домножается на гармонику, расположенную на частоте несущего колебания;

2) выделяется управляющий сигнал цифровым низкочастотным фильтром. Частота управляющего сигнала.

$$U_{вх}(t) = U_{ам}(t) = (U_{мн} * \cos \omega_n t) + U_{мг}/2 * \cos(\omega_n - \Omega_y)t + U_{мг}/2 * \cos(\omega_n + \Omega_y)t;$$

$$U_{зг}(t) = U_{мн} \cos \omega_n t ;$$

$$U_{ВХ}(t) * U_{ЗГ}(t) = U_{ам}(t) * U_{мн} \cos \omega_H t = \frac{U_{мн} * U_{мы}}{2} + \frac{U_{мн} * U_{мы}}{2} \cos 2 \omega_H t + \frac{U_{мн} * U_{мы}}{4} \cos(2 \omega_H - \Omega_y) t + \frac{U_{мн} * U_{мы}}{4} \cos \Omega_y t + \frac{U_{мн} * U_{мы}}{4} \cos(2 \omega_H + \Omega_y) t + \frac{U_{мн} * U_{мы}}{4} \cos \Omega_y t.$$

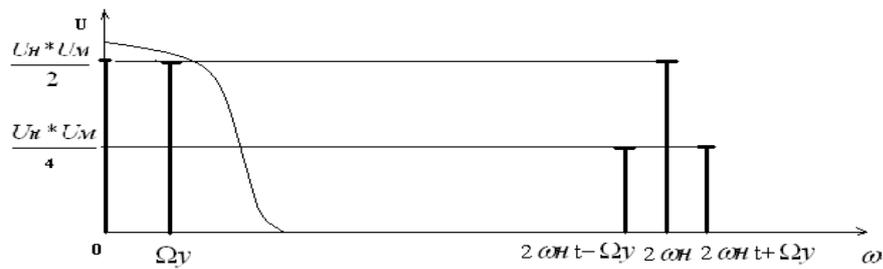


Рис. 14. Теоретическое представление сигнала на выходе детектора

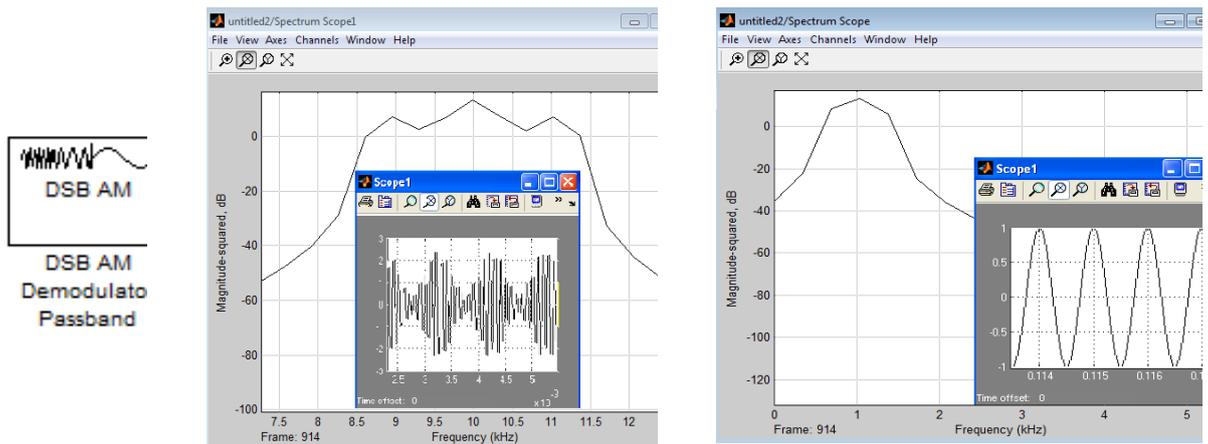


Рис. 15. Спектры и осциллограммы модулированного (на входе демодулятора DSB AM) и детектированного сигналов (на выходе демодулятора DSB AM) в программной среде Matlab при $F_{упр} = 1 \text{ кГц}$, $F_{нес} = 10 \text{ кГц}$, $U_{мы} = U_{мн}$

Низкочастотный цифровой фильтр, встроенный в детектор, выделяет только низкочастотный управляющий (информационный) сигнал, подавляя высокочастотные гармоники спектра на выходе детектора.

Вывод по работе: в результате преобразований входного низкочастотного управляющего сигнала в радиотехническом канале, входной сигнал от источника сообщения из пункта А доставлен с помощью электромагнитных волн получателю в пункт В без потери качества.

Освоение рассмотренной методики исследования процессов преобразования сигнала в радиотехническом канале связи позволит студентам в своей дальнейшей профессиональной деятельности самостоятельно проводить исследования сложных технических объектов.

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. Филинова Н.В., Ипатов А.А., Гордяскина Т.В. Основы цифровой фильтрации сигналов звукового диапазона в программном пакете Matlab R2007b. Труды 17-го международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2015». Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов «Проблемы использования и инновационного

**Digital processing of determinate signals in the software environment
Matlab R2009 using Simulink**

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

Key words: radio communication channel, the digital radio signal modeling in the software environment Matlab Simulink.

Research of process converting the digital audio signal radio frequency band in the software environment Matlab R2009 with an integrated package Simulink. Radio engineering devices, design, the software MCU, printed circuit board.