

УДК 621.372

В. А. Сидорина, канд. пед. наук, доц.*Е. Д. Урсегова, Д. Р. Чистякова*, студентыE-mail: vasidorina@mail.ru

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Экспериментальное исследование приема амплитудно-модулированных сигналов на одной боковой полосе

В статье рассмотрены формирование и прием амплитудно-модулированных сигналов на одной боковой полосе. В результате эксперимента смоделирован сигнал и построена схема приема. Была использована среда MatLab. Результаты исследования показали, что прием амплитудно-модулированного сигнала на одной боковой полосе делает возможным наиболее результативное использование частотного ресурса и увеличение дальности связи, а также позволяет значительно снизить уровень шума, возникающий при применении амплитудной модуляции с подавленной несущей частотой.

Ключевые слова: амплитудно-модулированные сигналы, боковая полоса, MatLab, моделирование.

Введение

Как известно, в модулируемом по амплитуде сигнале примерно 30 % мощности делится пополам между боковыми частотными полосами и примерно 70 % мощности передатчика идет на излучение сигнала несущей частоты. В результате этого исключаем из спектра сигнала несущую и одну боковую полосы.

Сигнал с однополосной модуляцией занимает в радиоэфире полосу частот в два раза меньше полосы амплитудно-модулированного сигнала, что делает возможным наиболее результативное использование частотного ресурса и увеличение дальности связи.

Зачастую невозможна непосредственная передача по радиоканалу сигналов, получаемых из источника сообщений. На это значительно влияет их относительная низкочастотность. Для реализации эффективной передачи сигналов в любой среде требуется перенос спектра этих сигналов из области низких частот в область с высокими частотами. Данный процесс в радиотехнике получил название «модуляция».

Хотим отметить, что для моделирования была использована программа MATLAB R2016a. Данная среда предназначена для технических вычислений и совмещает в себе программу для моделирования (расши-

рение MATLAB – SIMULINK), предназначенную для комплексного анализа и проектирования, и язык программирования (MATLAB), необходимый для работы с математическими моделями (матрицами, массивами и т. д.). Программные продукты MATLAB демонстрируют процесс работы различных алгоритмов с разными исходными данными. MATLAB применяется в автомобилестроении, аэрокосмической и других отраслях, а также в образовании. Программа MATLAB была изначально создана не для людей с высокими навыками в программировании, а для инженеров и математиков, поэтому основными достоинствами ее применения являются интерактивные возможности, автоматизация работы, наличие множества готовых встроенных функций и материалов (например, программные блоки ToolBox, которые можно использовать для моделирования) и востребованность на рынке. MATLAB способен обрабатывать большие блоки данных, моделировать системы и комплексы, обрабатывать сигналы и изображения, что делает данную среду разработки незаменимой в радиотехнической сфере.

Постановка задачи

Однополосная модуляция обладает большим практическим значением в различных системах связи, в том числе войсковой. Несмотря на это при ее практической реализации часто встречаются некоторые технические трудности, как при передаче, так и при приеме.

В ходе исследований было установлено, что при преобразовании амплитудно-модулированного сигнала в однополосный можно выиграть по мощности передатчика примерно в 16 раз.

На данный момент известны несколько способов формирования однополосных сигналов, такие как:

- фильтровой, или способ последовательных преобразований частоты с фильтрацией;
- фазокompенсационный, или фазоразностный;
- фазофильтровый;
- синтетический.

Задачей данного исследования является экспериментальное формирование сигнала фильтровым способом.

Решение задачи

В основе фильтрового способа (рис. 1) лежит выделение из спектра амплитудно-модулированного сигнала одной из боковых полос частот при помощи фильтра. Кольцевой смеситель формирует однополосный сигнал на частоте $f_1 \pm F$. Полосовой фильтр на выходе не пропускает незадействованную полосу частот. Колебание несущей подавляется в

самом преобразователе. Второй преобразователь частоты модифицирует спектр сигнала в область частоты f_2 , $f_2 > f_1$. Второй полосовой фильтр отделяет сигнал верхней боковой полосы (ВБП), отстоящий от нижней боковой полосы (НБП) на величину $2 f_1$. Подобная сильная расстройка между боковыми полосами дает возможность подавить неиспользуемую полосу частот посредством достаточно простых фильтров.

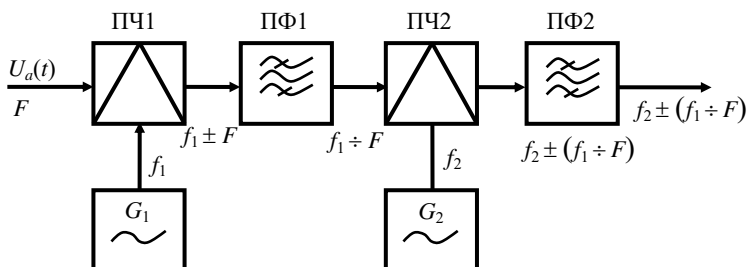


Рис. 1. Схема формирования однополосного сигнала способом последовательных преобразований частоты с фильтрацией

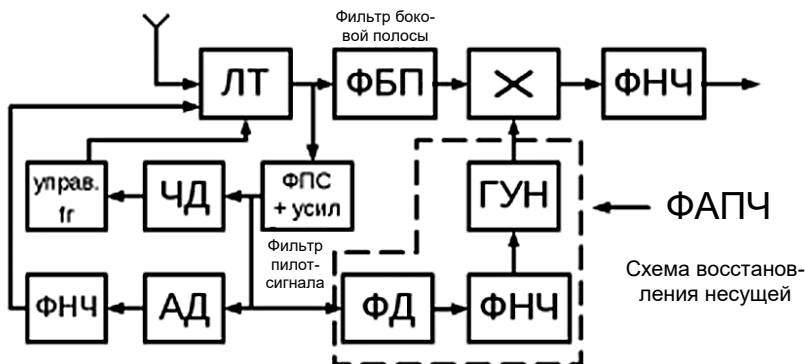


Рис. 2. Схема структуры приемного устройства однополосного сигнала

При демодуляции несущая восстанавливается, искажения сигнала не обнаруживаются. На рис. 2 находится схема приемного устройства однополосного сигнала с частично подавленной несущей.

Сигнал с выхода линейного тракта подается на два фильтра, фильтр боковой полосы отделяет информативную часть, фильтр постоянной составляющей отделяет сигнал с заранее известными на принимающей стороне характеристиками (пилот-сигнал).

Выход фильтра постоянной составляющей организует работу систем автоподстройки частоты и производит автоматическую регулировку усиления (АРУ), а пилот-сигнал поступает на схему восстановления несущей. Стабильный по уровню и очищенный от помех сигнал несущей подается на перемножитель с выхода генератора, управляемого напряжением (ГУН).

После перемножителя сигнал подается на ФНЧ, и происходит демодулирование сигнала.

Ниже приведена программа, которая была разработана в процессе исследования. Для простоты используется пилообразный модулирующий сигнал.

Листинг 1

```
% Частота дискретизации 100 Гц, длительность сигнала 12 секунд
Fs = 100;
t = (0:12*Fs+1)'/Fs;
Fc = 10;                                % Несущая частота
x = sawtooth(t);                        % Пилообразный модулирующий сигнал
r = awgn(x,12,'measured');              % Добавляем к сигналу АБГШ
y = ssbmod(r,Fc,Fs);                    % Реализуем однополосный АМ сигнал
z = ssbdemod(y,Fc,Fs);                  % Производим демодуляцию
% Графики
subplot(3,1,1);
plot(t,r);                              % Первичный сигнал
title('Первичный сигнал');
ylabel('x(t)');
grid on;
subplot(3,1,2);
plot(t,y);                              % Модулированный сигнал
title('Модулированный сигнал');
ylabel('y(t)');
grid on;
subplot(3,1,3);
plot(t,z);                              % Демодулированный сигнал
title('Демодулированный сигнал');
xlabel('Время (с)');
ylabel('z(t)');
grid on;
% Вычисляем спектр модулированного сигнала
A = fft(y);
A = abs(A(1:length(A)/2+1));
B = (0:length(A)-1)*Fs/length(A)/2;
% Выводим график спектра модулированного сигнала
figure;
subplot(1,1,1);
plot(B,A);
title('Спектр АМ сигнала с одной боковой полосой');
xlabel('Частота (Гц)');
```

```
ylabel('Модулированный сигнал - y');  
grid on;
```

В качестве исходных данных приняты следующие величины:

- частота дискретизации 100 Гц;
- несущая частота 10 Гц;
- длительность сигнала 12 с.

Для сравнения сигнала с шумовым воздействием и без воздействия шума при помощи функции AWGN к исходному сигналу добавляется аддитивный гауссовский шум. Используемая функции SSBMOD позволяет формировать однополосный модулированный сигнал, а функция SSBDEMOD демодулирует сигнал.

Результаты исследования

В ходе исследования были экспериментально получены графики и спектры сигнала (рис. 3–9).

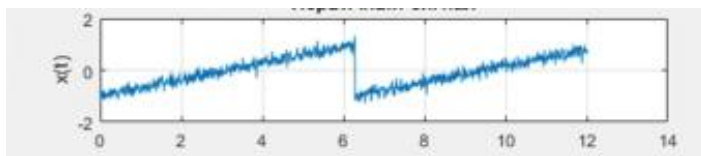


Рис.3. Первичный сигнал

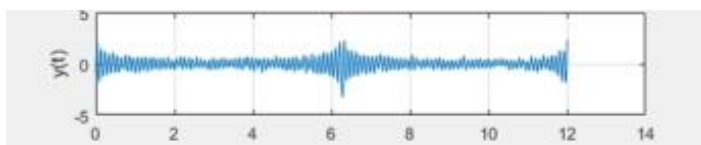


Рис. 4. Модулированный сигнал

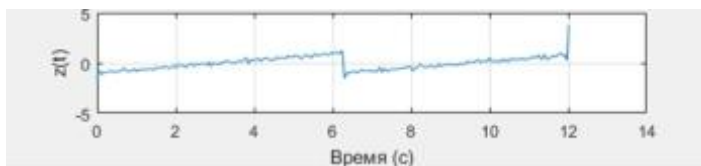


Рис. 5. Демодулированный сигнал

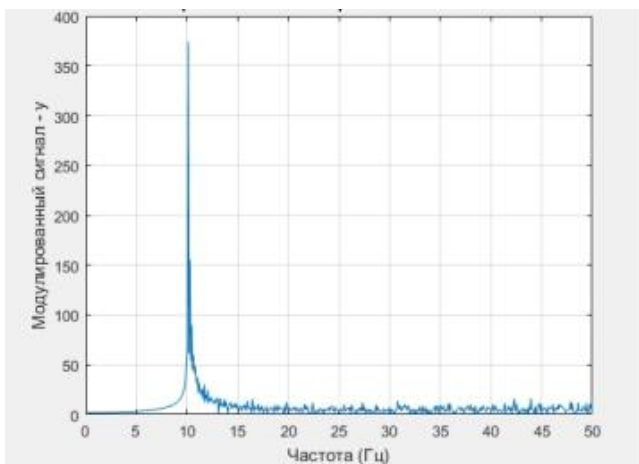


Рис. 6. Спектр АМ-сигнала с верхней боковой полосой

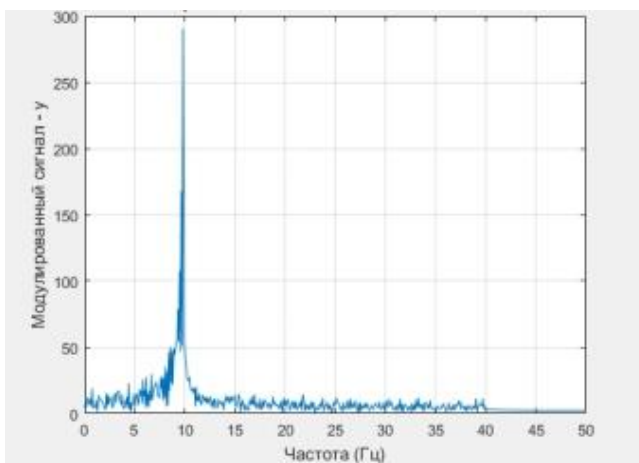


Рис. 7. Спектр АМ-сигнала с нижней боковой полосой

Для наглядного сопоставления приведем спектр двухполосного амплитудно-модулированного сигнала.

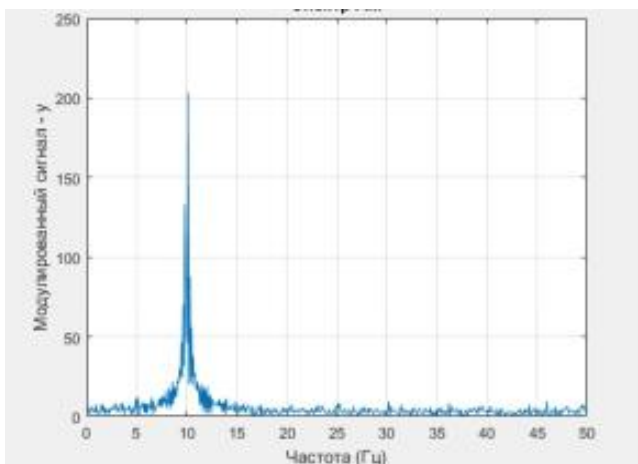


Рис. 8. Спектр АМ-сигнала (двухполосного)

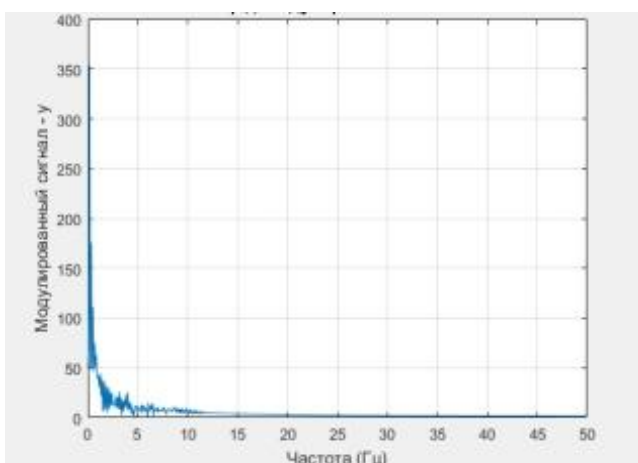


Рис. 9. Спектр демодулированного сигнала

Моделирование показало, что сигнал с однополосной модуляцией занимает полосу вдвое уже, чем сигнал с амплитудной модуляцией. Кроме того, в приемном устройстве становится возможным использование более узкой полосы пропускания, что способно уменьшить проникновение помех.

Выводы

В результате исследования было проведено моделирование в среде MatLab и приведена схема передачи амплитудно-модулированного сигнала на одной боковой полосе. В радиосигнале, модулируемом по амплитуде, примерно 70 % мощности передатчика идет на излучение сигнала несущей частоты, который не несет информации о модулирующем сигнале. Оставшаяся мощность (примерно 30 %) делится в равных частях между боковыми частотными полосами, отображающими друг друга зеркально. Благодаря этому становится возможным исключение из спектра сигнала несущей и одной боковой полосы и можно использовать всю мощность передатчика для излучения исключительно информативного сигнала, не искажая передаваемую информацию.

Сигнал с однополосной модуляцией занимает в эфире полосу частот в два раза меньше полосы амплитудно-модулированного сигнала, что делает возможным наиболее результативное использование частотного ресурса и увеличение дальности связи.

Список литературы

1. *Варгаузин, В. А.* Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи / В. А. Варгаузин, И. А. Цикин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2013. – 352 с.
2. *Галкин, В. А.* Цифровая мобильная радиосвязь / В. А. Галкин. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2011. – 594 с.
3. *Рихтер, С. Г.* Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной радиосвязи / С. Г. Рихтер. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2011. – 304 с.
4. *Варакин, Л. Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – Москва : Радио и связь, 1985. – 384 с.
5. Ssbmod. – Текст : электронный // docs.exponenta.ru : [сайт]. – URL: <https://docs.exponenta.ru/comm/ref/ssbmod.html>, для доступа к информ. ресурсам требуется авторизация. – Загл. с экрана (дата обращения: 01.05.2020).
6. Ssbdemod. – Текст : электронный // MathWorks : [сайт]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/comm/ref/ssbdemod.html>, свободный (дата обращения: 01.05.2020).

V. A. Sidorina, CSc in pedagogics, associate professor

E. D. Ursegova, D. R. Chistyakova, students

E-mail: vasidorina@mail.ru

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Experimental Study of Reception of Single-Sideband Amplitude Modulated Signals

The article describes the formation and receiving of single-sideband amplitude modulated signals. As a result of the experiment, a signal was modeled and a reception circuit was constructed. MatLab was used. The results of the study showed that the reception of the of single-sideband amplitude modulated signals allows more efficient use of the frequency resource. It also allows to increase the communication range, as well to significantly reduce the noise level arising from the application of amplitude modulation with an unsuppressed carrier frequency.

Keywords: amplitude modulated signals; sideband; MatLab; modeling.