

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

ИНСТИТУТ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК И ТЕХНОЛОГИЙ

---

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И ПРОГРАММНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Отчет  
по лабораторной работе №4  
на тему: "Аналоговая модуляция"

выполнила:  
Шевченко А.С.  
группа: 33501/1  
преподаватель:  
Богач Н.В.

Санкт-Петербург  
2018

## 1. Цель работы

Изучение аналоговой модуляции/демодуляции сигнала.

## 2. Постановка задачи

1. Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты.
2. Выполнить амплитудную модуляцию (АМ) сигнала по закону  $u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$  для различных значений глубины модуляции  $M$ . Используйте встроенную функцию MatLab *ammod*
3. Получить спектр модулированного сигнала.
4. Выполнить модуляцию с подавлением несущей  $u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$ . Получить спектр.
5. Выполнить однополосную модуляцию:

$$u(t) = U_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) + \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^N M_n (\cos(\omega_0 + \Omega_n)t + \phi_0 + \Phi_n)$$

положив  $n=1$

6. Выполнить синхронное детектирование и получить исходный однополосный сигнал.
7. Рассчитать КПД модуляции.

$$\eta_{AM} = \frac{U_m^2 M^2 / 4}{P_U} = \frac{M^2}{M^2 + 2}$$

## 3. Теоретическая часть: Аналоговая модуляция

При создании систем передачи информации в большинстве случаев оказывается, что спектр исходного сигнала, подлежащего передаче, сосредоточен не на тех частотах, которые эффективно пропускает имеющийся канал связи. Во многих случаях требуется, чтобы передаваемый сигнал был узкополосным, что значит, что эффективная ширина спектра много меньше его центральной частоты.

Таим образом, появляется потребность в некоторой трансформации исходного сигнала, чтобы требования к занимаемой сигналом полосе частот, были выполнены, а сам исходный сигнал можно было восстановить.

Решение данной проблемы достигается при модуляции, сущность которой заключается в следующем. Формируется некоторое колебание (чаще всего гармоническое), называемое несущим колебанием, и какой-либо из параметров этого колебания изменяется во времени пропорционально исходному сигналу. Исходный сигнал называют модулирующим, а результирующее колебание с изменяющимися во времени параметрами - модулированным сигналом. Обратный процесс - выделение модулирующего сигнала из модулированного колебания - называется демодуляцией.

### 3.1 Амплитудная модуляция

При амплитудной модуляции в соответствии с модулирующим сигналом изменяется амплитуда несущего колебания. АМ-сигнал представляет собой произведение информационной огибающей  $U(t)$  и гармонического колебания ее заполнения с более высокими частотами:

$$U(t) = U_m [1 + Ms(t)],$$

Демодуляция, как правило, осуществляется методом синхронного детектирования, суть которого состоит в умножении частоты сигнала на опорное колебание с несущей частотой:

$$y(t) = s_{AM}(t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) = A(t) \cos^2(\omega_0 t + \phi_0) = 1/2 A(t) + 1/2 A(t) \cos(2\omega_0 t + 2\phi_0)$$

где  $U_m$  - постоянная амплитуда несущего колебания при отсутствии входного (модулирующего) сигнала  $s(t)$ ,  $M$  - глубина АМ - отношение между амплитудами модулирующего и несущего сигналов.

Коэффициент полезного действия амплитудной модуляции определяется отношением мощности боковых частот к общей средней мощности модулированного сигнала

$$\eta_{AM} = \frac{U_m^2 M^2 / 4}{P_U} = \frac{M^2}{M^2 + 2}$$

#### 4. Ход работы

В данной работе мы рассмотрим частный случай амплитудной модуляции - однотоновую АМ, при которой модулирующий сигнал является гармоническим. Наша задача - сгенерировать гармонический сигнал низкой частоты и произвести аналоговую модуляцию для различных значений глубины модуляции  $M$ . Код, содержащий функции генерации сигнала и его аналогового модулирования приведен ниже (Рис. 1):

```
1 - close all
2 -
3 - N = 1024; %otscheti
4 - F0 = 1; %chastota
5 - Fs = 512; %chastota discretizatsii
6 - A = 1; % amplituda
7 - T = 10; %dlitelnost signala
8 - t = 0:1/Fs:T;
9 - df = Fs/N;
10 -
11 - y = A*sin(2*pi*F0*t);
12 -
13 - figure;
14 - plot(t, y)
15 - xlabel('t');
16 - ylabel('y(t)');
17 - title('Sine Signal');
18 - ylim([-A-1 A+1]),grid
19 -
20 - f = 0:df:Fs/2 - df; %massiv chastot spectra
21 - X = abs(fft(y, N)); %amplitudi preobrazovania furie
22 - figure;
23 - plot(f, X(1:length(f))), grid
24 - title('Amplitude Spectrum of Sine Signal');
25 - xlabel('Frequency (Hz)')
26 - ylabel('|Y(f)|')
27 -
28 - Fc = 16;
29 - M = 1;
30 - y_AM = ammod(y, Fc, Fs, [], M);
31 - figure;
32 - plot(t, y_AM)
33 - xlabel('t');
34 - ylabel('y(t)');
35 - title('Modulated Signal');
36 - ylim([-A-1 A+1]),grid
37 -
38 - X_AM = abs(fft(y_AM, N)); %amplitudi preobrazovania furie
39 - figure;
40 - plot(f, X_AM(1:length(f))), grid
41 - title('Amplitude Spectrum of Modulated Signal');
42 - xlabel('Frequency (Hz)')
43 - ylabel('|Y(f)|')
```

Рис. 1: Код, реализующий амплитудную модуляцию

Итак, модулирующий сигнал частотой 1 Гц, амплитудой 1 В и длительностью 10 с модулируется при  $M = 1$ . Полученный модулированный сигнал изображен на Рис. 2.

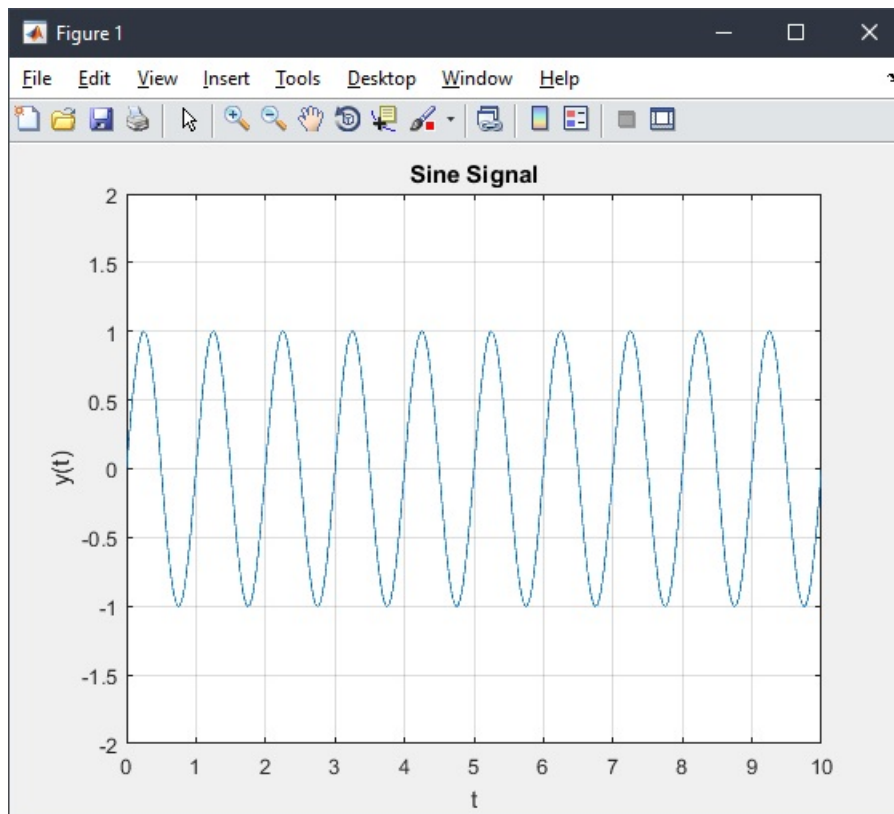


Рис. 2: Модулирующий сигнал

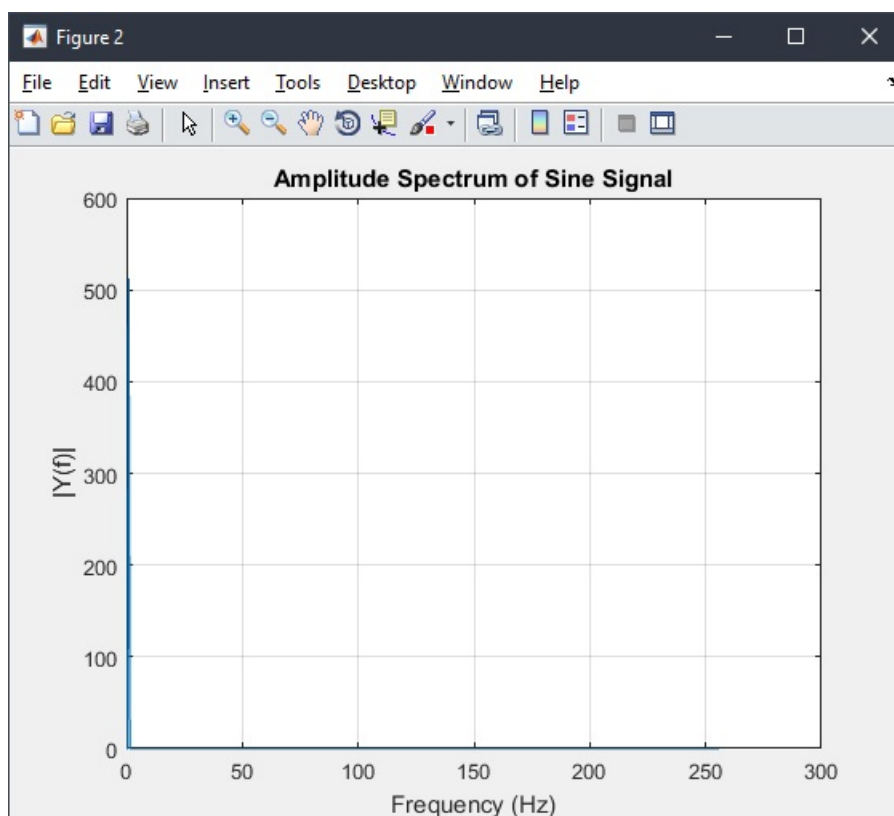


Рис. 3: Спектр модулирующего сигнала

Как уже отмечалось ранее, при амплитудной модуляции в соответствии с модулирующим сигналом изменяется амплитуда несущего колебания. Это утверждение подтверждается полученными в Matlab результатами на Рис. 4:

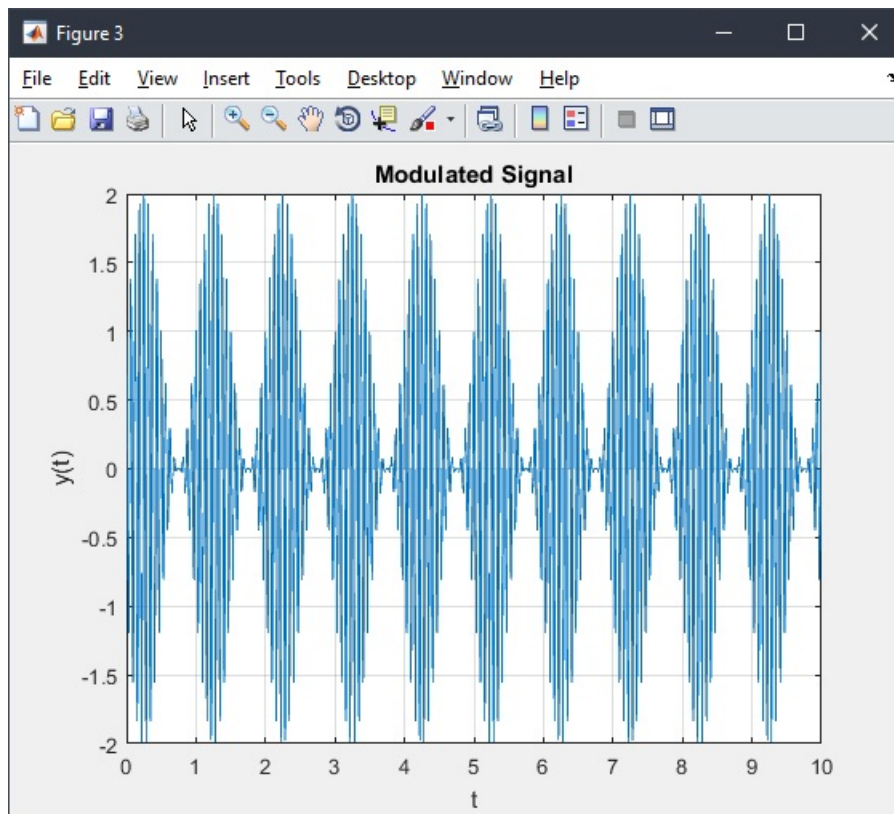


Рис. 4: Модулированный сигнал при  $M=1$

Если провести амплитудную огибающую, то мы увидим, что она соответствует модулирующему сигналу.

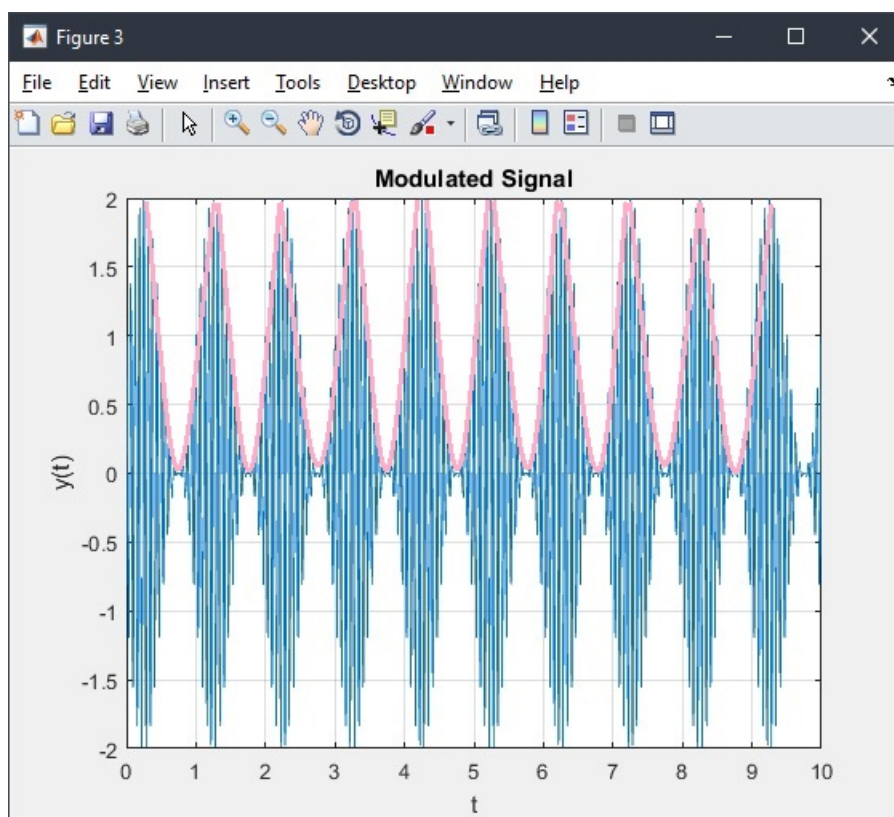


Рис. 5: Амплитудная огибающая сигнала

Спектр модулированного сигнала должен быть шириной равной удвоенной частоте модулирующего сигнала. Учитывая, что наш модулирующий сигнал частотой 1 Гц, то ширина спектра, приведенного ниже, примерно 2 Гц:

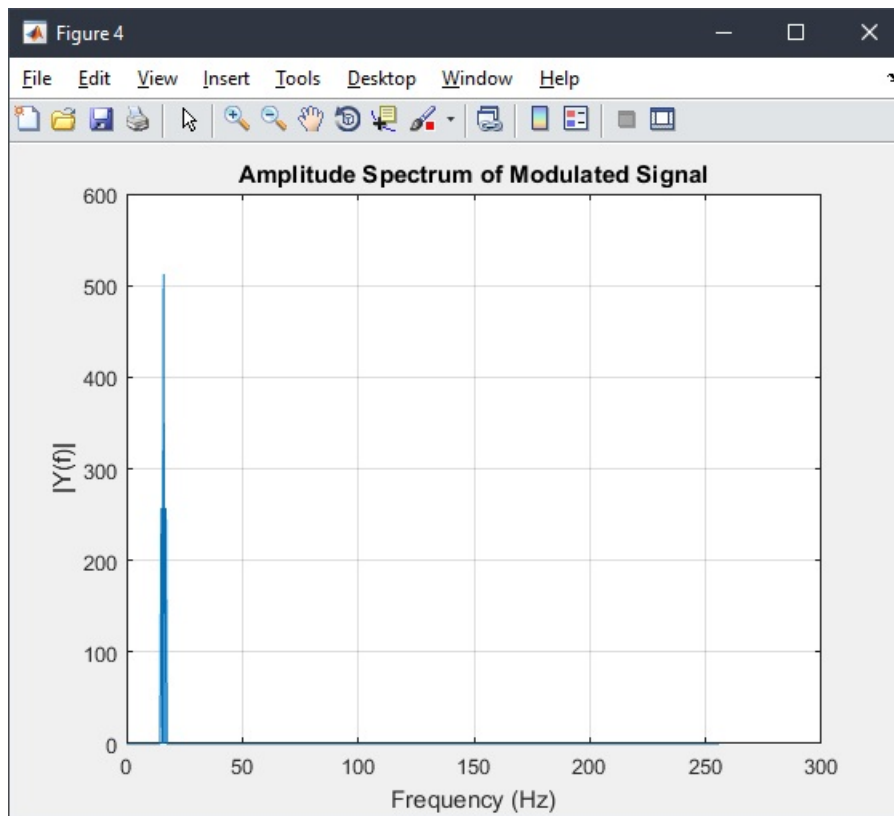


Рис. 6: Спектр модулированного сигнала при  $M=1$

Изменим параметр глубины модуляции на  $M = 0.5$  и посмотрим, как это повлияет на результаты.

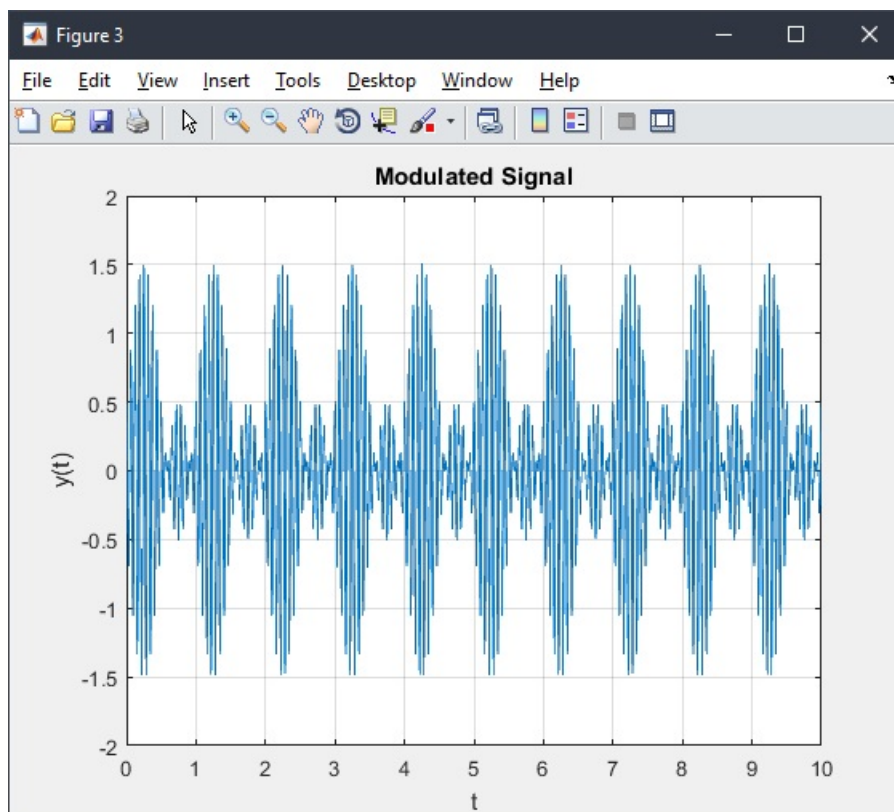


Рис. 7: Модулированный сигнал при  $M=0.5$

Огибающая не совпадает с формой модулирующего сигнала - это явление называется перемодуляцией. Обычно оно наблюдается при глубине модуляции больше единицы, одна при моделировании в Matlab выяснилось, что чем меньше  $M$  (в пределах от 0 до 1), тем сильнее перемодуляция. Возможно, это специфика функций в Matlab.

Спектр модулированного сигнала приведен ниже:

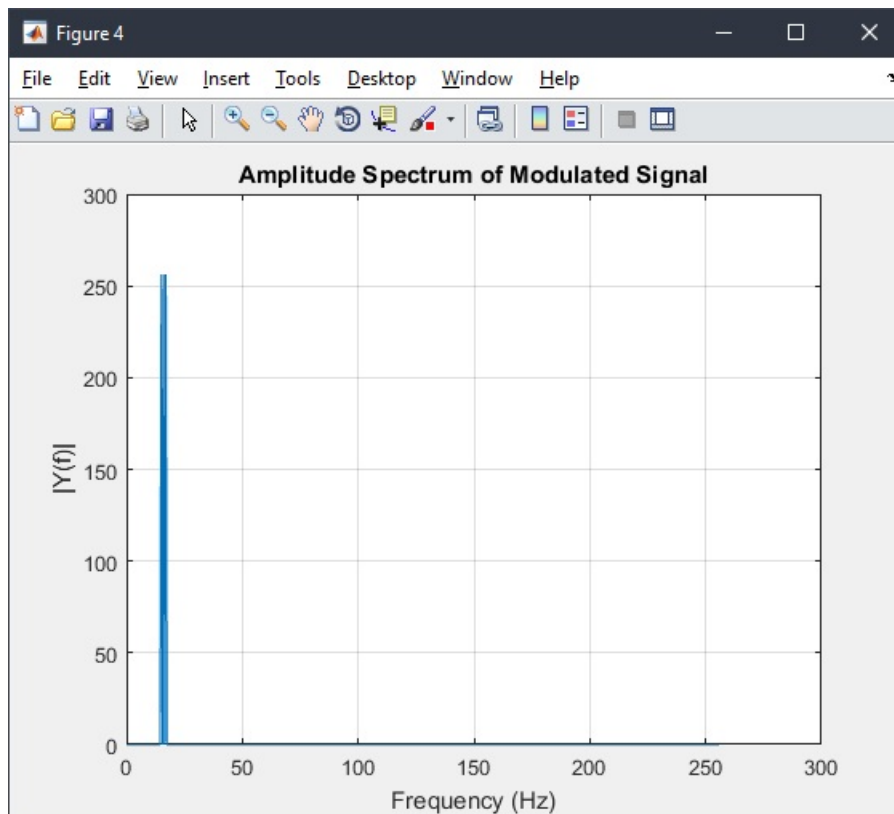


Рис. 8: Спектр модулированного сигнала при  $M=0.5$

Рассчитаем КПД АМ:

1.  $M = 1$

$$\eta_{AM} = \frac{M^2}{M^2 + 2} = \frac{1}{3} = 33\%$$

2.  $M = 0.5$

$$\eta_{AM} = \frac{M^2}{M^2 + 2} = \frac{0.25}{2.25} = 11.1\%$$

При максимальном значении  $M$  коэффициент полезного действия равен всего лишь 33%, потому как основная часть мощности тратится на передачу несущей, которая по сути нам не очень нужна в информационном плане.

Существует несколько модификаций амплитудной модуляции. Одна из них - модуляция с подавлением несущей. Идея этого метода состоит в отказе от добавления постоянной составляющей к модулированному сигналу. Это дает большое энергетическое преимущество, повышая КПД чуть ли не до 100%, однако данный вид модуляции используют редко, в связи со сложностями при демодуляции.

```

1 - close all
2
3 - N = 1024; %otscheti
4 - F0 = 1; %chastota
5 - Fs = 512; %chastota discretizatsii
6 - A = 1; % amplituda
7 - T = 10; %dlitel'nost signala
8 - t = 0:1/Fs:T;
9 - df = Fs/N;
10
11 - y = A*sin(2*pi*F0*t);
12
13 - figure;
14 - plot(t, y)
15 - xlabel('t');
16 - ylabel('y(t)');
17 - title('Sine Signal');
18 - ylim([-A-1 A+1]),grid
19
20 - f = 0:df:Fs/2 - df; %massiv chastot spectra
21 - X = abs(fft(y, N)); %amplitudi preobrazovania furie
22 - figure;
23 - plot(f, X(1:length(f))), grid
24 - title('Amplitude Spectrum of Sine Signal');
25 - xlabel('Frequency (Hz)')
26 - ylabel('|Y(f)|')
27
28 - Fc = 16;
29 - y_AM = ammod(y, Fc, Fs);
30 - figure;
31 - plot(t, y_AM)
32 - xlabel('t');
33 - ylabel('y(t)');
34 - title('Moduled Signal');
35 - ylim([-A-1 A+1]),grid
36
37 - X_AM = abs(fft(y_AM, N)); %amplitudi preobrazovania furie
38 - figure;
39 - plot(f, X_AM(1:length(f))), grid
40 - title('Amplitude Spectrum of Moduled Signal');
41 - xlabel('Frequency (Hz)')
42 - ylabel('|Y(f)|')
43

```

Рис. 9: Код, реализующий АМ с подавленной несущей

Параметры модулирующего сигнала те же, что и в предыдущем опыте.



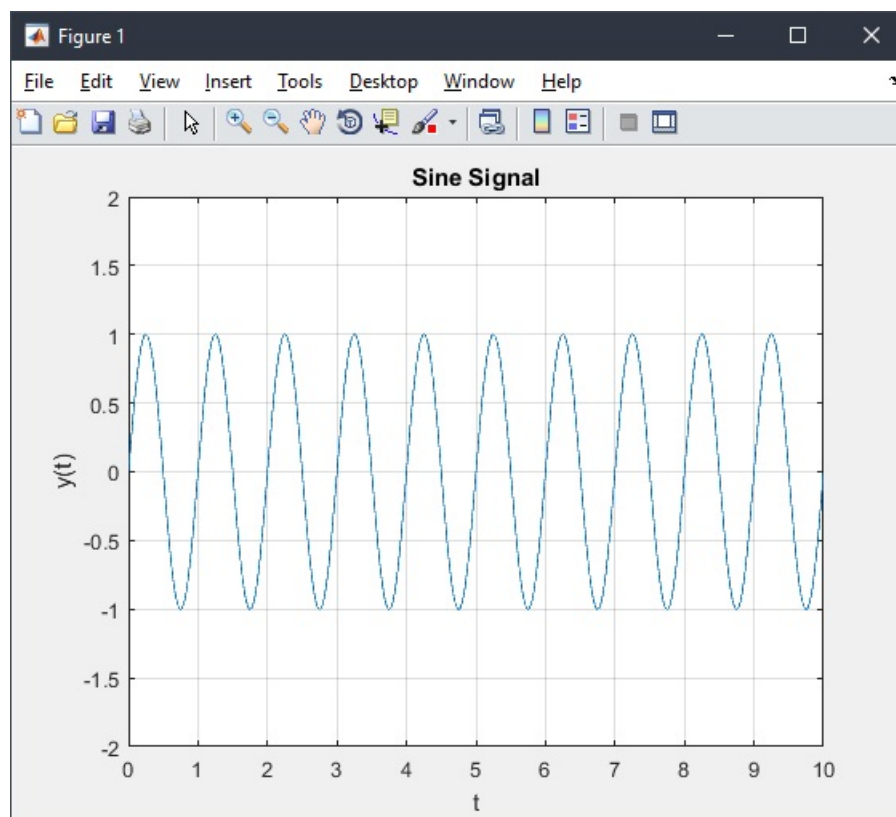


Рис. 10: Модулирующий сигнал

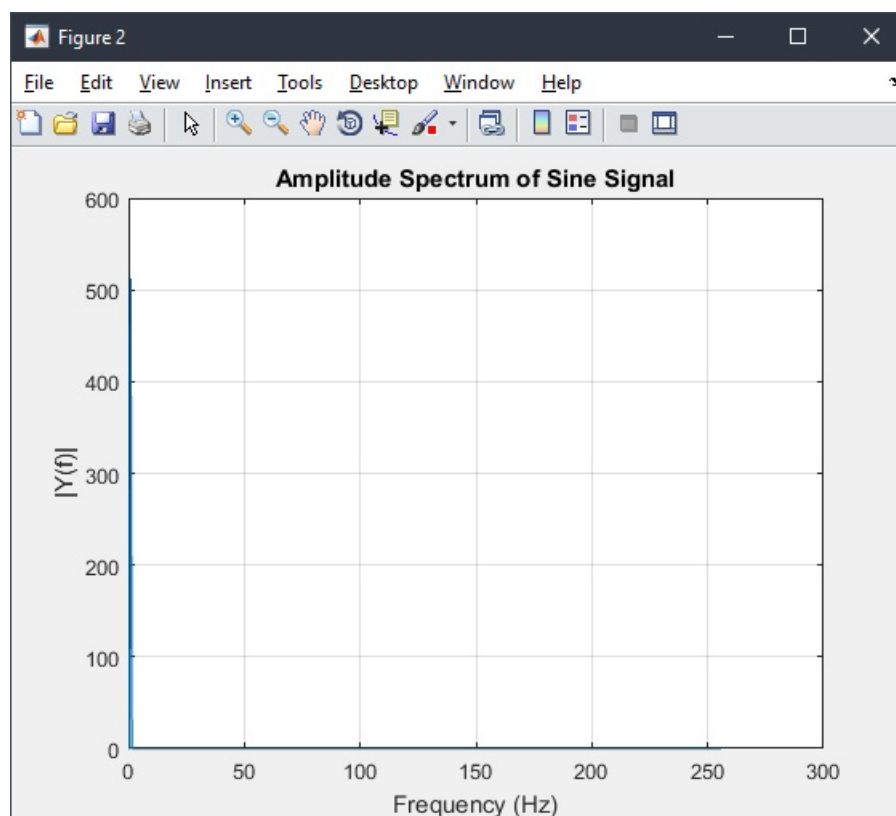


Рис. 11: Спектр модулирующего сигнала

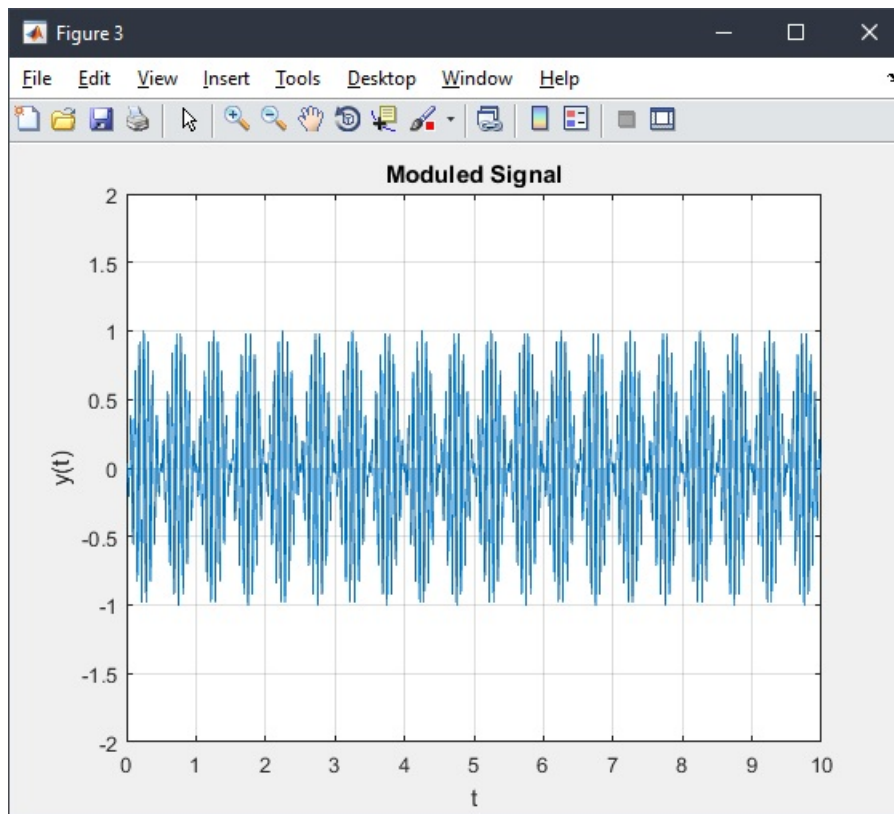


Рис. 12: Модулированный сигнал

Огибающая, как видно, будет совпадать с модулирующим сигналом. Ширина спектра, как и в обычной АМ, должна быть равна удвоенной частоте модулирующего сигнала.

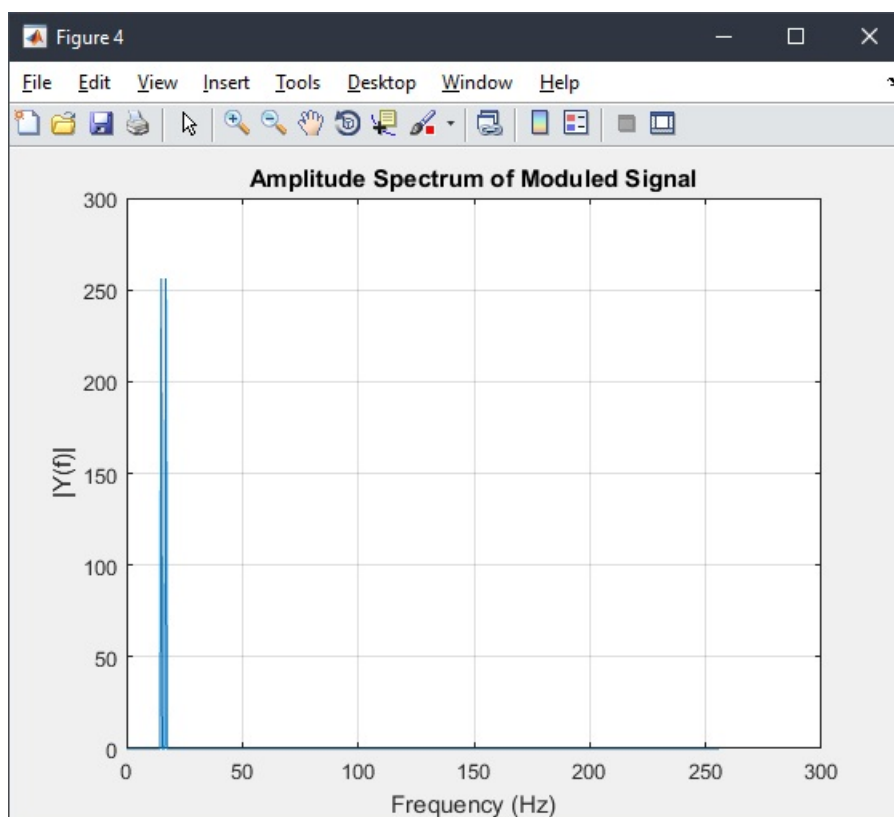


Рис. 13: Спектр модулированного сигнала

Если еще раз взглянуть на спектры модулированных сигналов в предыдущих опытах, можно заметить, что спектры боковых полос зеркальны по отношению к друг другу, то есть несут одну и ту же информацию. Суть еще одного вида АМ - однополосной модуляции - в том, чтобы одну из боковых полос удалить.

В зависимости от того, какую полосу мы сохраняем, данный вид модуляции может быть с использованием верхней или нижней боковой полосы.

Далее, мы продемонстрируем однополосную АМ с использованием нижней боковой полосы.

```

1 - close all
2
3 - N = 1024; %otscheti
4 - F0 = 1; %chastota
5 - Fs = 512; %chastota discretizatsii
6 - A = 1; % amplituda
7 - T = 10; %dlitelnost signala
8 - t = 0:1/Fs:T;
9 - df = Fs/N;
10
11 - y = A*sin(2*pi*F0*t);
12
13 - figure;
14 - plot(t, y)
15 - xlabel('t');
16 - ylabel('y(t)');
17 - title('Sine Signal');
18 - ylim([-A-1 A+1]),grid
19
20 - f = 0:df:Fs/2 - df; %massiv chastot spectra
21 - X = abs(fft(y, N)); %amplitudi preobrazovania furie
22 - figure;
23 - plot(f, X(1:length(f))), grid
24 - title('Amplitude Spectrum of Sine Signal');
25 - xlabel('Frequency (Hz)')
26 - ylabel('|Y(f)|')
27
28 - Fc = 16;
29 - y_low = ssbmod(y, Fc, Fs);
30
31 - figure;
32 - plot(t, y_low)
33 - xlabel('t');
34 - ylabel('y(t)');
35 - title('Am-Op low');
36 - ylim([-A-1 A+1]),grid
37
38 - X_low = abs(fft(y_low, N)); %amplitudi preobrazovania furie
39 - figure;
40 - plot(f, X_low(1:length(f))), grid
41 - title('Amplitude Spectrum of Signal after SSB');
42 - xlabel('Frequency (Hz)')
43 - ylabel('|Y(f)|')
44
45 - y_detect = ssbdemod(y_low, Fc, Fs);
46 - figure;
47 - plot(t, y_detect)
48 - xlabel('t');
49 - ylabel('y(t)');
50 - title('Signal after Sync Detection');
51 - ylim([-A-1 A+1]),grid
52
53 - X_detect = abs(fft(y_detect, N)); %amplitudi preobrazovania furie
54 - figure;
55 - plot(f, X_detect(1:length(f))), grid
56 - title('Amplitude Spectrum of Signal after Sync Detection');
57 - xlabel('Frequency (Hz)')
58 - ylabel('|Y(f)|')
59

```

Рис. 14: Код, реализующий однополосную модуляцию сигнала

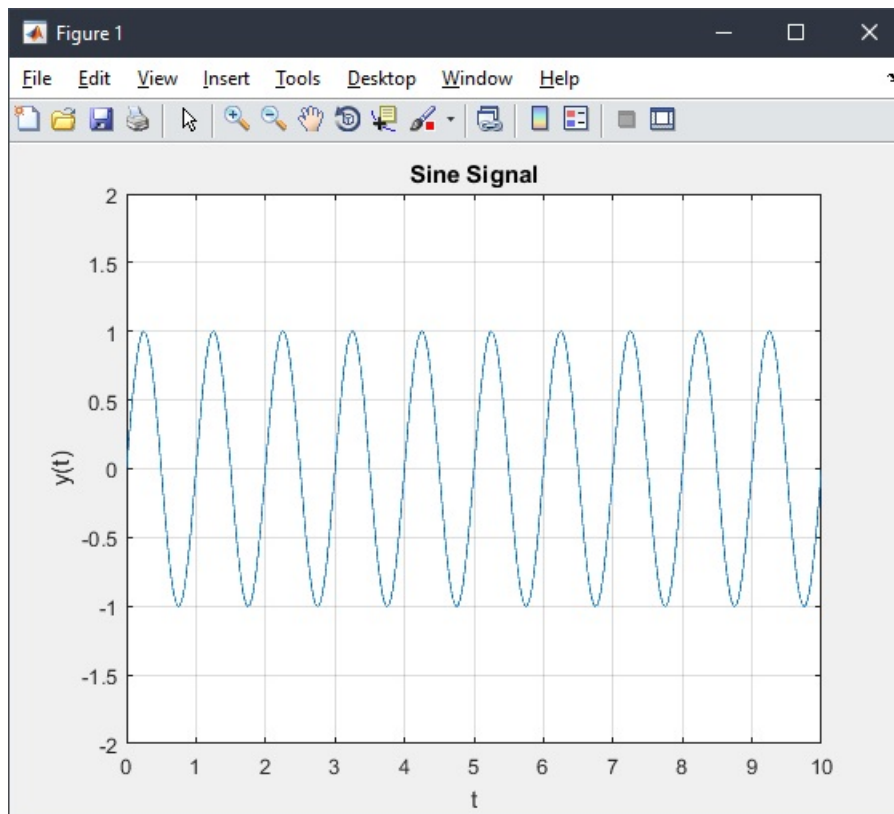


Рис. 15: Модулирующий сигнал

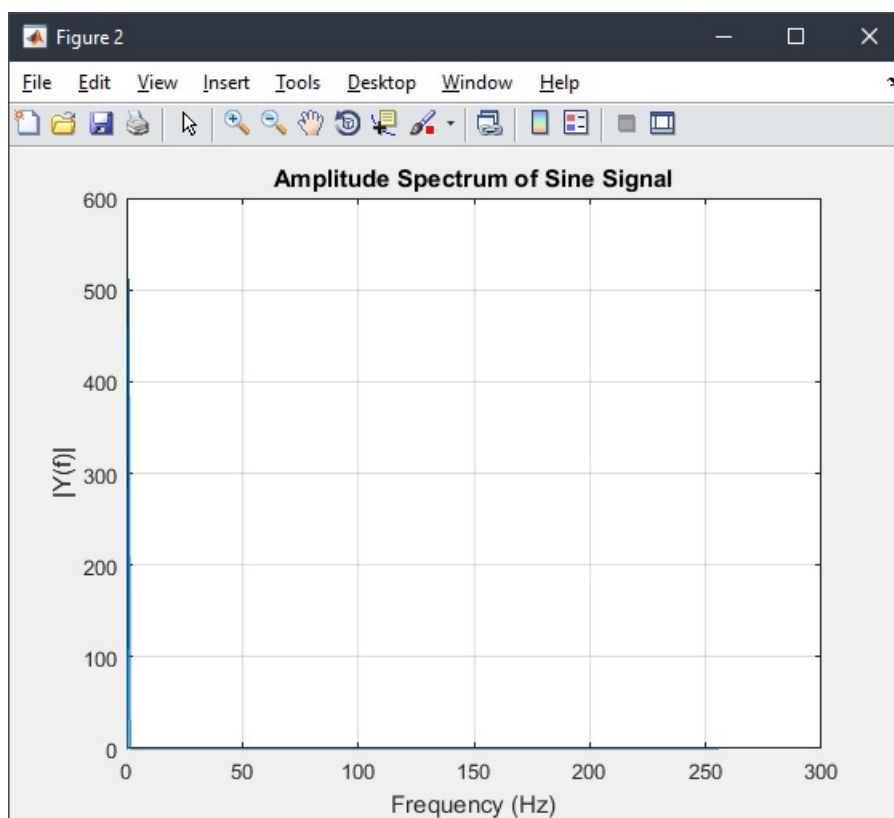


Рис. 16: Спектр модулирующего сигнала

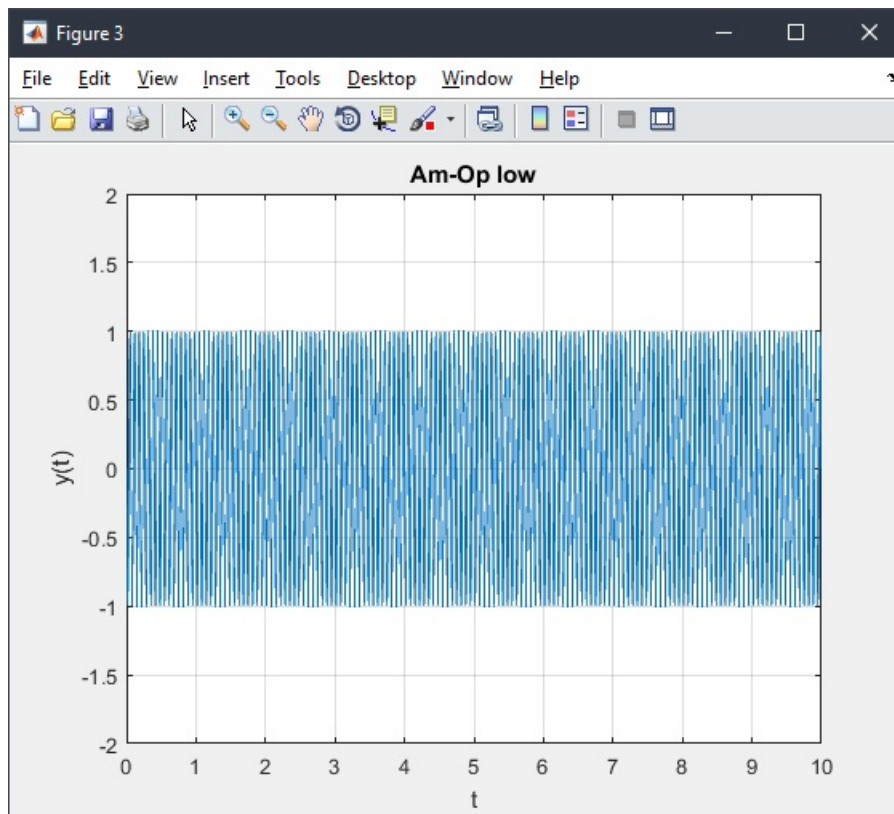


Рис. 17: Модулированный сигнал

Амплитудная огибающая модулированного сигнала ничем не напоминает модулирующий сигнал, но так и должно быть. По сути, при однотоновой однополосной модуляции получается, что наша модулирующая синусоида частотой 1Гц превращается в синусоиду частотой 1Гц + частота несущего колебания.

Ширина спектра модулированного сигнала должна быть равна ширине спектра модулирующего сигнала:

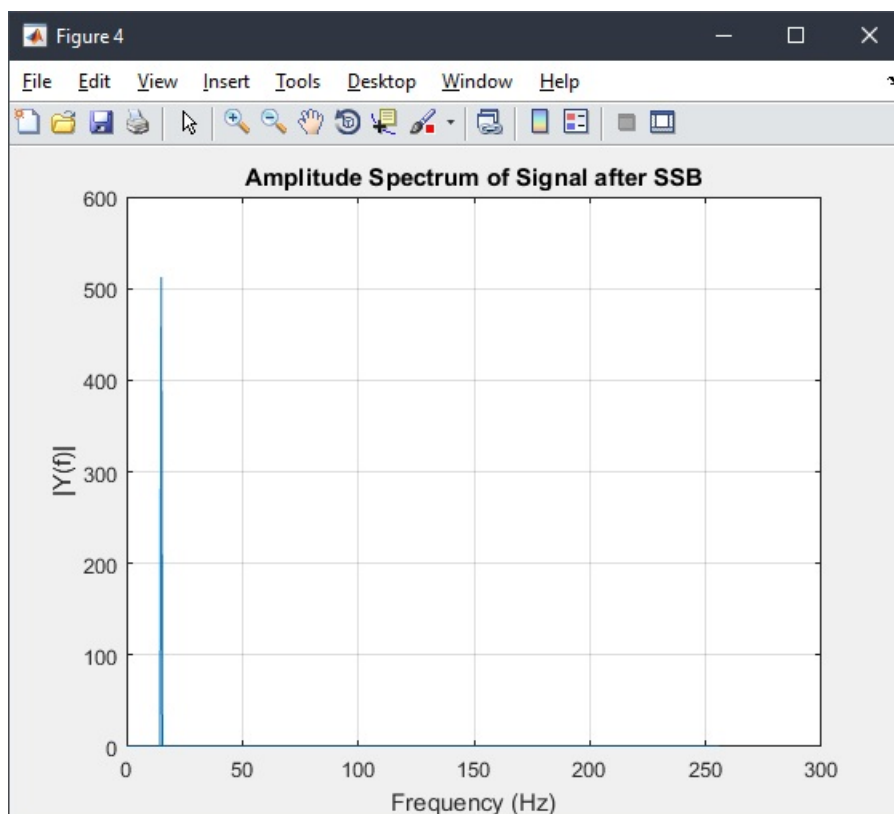


Рис. 18: Спектр модулированного сигнала

Демодулировать сигнал возможно методом синхронного детектирования - то есть умножения на опорное колебание.

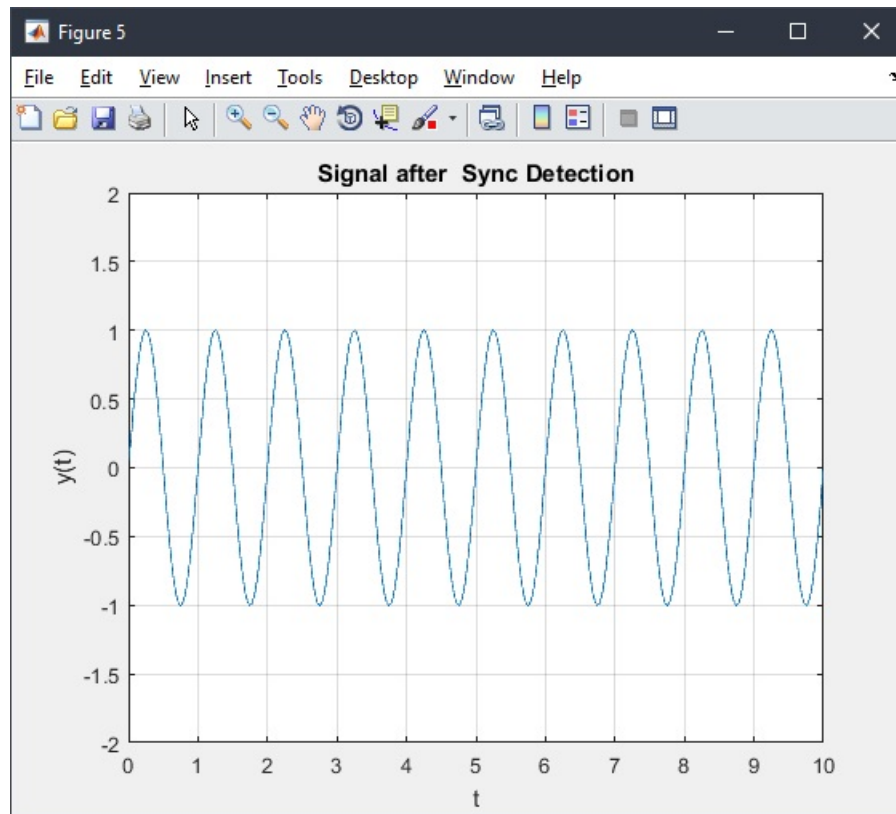


Рис. 19: Сигнал после синхронного детектирования

## 5. Выводы

Таким образом, мы изучили такой механизм обработки сигналов, как аналоговая модуляция, в частности, мы уделили внимание амплитудной модуляции.

Нам удалось выяснить, что обычная однотоновая амплитудная модуляция имеет довольно низкий коэффициент КПД. В попытках повысить его значение, были придуманы методы АМ с подавлением несущей и однополосная АМ.

Модуляция с подавлением несущей имеет КПД равный 100%, однако данный метод не получил широкого применения в связи со сложностью демодулирования.

Однополосная модуляция обладает преимуществом не связанным с КПД: обычная двуполосная модуляция редко используется из-за широты спектра модулированного сигнала, чего не скажешь об однополосной, и мы в этом убедились.