

УДК 621.376

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ RTL-SDR И СРЕДЫ МАТЛАВ НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА AM-DSB-TC

Кривова Аделина Валерьевна

Krivova Adelina Valeryevna

Студент

Student

Дальневосточный федеральный университет

Far Eastern Federal University

Владивосток, Россия

Vladivostok, Russia

INVESTIGATION THE APPLICATION OF RTL-SDR AND THE MATLAB ENVIRONMENT ON THE EXAMPLE OF AM-DSB-TC TRANSMIT AND RECEIVE

Аннотация: Подготовка специалистов в области связи требует изучения принципов работы современного приёмно-передающего оборудования. В текущих реалиях использование дорогих профессиональных систем не является целесообразным для использования в учебном процессе. В связи с этим необходимо найти оптимальное решение для использования в высших учебных заведениях. Для этого в данной статье рассмотрена возможность приема сигнала SDR-приемником на примере демодуляции AM-DSB-TC. В работе рассмотрена общая структура RTL-SDR, схемы модуляции и демодуляции AM-DSB-TC, продемонстрированы результаты передачи и приема сигнала в графическом виде.

Abstract: Training of specialists in the field of communication requires studying the principles of operation of modern receiving and transmitting equipment. In the current realities, the use of expensive professional systems is not appropriate for use in the educational process. In this regard, it is necessary to find the optimal solution for use in higher education institutions. To do this, this article discusses the possibility of receiving a signal by an SDR receiver using the example of AM-DSB-TC demodulation. The paper considers the general structure of RTL-SDR, modulation and demodulation schemes of AM-DSB-TC, demonstrates the results of signal transmission and reception in graphical form.

Ключевые слова: RTL-SDR, USRP, MATLAB/Simulink, AM-DSB-TC.

Key words: RTL-SDR, USRP, MATLAB/Simulink, AM-DSB-TC.

Программно-конфигурируемое радио (ПКР, SDR от англ. «Software Defined Radio») – это радиооборудование, в котором все или большинство функций физического уровня выполняются в программном виде, а функции, выполняемые аппаратно, должны оперативно модифицироваться по требованиям рабочего стандарта связи [1, с. 3].

В последнее время программно-определяемое радио прочно вошло в учебную и научную системы различных дисциплин технических специальностей, так как оно поддерживается многими производителями программного обеспечения и способно работать с различными стандартами передач. В настоящее время производится широкая номенклатура оборудования, которое можно использовать для этих целей.

Одними из наиболее распространенных отладочных плат SDR являются продукты фирмы Ettus Research – B210 и фирмы National Instruments – USRP-2932. Они имеют широкий диапазон рабочих частот и способны работать на прием и на передачу, однако их стоимость является весьма высокой. В качестве передатчика в данной работе используется NI USRP-2920. Частотный диапазон данной модели составляет 50...2200 ГГц, полоса пропускания – 20 МГц [2, с. 7].

В 2012 году был выпущен программно-конфигурируемый радиоприемник RTL-SDR, который является модификацией широко распространенного дешевого ТВ-тюнера стандарта DVB-T. Приемник, использующийся в данной работе, имеет диапазон частот 25...1750 МГц, построен на базе чипов Rafael Micro R802T2 и Realtek RTL283U, выполнен по супергетеродинной схеме с программной промежуточной частотой. Блок-схема данного приемника представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Блок-схема RTL-SDR

В основе всякой модуляции лежит формирование некоторого несущего колебания, какой-либо из параметров которого изменяется со временем пропорционально исходному сигналу. Амплитудная модуляция (AM) – образование сигнала путем изменения амплитуды гармонического колебания пропорционально мгновенным значениям тока или напряжения сигнала сообщения [3, с. 428].

В данном эксперименте AM-DSB-TC сигнал $s_{AM}(t)$ получается вследствие умножения суммы амплитуды от источника постоянного тока A_{Π} и модулирующего сигнала $s_{\Pi}(t)$ на сигнал несущей частоты $s_{\text{н}}(t)$. Данный процесс проиллюстрирован формулой (1):

$$s_{AM}(t) = [A_{\Pi} + s_{\Pi}(t)]s_{\text{н}}(t). \quad 1)$$

Для гармонического информационного сигнала с амплитудой A_{Π} и частотой f_{Π} и несущей с амплитудой $A_{\text{н}}$ и частотой $f_{\text{н}}$:

$$s_{\Pi}(t) = A_{\Pi} \cos(2\pi f_{\Pi} t); \quad (2)$$

$$s_{\text{н}}(t) = A_{\text{н}} \cos(2\pi f_{\text{н}} t). \quad (3)$$

Тогда выражение (1) будет выглядеть следующим образом:

$$s_{AM}(t) = [A_{\Pi} + A_{\Pi} \cos(\omega_{\Pi} t)]A_{\text{н}} \cos(\omega_{\text{н}} t). \quad (4)$$

С учетом индекса модуляции выражение (4) можно записать как:

$$s_{AM}(t) = A_{\Pi}[1 + m \cos(\omega_{\Pi} t)]A_{\text{н}} \cos(\omega_{\text{н}} t) = A_{\Pi}A_{\text{н}} \cos(\omega_{\text{н}} t) + \frac{A_{\Pi}A_{\text{н}}m}{2}(\cos(\omega_{\text{н}} - \omega_{\Pi})t + \cos(\omega_{\text{н}} + \omega_{\Pi})t). \quad (5)$$

Таким образом, при модулирующем гармоническом сигнале, спектр модулированного AM-DSB-TC будет содержать три составляющие: нижнюю полосу на частоте $f_{\text{н}} - f_{\Pi}$, верхнюю полосу на частоте $f_{\text{н}} + f_{\Pi}$ и компоненту несущей на частоте, соответственно $f_{\text{н}}$.

Так как USRP, по сути, представляет собой модулятор AM-DSB-SC, для генерации сигнала AM-DSB-TC требуется только передать на программную часть информационный сигнал, предварительно сложенный с постоянной составляющей. Схема реализации передатчика AM-DSB-TC в MATLAB/Simulink представлена на рисунке 2 [4, с. 285].

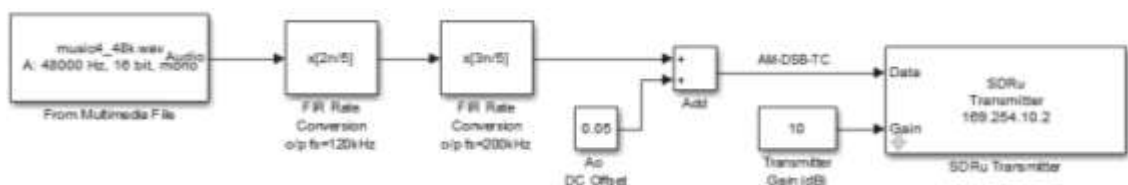


Рисунок 2 – Схема реализации передатчика AM-DSB-TC сигнала в MATLAB/Simulink

Блок «From Multimedia File» содержит ссылку на музыкальный файл с частотой 48 кГц, который передается на «FIR Rate Conversion o/p fs=120 kHz» в котором частота дискретизации исходного файла повышается до 120 кГц, далее сигнал попадает на блок «FIR Rate Conversion o/p fs=200 kHz», который преобразует частоту дискретизации сигнала с 120 кГц до 200 кГц. Далее сигнал суммируется с постоянной составляющей с блока «Ao DC Offset». Получившийся сигнал поступает на блок «SDRu Transmitter», в котором задаются параметры передатчика такие как усиление и несущая частота.

Сигналы из MATLAB/Simulink по USB интерфейсу поступают на USRP. Сигнал в данном случае будет иметь только синфазную составляющую $s_I[n]$. В аппаратной части передатчика частота дискретизации увеличивается и сигнал преобразуется в аналоговую форму. Аналоговый сигнал смешивается с несущей частотой, после фильтрации и усиления передается в эфир. Выходной сигнал USRP будет выглядеть следующим образом:

$$s_{tx}(t) = K_{tx} [s_I(t) \cos(\omega_n t)], \quad (6)$$

где K_{tx} – коэффициент усиления усилителя передатчика.

Так как AM-DSB-TC содержит в себе информационную огибающую, его демодуляцию можно осуществить посредством некогерентного приемника. Самым простым способом детектирования амплитудно-модулированных сигналов является детектор огибающей.

Вещественный сигнал, принятый RTL-SDR, усиливается в малошумящем усилителе и попадает на смеситель, где смешивается с сигналом гетеродина для переноса на промежуточную частоту:

$$s_{rx}(t) = s_{AM}(t) e^{-j\omega_r t}, \quad (7)$$

где ω_r – частота гетеродина, Гц.

Далее сигнал фильтруется в фильтре нижних частот и остается только комплексный сигнал основной полосы частот:

$$\begin{aligned} s_{rx}(t) = & \frac{A_n A_H}{2} [\cos(\omega_n t - \omega_{0r} t) - j \sin(\omega_n t + \omega_{0r} t)] + \\ & + \frac{A_n A_H}{4} [\cos(\omega_n t - \omega_n t - \omega_{0r} t) + \cos(\omega_n t + \omega_n t - \omega_{0r} t) - \\ & - j \sin(\omega_n t - \omega_n t - \omega_{0r} t) - j \sin(\omega_n t + \omega_n t - \omega_{0r} t)]. \end{aligned} \quad (8)$$

Так как в схеме детектора огибающей задается сдвиг частоты $\Delta\omega = \omega_n - \omega_{0r}$, то вещественную и мнимую части сигнала можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} s_I(t) = & \frac{A_n A_H}{2} \cos(\Delta\omega t) + \frac{A_n A_H}{4} [\cos(\Delta\omega t - \omega_n t) + \\ & + \cos(\Delta\omega t - \omega_n t)]; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} s_Q(t) = & -j \frac{A_n A_H}{2} \sin(\Delta\omega t) + j \frac{A_n A_H}{4} [\cos(\Delta\omega t - \omega_n t) + \\ & + \cos(\Delta\omega t - \omega_n t)]. \end{aligned} \quad (10)$$

Получившийся сигнал дискретизируется, преобразуется в аналого-цифровом преобразователе и попадает в MATLAB/Simulink.

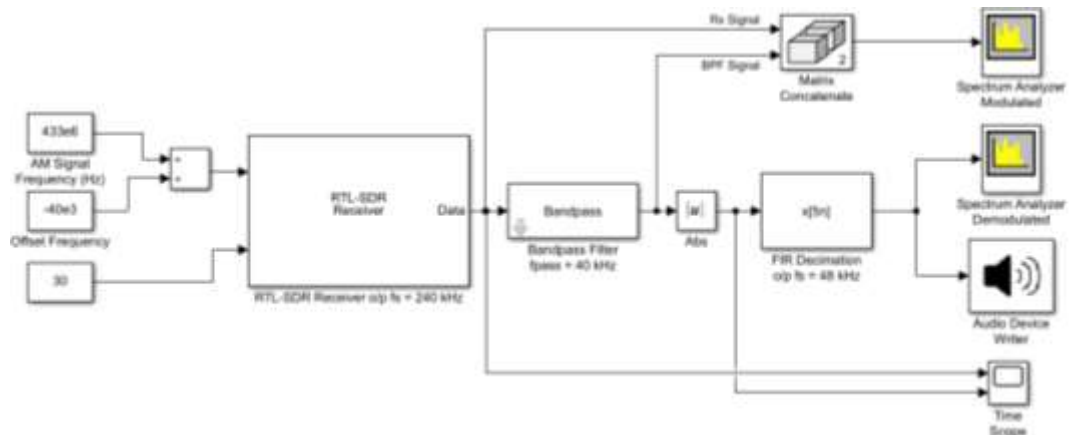


Рисунок 3 – Схема реализации детектора огибающей в MATLAB/Simulink

На рисунке 3 приведена схема программной реализации детектора огибающей для демодуляции AM-DSB-TC. Здесь блок «RTL-SDR Receiver» отвечает за связь аппаратной и программной частей приемника. Блок «Offset Frequency» задает частоту сдвига, необходимую для успешной некогерентной демодуляции сигнала, блок «Bandpass Filter» пропускает только AM-DSB-TC на промежуточной частоте. Спектрограммы принятого RTL-SDR сигнала и AM-DSB-TC после фильтрации представлены на рисунке 4.

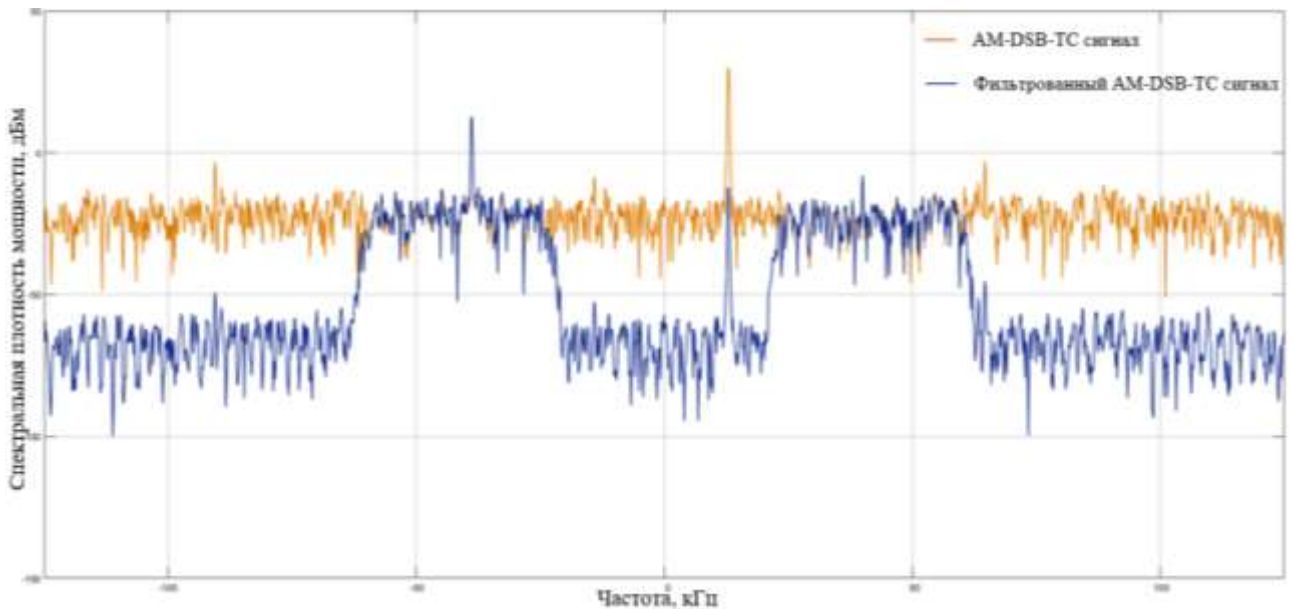


Рисунок 4 – Спектрограммы сигналов: оранжевый – AM-DSB-TC на промежуточной частоте; синий – AM-DSB-TC на промежуточной частоте после фильтрации

Блок «Abs» выводит амплитуду входного сигнала, а взяв амплитуду комплексного сигнала AM-DSB-TC, можно определить его огибающую и вывести демодулированный информационный сигнал. Так как вещественная часть сигнала уже представляет собой исходный сигнал, а мнимая – преобразование исходного сигнала, огибающая исходного сигнала находится как модуль комплексного сигнала:

$$s_a[n] = |s_I[n] + js_Q[n]|. \quad (11)$$

Осциллограммы IQ-составляющих модулированного сигнала представлены на рисунке 5 (а), демодулированного сигнала – на рисунке 5 (б). По графикам удобно проследить зависимость демодулированного сигнала от формы действительной части модулированного сигнала.

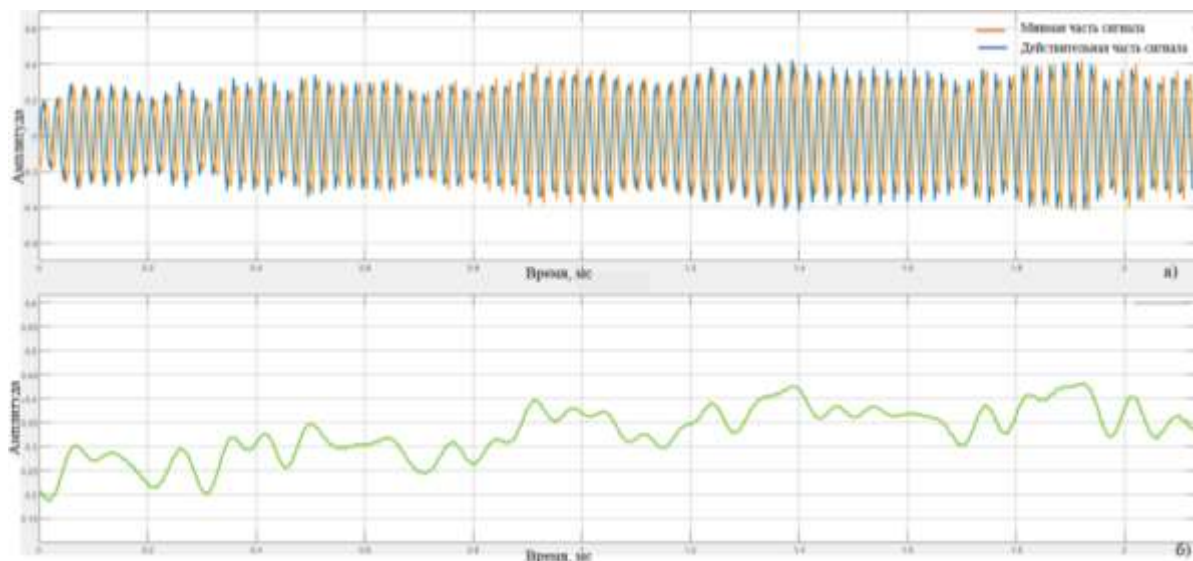


Рисунок 5 – Осциллограммы сигналов: а) – модулированная несущая; б) – детектированная огибающая.

Далее частота дискретизации сигнала уменьшается до 48 кГц в фильтре с конечной импульсной характеристикой, и он воспроизводится. Спектрограмма демодулированного сигнала представлена на рисунке 6.

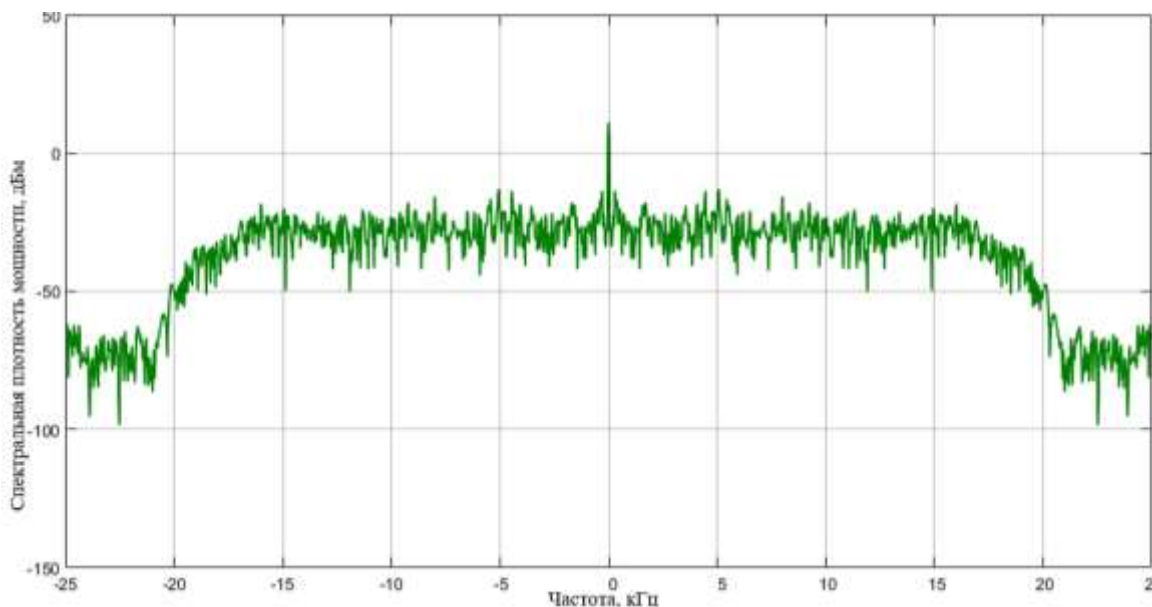


Рисунок 6 – Спектрограмма демодулированного сигнала

Таким образом в данной работе были рассмотрены процессы модуляции и демодуляции AM-DSB-TC, генерируемого с помощью NI USRP-2920 и принимаемого с помощью RTL-SDR с использованием системы компьютерной математики MATLAB. Результаты работы показывают, что приемник RTL-SDR в сочетании с MATLAB/Simulink позволяет легко осуществить прием и обработку радиосигнала с наглядным представлением этапов обработки, что может быть полезно для использования в учебном процессе.

Список литературы

1. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 372 с.

2. Блэк А.Б. Введение в системы радиосвязи. Лабораторные работы с NI USRP и LabVIEW Communications. Руководство для студентов, 2014.157 с. – URL: <https://nitesc.nstu.ru/upload/lib> (дата обращения 25.05.2022) – Текст электронный.
3. Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н., Чурсин Ю.А. Телеконтроль и телеуправление: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 139 с.
4. Stewart R.W., Barlee K.W., Atkinson D.S.W., Crockett L.H. Software defined radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR. Glasgow: Strathclyde Academic Media, 2015. 647 P.