

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого  
Институт компьютерных наук и технологий  
Кафедра компьютерных систем и программных технологий

# Телекоммуникационные технологии

Отчет по лабораторной работе №4

Аналоговая модуляция

**Работу**

**выполнил:**

Беседин Д.С.

Группа: 33501/3

**Преподаватель:**

Богач Н.В.

Санкт-Петербург  
2017

# Содержание

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Цель работы</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2. Постановка задачи</b>  | <b>2</b>  |
| <b>3. Теоретическая информация</b>                                   | <b>2</b>  |
| 3.1. Модуляция . . . . .   | 2         |
| 3.2. Генерация однотонового низкочастотного сигнала $s(t)$ . . . . . | 2         |
| 3.3. Типы модуляции . . . . .  | 2         |
| 3.3.1. Амплитудная модуляция . . . . .                               | 2         |
| 3.3.2. Амплитудная модуляция с подавлением несущей . . . . .         | 3         |
| 3.3.3. Однополосная модуляция . . . . .                              | 4         |
| 3.3.4. Демодуляция с помощью синхронного детектирования . . . . .    | 4         |
| 3.3.5. КПД модуляции . . . . .                                       | 5         |
| <b>4. Ход работы</b>   | <b>5</b>  |
| 4.1. Генерация однотонового сигнала . . . . .                        | 6         |
| 4.2. Амплитудная модуляция . . . . .                                 | 7         |
| 4.3. Амплитудная модуляция с подавлением несущей . . . . .           | 11        |
| 4.4. Однополосная амплитудная модуляция . . . . .                    | 12        |
| 4.5. Спектры АМ-ПН и АМ-ОП . . . . .                                 | 13        |
| 4.6. Демодуляция с помощью синхронного детектирования . . . . .      | 13        |
| 4.7. КПД модуляции . . . . .   | 15        |
| <b>5. Выводы</b>   | <b>16</b> |

# 1. Цель работы

Изучение амплитудной модуляции и демодуляции сигнала.

## 2. Постановка задачи

Необходимо сгенерировать однотоновый низкочастотный сигнал, выполнить амплитудную модуляцию этого сигнала, затем модуляцию с подавлением несущей, однополосную модуляцию. Далее для всех типов модуляции осуществить синхронное детектирование. Рассмотреть спектры сигналов после модуляции и после детектирования. Рассчитать КПД модуляции.

## 3. Теоретическая информация

### 3.1. Модуляция

Перенос спектра сигналов из низкочастотной области на заданную частоту, т.е. в выделенную для их передачи область высоких частот выполняется операцией, которая называется модуляцией. Пусть исходный низкочастотный сигнал -  $s(t)$ .

В канале связи для передачи данного сигнала формируется вспомогательный периодический высокочастотный сигнал  $u(t) = f(t; a_1, a_2, \dots, a_m)$ . Параметры  $a_i$  определяют форму сигнала. Значения этих параметров в отсутствие модуляции являются величинами постоянными. Если на один из этих параметров перенести сигнал  $s(t)$ , т.е. сделать его значение пропорционально зависимым от значения  $s(t)$  во времени, то форма сигнала  $u(t)$  приобретает новое свойство. Она служит для переноса информации, содержащейся в сигнале  $s(t)$ . Сигнал  $u(t)$  в таком случае называется несущим сигналом, или несущей, а физический процесс переноса информации на параметры несущего сигнала – модуляцией. Обратную операцию выделения модулирующего сигнала из модулированного колебания называют демодуляцией или детектированием.

### 3.2. Генерация однотонового низкочастотного сигнала $s(t)$

Для генерации гармонического сигнала воспользуемся формулой  $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$ , где  $A$  - амплитуда сигнала,  $f$  - частота,  $t$  - вектор отсчетов времени,  $\varphi$  - смещение по фазе.

### 3.3. Типы модуляции

#### 3.3.1. Амплитудная модуляция

Формула АМ имеет вид:

$$u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1)$$

Спектр амплитудно-модулированного сигнала представлен на Рис.3.3.1:

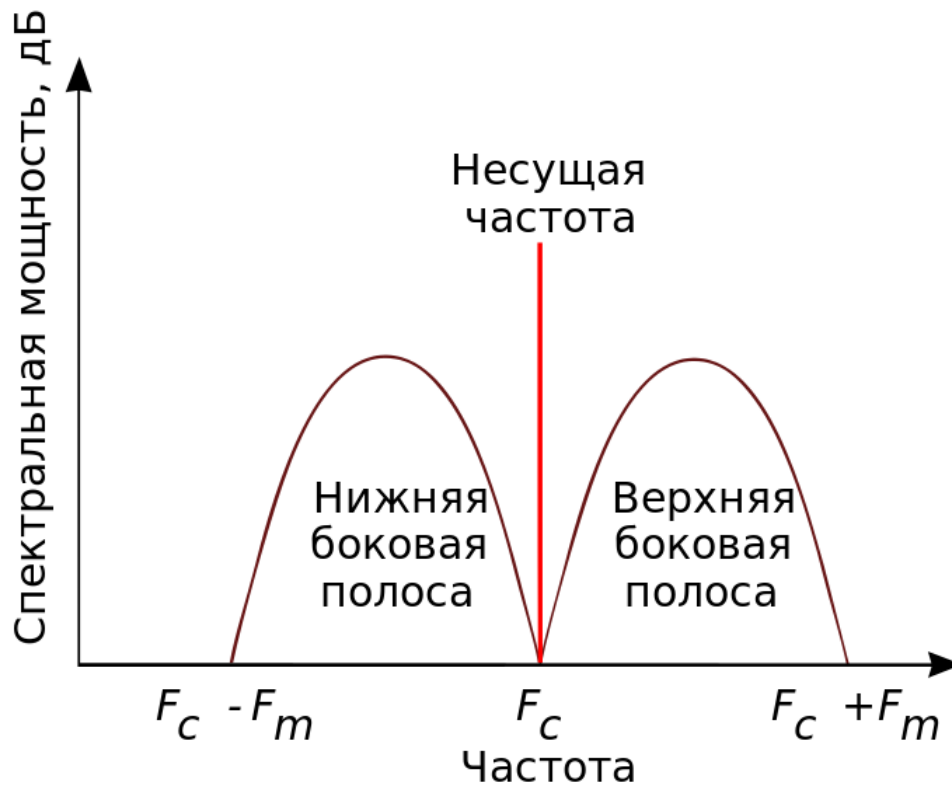


Рис. 3.3.1. Спектр амплитудно-модулированного сигнала

В настоящее время такая модуляция применяется крайне редко из-за низкого КПД.

### 3.3.2. Амплитудная модуляция с подавлением несущей

Основная доля мощности АМ – сигнала приходится на несущую частоту. При АМ с подавлением несущей производится перемножение двух сигналов – модулирующего и несущего, для подавления несущего колебания, соответственно, КПД модуляции становится 100%. Формула такой модуляции:

$$u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2)$$

Спектр балансно-модулированного сигнала представлен на Рис.3.3.2:

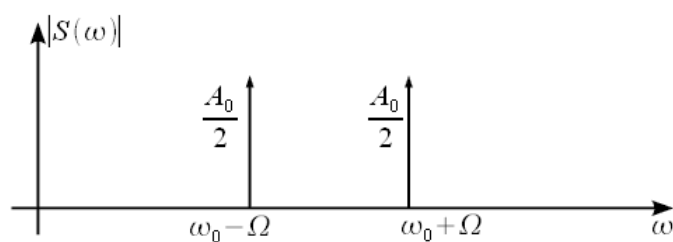


Рис. 3.3.2. Спектр балансно-модулированного сигнала

### 3.3.3. Однополосная модуляция

При идентичности информации в группах верхних и нижних боковых частот нет необходимости в их одновременной передаче. Одна из них перед подачей сигнала в канал связи может быть удалена, чем достигается двукратное сокращение полосы занимаемых сигналом частот. Уравнение сигнала с одной боковой полосой (ОБП) приведено ниже:

$$u(t) = U_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^N M_n \cos((\omega_0 + \Omega_n)t + \varphi_0 + \Phi_n) \quad (3)$$

Внешняя форма ОБП – сигнала сходна с обычным АМ – сигналом, но ее огибающая имеет меньшую амплитуду по сравнению с АМ. Для демодуляции ОБП – сигнала может использоваться как двухполупериодное, так и синхронное детектирование, со всеми особенностями, присущими этим методам. Результаты демодуляции отличаются от демодуляции АМ – сигналов только меньшей амплитудой выходных сигналов.

Спектр однополосно-модулированного сигнала и структурная схема соответствующего устройства представлены на Рис.3.3.3:

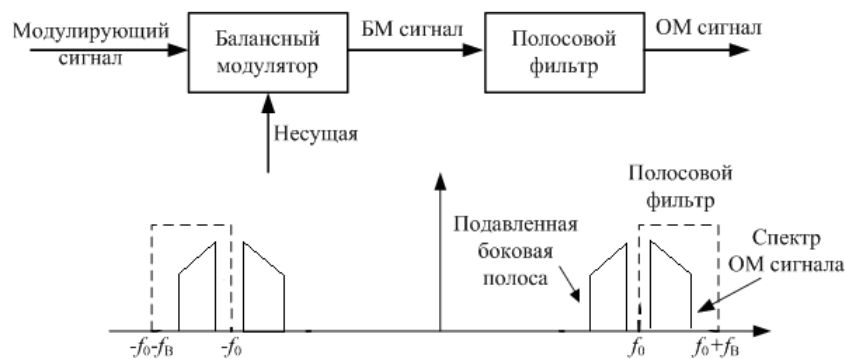


Рис. 3.3.3. Спектр однополосно-модулированного сигнала

### 3.3.4. Демодуляция с помощью синхронного детектирования

При синхронном детектировании модулированный сигнал умножается на опорное колебание с частотой несущего колебания:

$$y(t) = U(t) \cos(\omega_0 t) \cos(\omega_0 t) = \frac{U(t)}{2} (1 + \cos(2\omega_0 t)) \quad (4)$$

Сигнал разделяется на два слагаемых, первое из которых повторяет исходный модулирующий сигнал, а второе повторяет модулированный сигнал на удвоенной несущей частоте  $2\omega_0$ . Форма новой несущей при синхронном детектировании является чистой гармоникой, в отличие от двухполупериодного детектирования, где новая несущая содержит дополнительные гармоники более высоких частот.

Физический амплитудный спектр сигналов после демодуляции подобен спектру двухполупериодного детектирования, но однозначно соотносится со спектром входного модулированного сигнала: амплитуды гармоник модулированного сигнала на частоте  $2\omega_0$  в два раза меньше амплитуд входного сигнала, постоянная составляющая равна амплитуде несущей частоты  $\omega_0$  и не зависит от глубины модуляции, амплитуда информационного демодулированного сигнала в два раза меньше амплитуды исходного модулирующего сигнала.

Особенностью синхронного детектирования является независимость от глубины модуляции, т.е. коэффициент модуляции сигнала может быть больше единицы. При синхронном детектировании требуется точное совпадение фаз и частот опорного колебания демодулятора и несущей гармоники АМ-сигнала.

### 3.3.5. КПД модуляции

КПД амплитудной модуляции зависит от коэффициента модуляции и может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\eta(t) = \frac{U_m^2(t)M^2}{4P_U} = \frac{M^2}{2 + M^2} \quad (5)$$

## 4. Ход работы

Код программы представлен ниже 1:

Листинг 1: Код в МатЛаб

```

1
2 A_M = 1;
3 OMEGA = 10;
4 Ws = 1000;
5 Fs = Ws/(2*pi);
6 T = 1/Fs;
7 t = [0:T:5*2*pi/OMEGA];
8 s_M = A_M*cos(OMEGA*t);
9
10 figure
11 plot(t, s_M);
12 ylim([-2 2]);
13
14 figure
15 specplot(s_M, Fs);
16 xlim([0 20]);
17 ylim([0 5000]);
18
19
20 A0=1;
21 omega0 = 150;
22 phi0 = 0;
23 s_AM = ammod(s_M, OMEGA, omega0, phi0, A0);
24
25 figure
26 hold on
27 plot(t, s_AM);
28 plot(t, A0+s_M, '--', 'Color', 'red');
29 hold off
30
31 figure
32 specplot(s_AM, Fs);
33
34
35
36 y = s_AM .* cos(omega0*t);
37 [b, a] = butter(5, 2*OMEGA/pi/Fs);
38 z = filtfilt(b, a, y);
39 figure

```

```

40 plot(t, s_AM, '—', t, z);
41
42 figure
43 specplot(z, Fs);
44
45
46
47 x = [0.1:0.2:10];
48 Am = x;
49 M = Am./A0;
50 kpd = M.^2./(M.^2.+2);
51 figure
52 plot(x, kpd, '—', 'Color', 'red');
53
54
55
56 Fc = omega0/(2*pi);
57 s_AM_SC = ammod(s_M, Fc, Fs);
58
59 figure
60 plot(t, s_AM_SC);
61 xlim([0 0.1]);
62
63
64
65 s_AM_SSB = ssbmod(s_M, Fc, Fs);
66 figure
67 plot(t, s_AM_SSB);
68
69 figure
70 subplot(2, 1, 1);
71 specplot(s_AM_SC, Fs)
72 subplot(2, 1, 2);
73 specplot(s_AM_SSB, Fs)

```

В коде применены функции `ammod` и `ssbmod`.

## 4.1. Генерация однотонового сигнала

Для начала получим обычный гармонический сигнал. Сгенерированный сигнал представлен на рисунке 4.1.1:

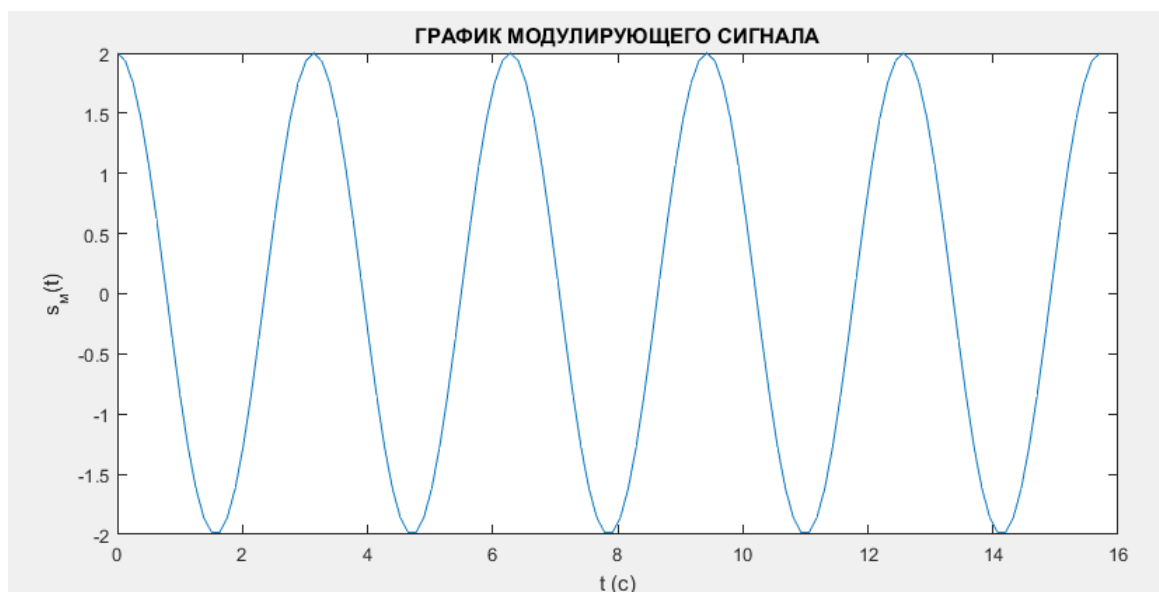


Рис. 4.1.1. Гармонический сигнал  $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

Для однотонового сигнала спектр выглядит следующим образом:

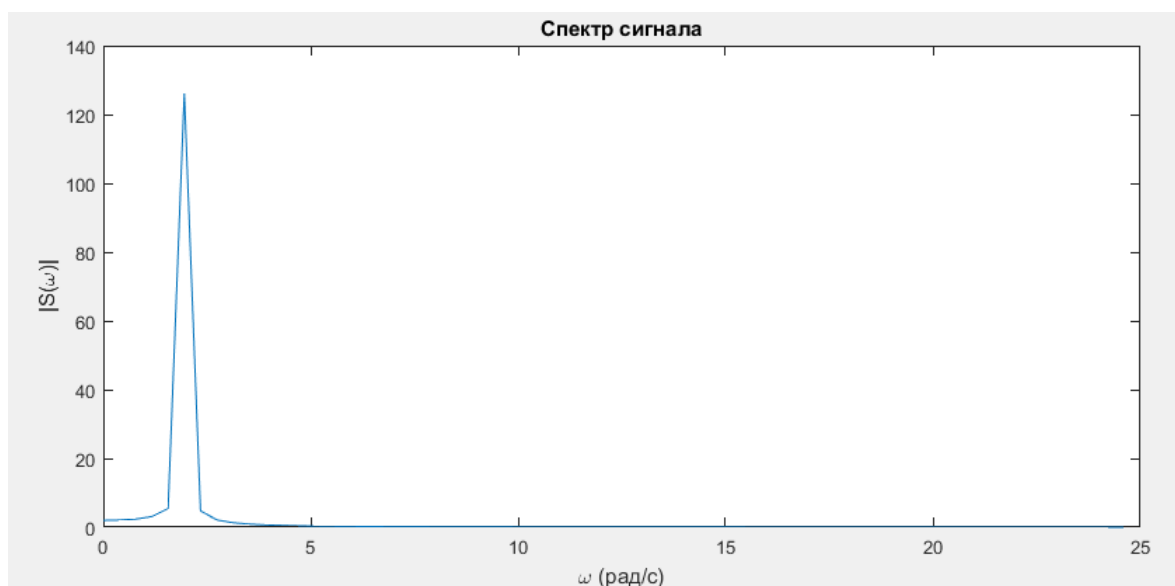


Рис. 4.1.2. Спектр гармонического сигнала  $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

## 4.2. Амплитудная модуляция

Сгенерированный однотоновый сигнал подвергли амплитудной модуляции (при соотношении амплитуд инф./несущ. = 0.5). Сигнал после модуляции и его спектр представлены на рисунках 4.2.1 и 4.2.2:



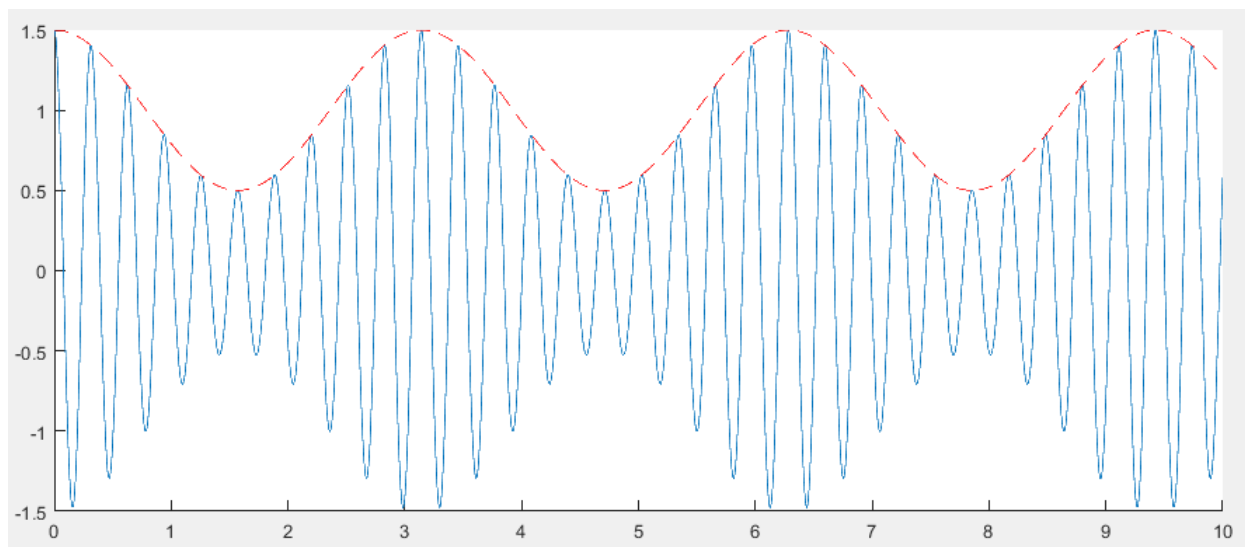


Рис. 4.2.1. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 0.5$ )

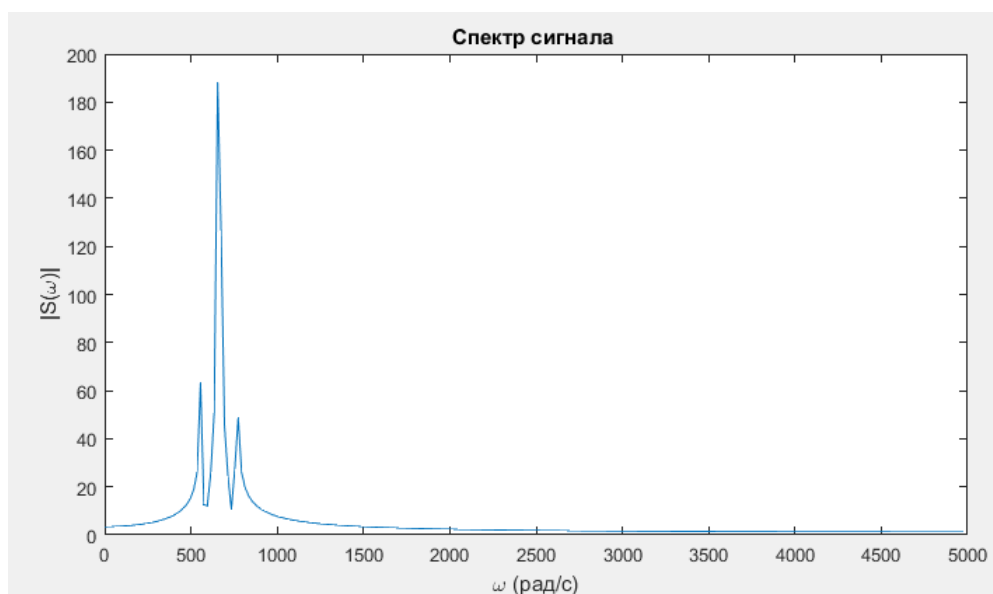


Рис. 4.2.2. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 0.5$ )

Спектр содержит гармонику информационного сигнала и две гармоники несущего сигнала по бокам.

Теперь будем изменять амплитуду модулирующего (информационного) сигнала для наблюдения изменения сигнала с модуляцией (его коэффициента модуляции  $M$ ).

Пусть  $M = 0.2$ .

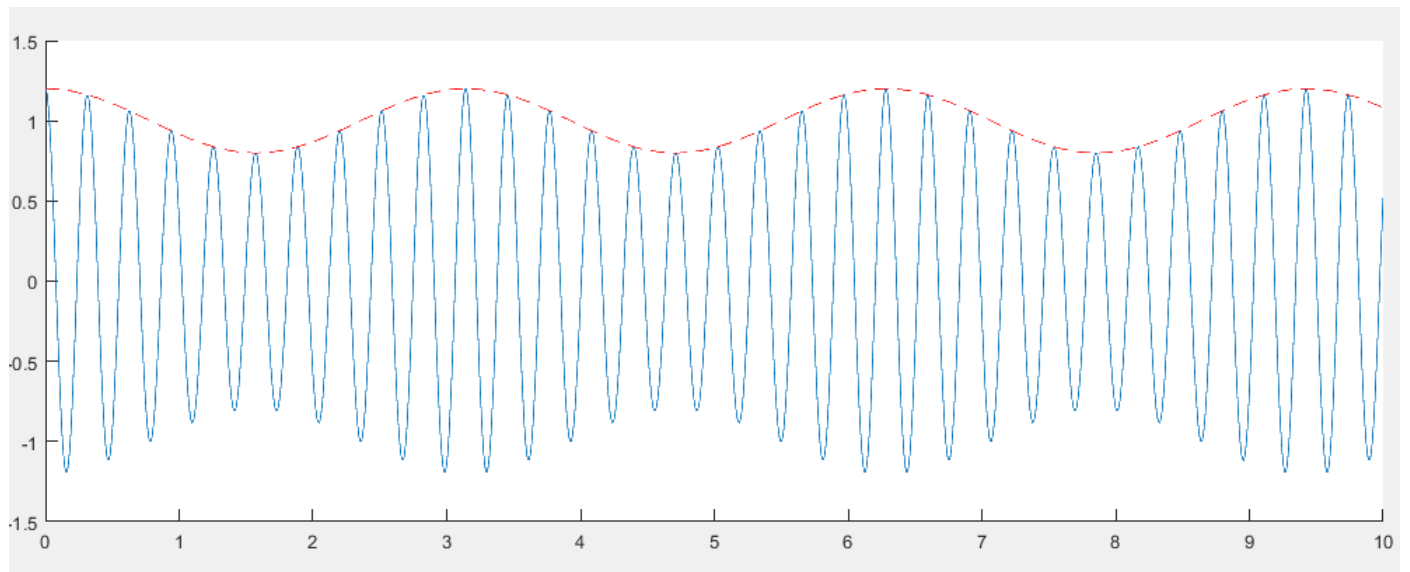


Рис. 4.2.3. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 0.2$ )

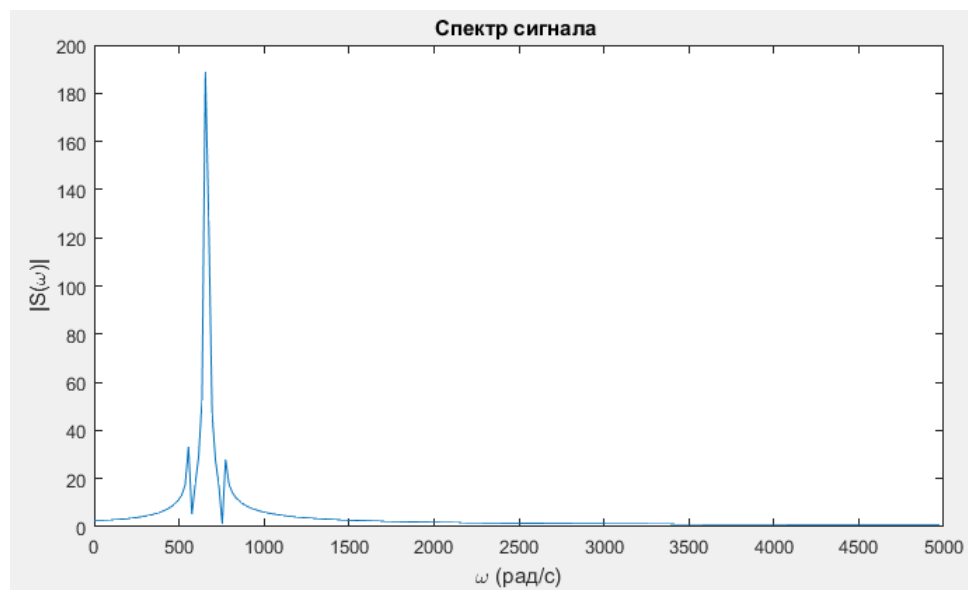


Рис. 4.2.4. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 0.2$ )

Пусть  $M = 1$ .

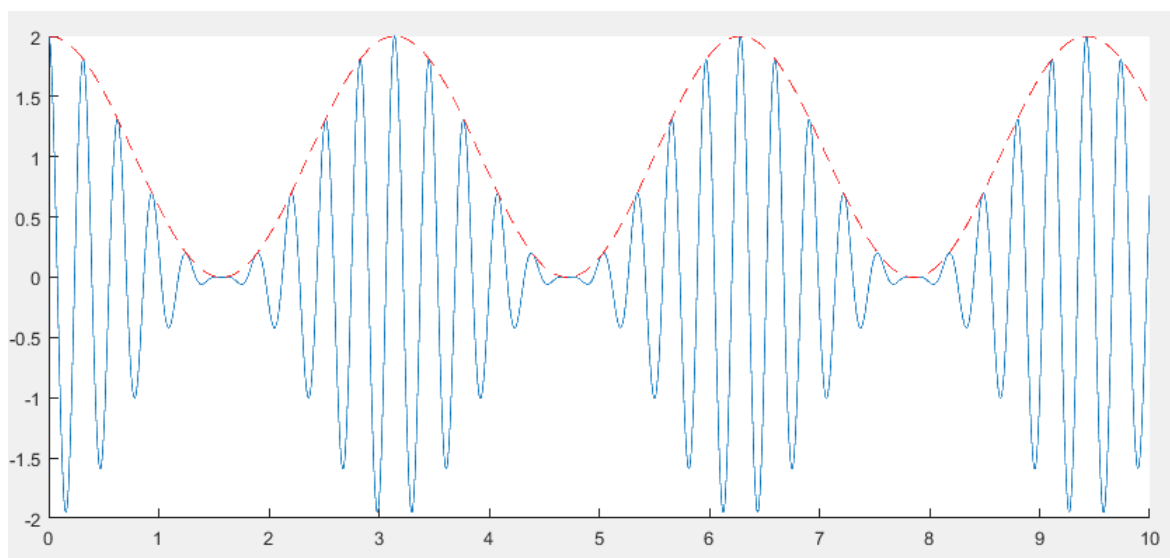


Рис. 4.2.5. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 1$ )

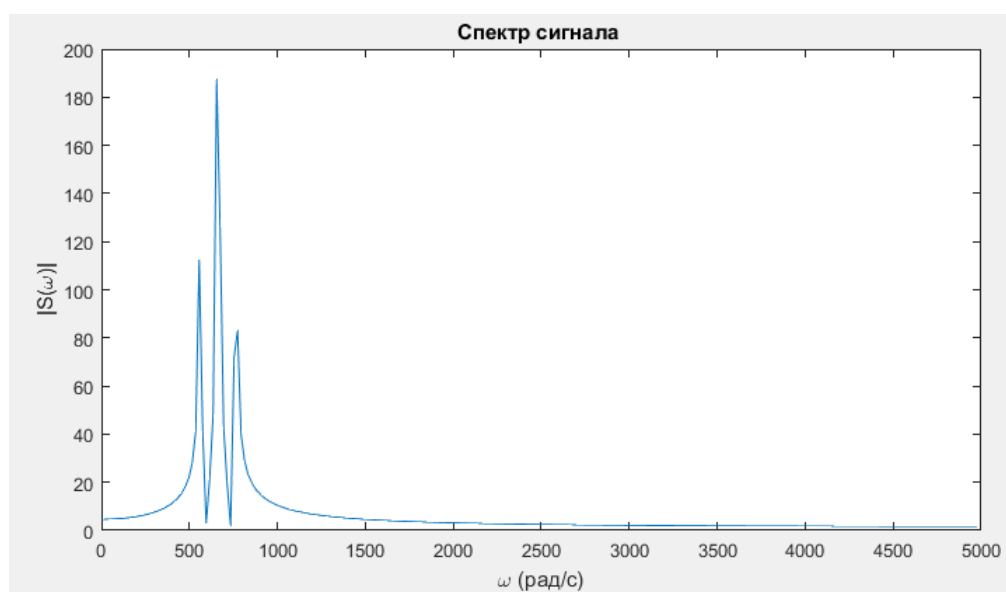


Рис. 4.2.6. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 1$ )

Пусть  $M = 2$ .

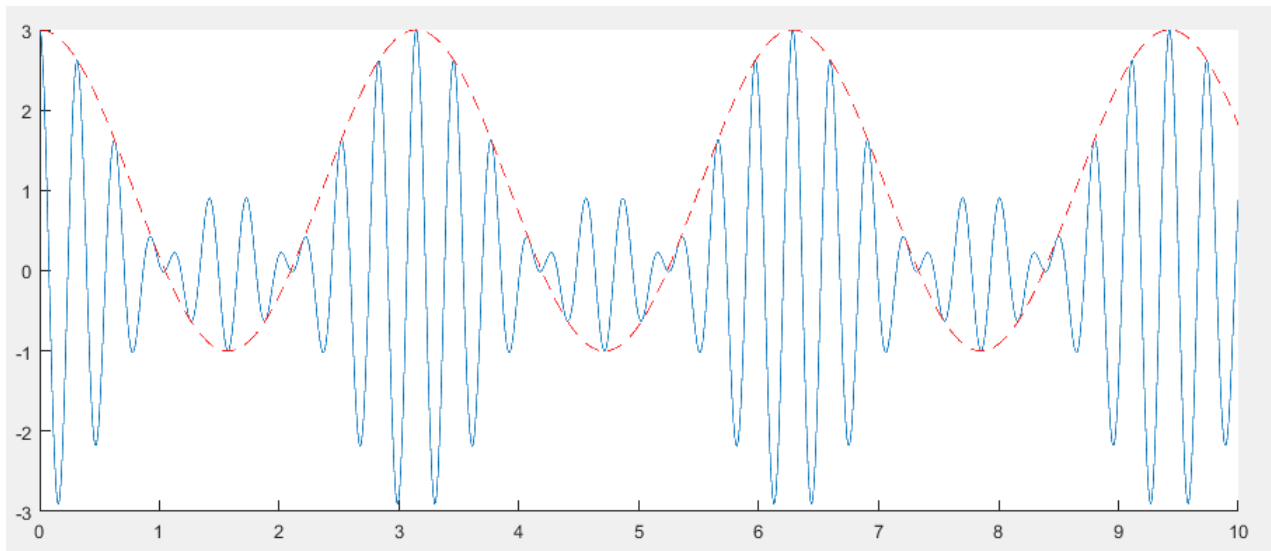


Рис. 4.2.7. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 2$ )

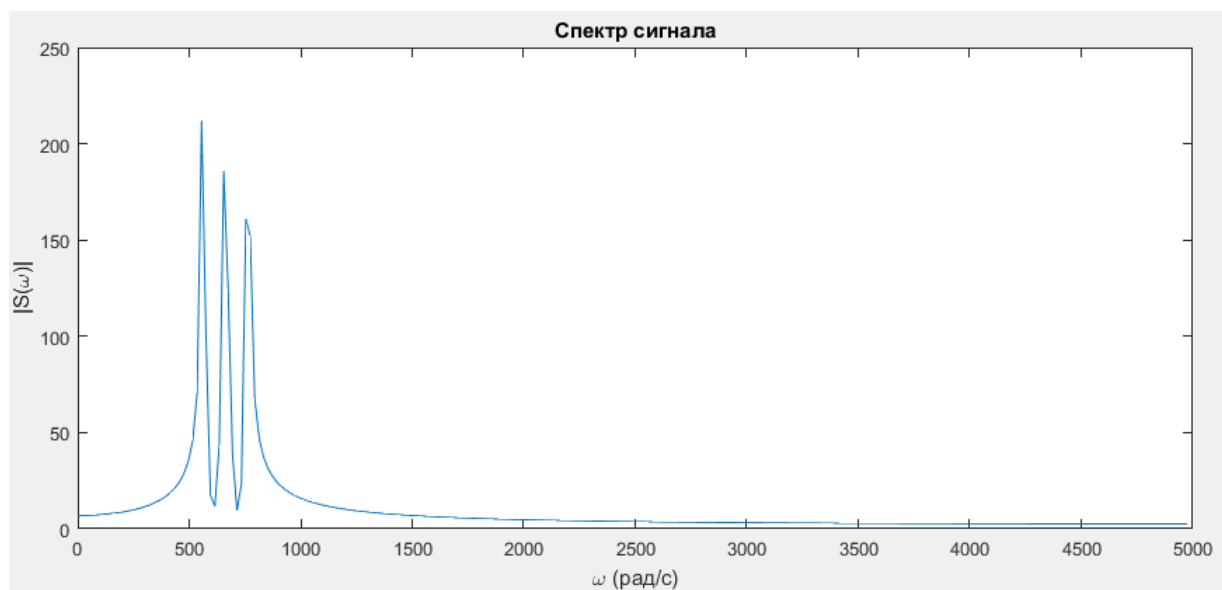


Рис. 4.2.8. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 2$ )

При  $M > 1$  имеем случай перемодуляции, при  $M = 1$  - случай глубокой модуляции, а при  $M < 1$  - обычный случай модуляции без совмещений полупериодов гармонического сигнала огибающей.

### 4.3. Амплитудная модуляция с подавлением несущей

Подавление несущей осуществляется узкополосной фильтрацией сигнала на частоте информационного. Сигнал с АМ-ПН представлен на рисунке 4.3.1:

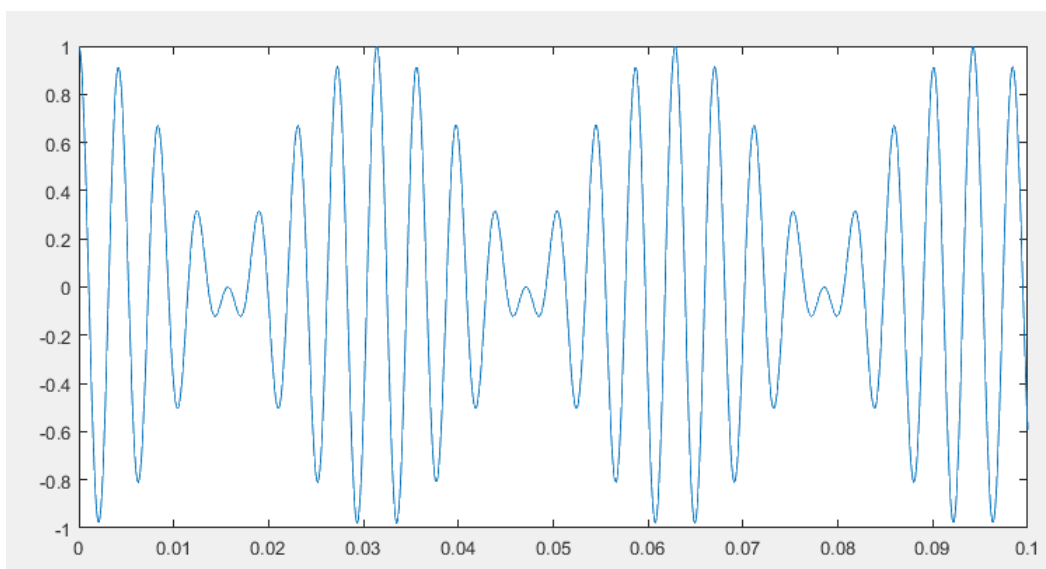


Рис. 4.3.1. Сигнал с АМ-ПН

Подавление несущей приводит к тому, что основная мощность сигнала (приходящаяся на несущую гармонику) фильтруется, но такой сигнал не демодулируется. Решить такую проблему можно частичной фильтрацией несущей, то есть сохранение амплитуды этой гармоники ненулевой, но более низкой, чем у информационной составляющей.

#### 4.4. Однополосная амплитудная модуляция

Помимо подавления несущей, можно избавиться от лишней (дублирующей) боковой полосы спектра с помощью ФНЧ. Сигнал представлен на рисунке 4.4.1:

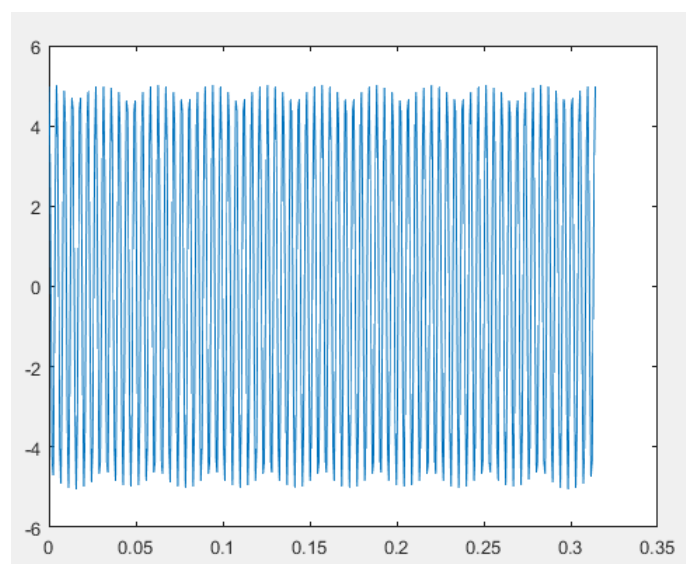


Рис. 4.4.1. Сигнал с АМ-ОП

## 4.5. Спектры АМ-ПН и АМ-ОП

Ниже, на рисунке 4.5.1, приведены спектры сигналов после АМ-ПН и АМ-ОП.

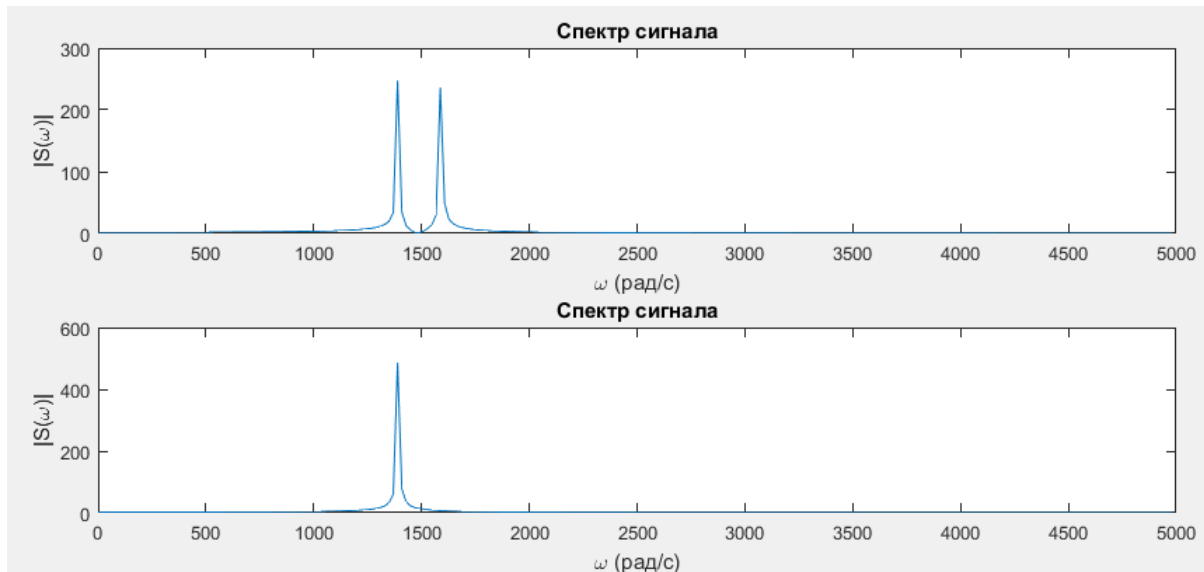


Рис. 4.5.1. Спектры сигнала с АМ-ПН и АМ-ОП

На первом рисунке видны две полосы (без несущей), что соответствует АМ-ПН. Ниже приведён спектр, содержащий одну полосу, что соответствует АМ-ОП.

## 4.6. Демодуляция с помощью синхронного детектирования

Произведем демодуляцию модулированных сигналов с разными коэффициентами модуляции.

Пусть  $M = 0.2$ .

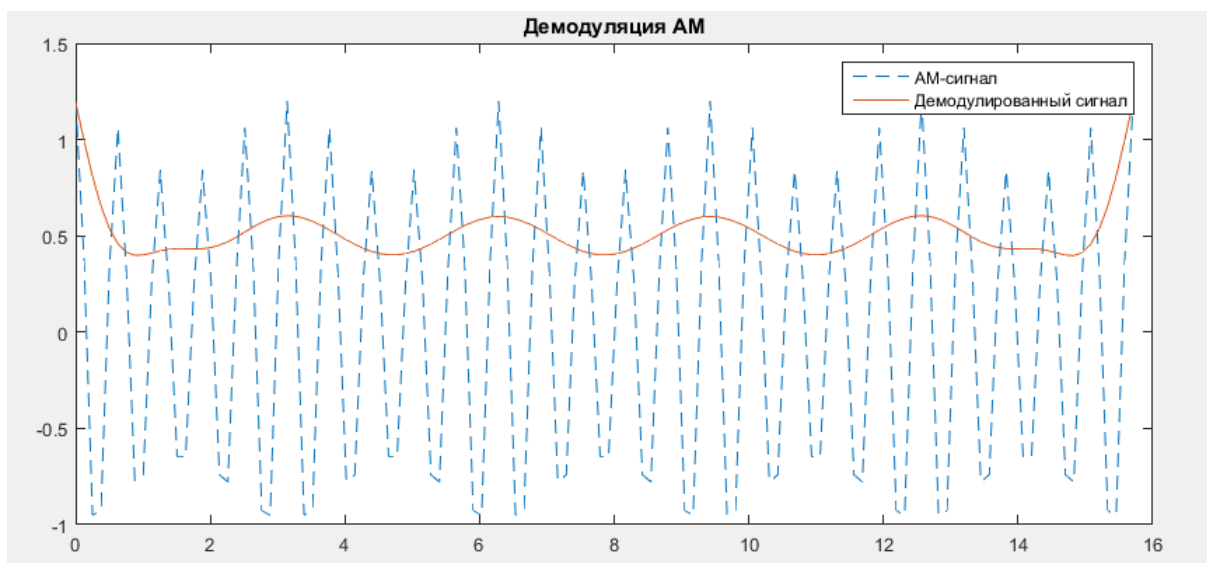


Рис. 4.6.1. Демодулированный сигнал ( $M = 0.2$ )

Пусть  $M = 1$ .

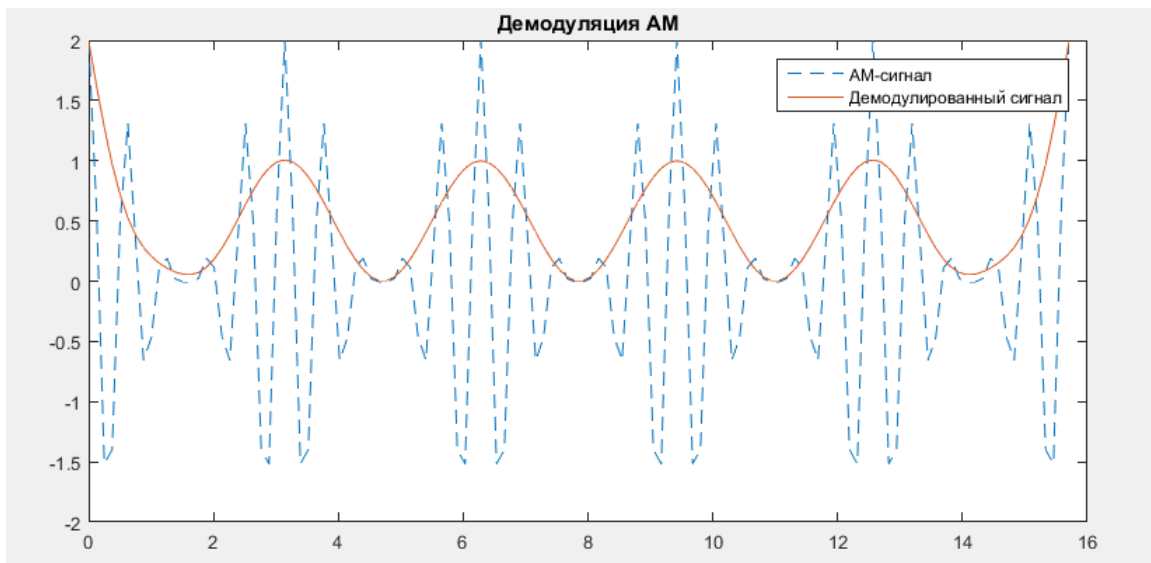


Рис. 4.6.2. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 1$ )

Пусть  $M = 2$ .

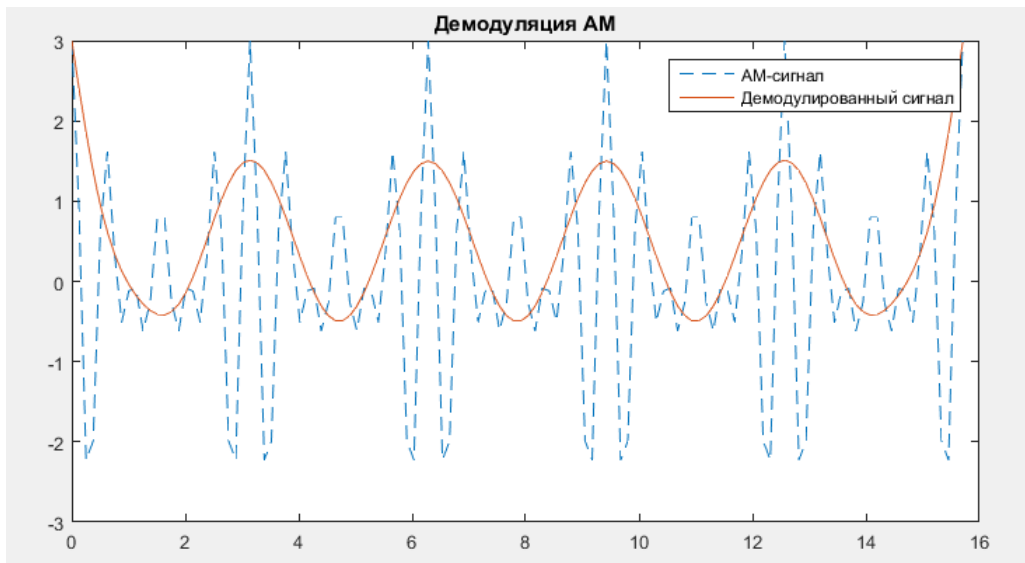


Рис. 4.6.3. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 2$ )

Как можно видеть, нелинейные искажения сигнала при демодуляции тем незначительнее, чем больше коэффициент модуляции. Ниже приведен спектр демодулированного сигнала при  $M = 2$ .

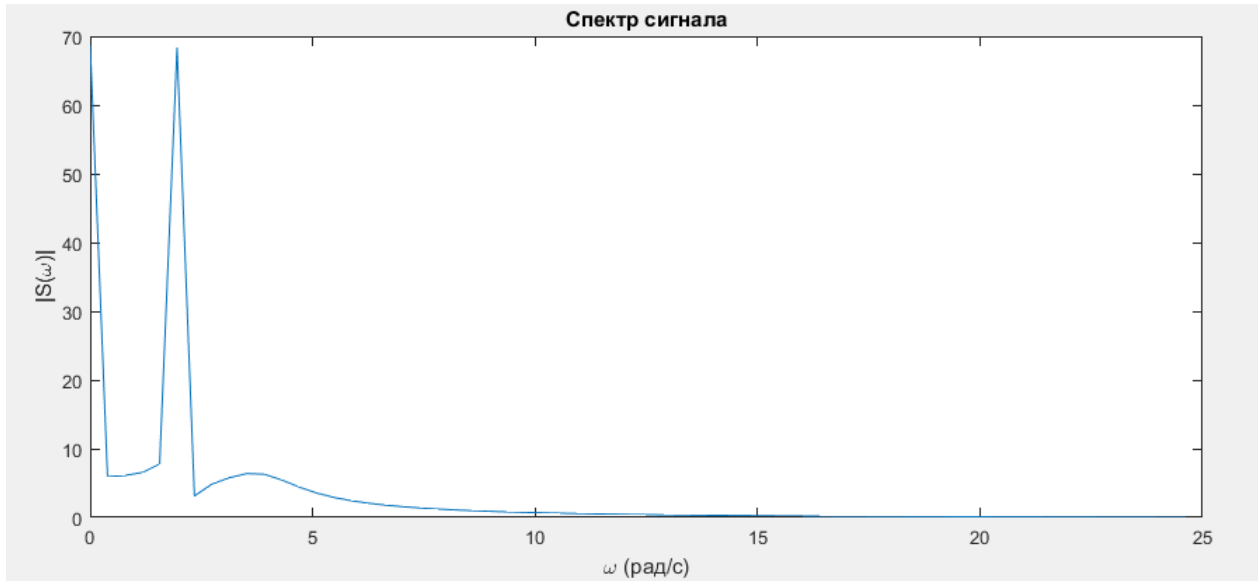


Рис. 4.6.4. Спектр демодулированного сигнала ( $M = 2$ )

В сигнале появились низкочастотная составляющая и высокочастотные искажения, однако при применении полосового фильтра можно выделить искомый сигнал с достаточной точностью совпадающий с исходным.

При  $M = 5$  имеем:

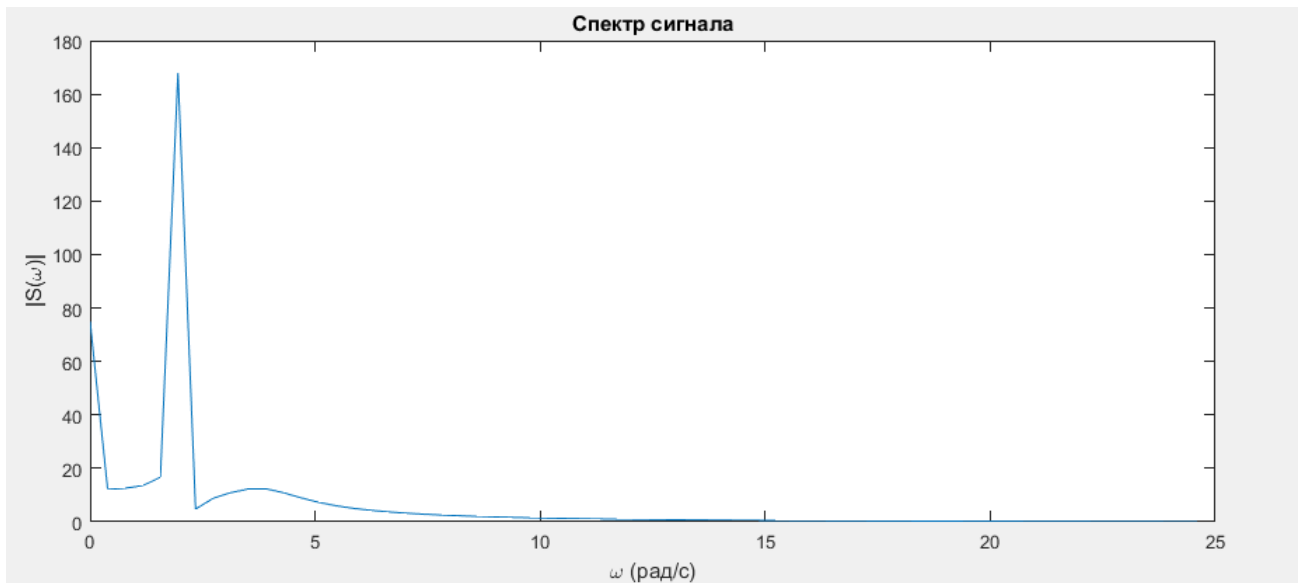


Рис. 4.6.5. Спектр демодулированного сигнала ( $M = 5$ )

Низкочастотная составляющая значительно меньше по амплитуде, чем информационная, высокочастотные искажения так же стали более незначительны, чем при  $M = 2$ .

## 4.7. КПД модуляции

Ниже, на рисунке 4.7.1, приведена зависимость КПД модуляции от амплитуды модулирующего сигнала (т.е. от коэффициента модуляции).



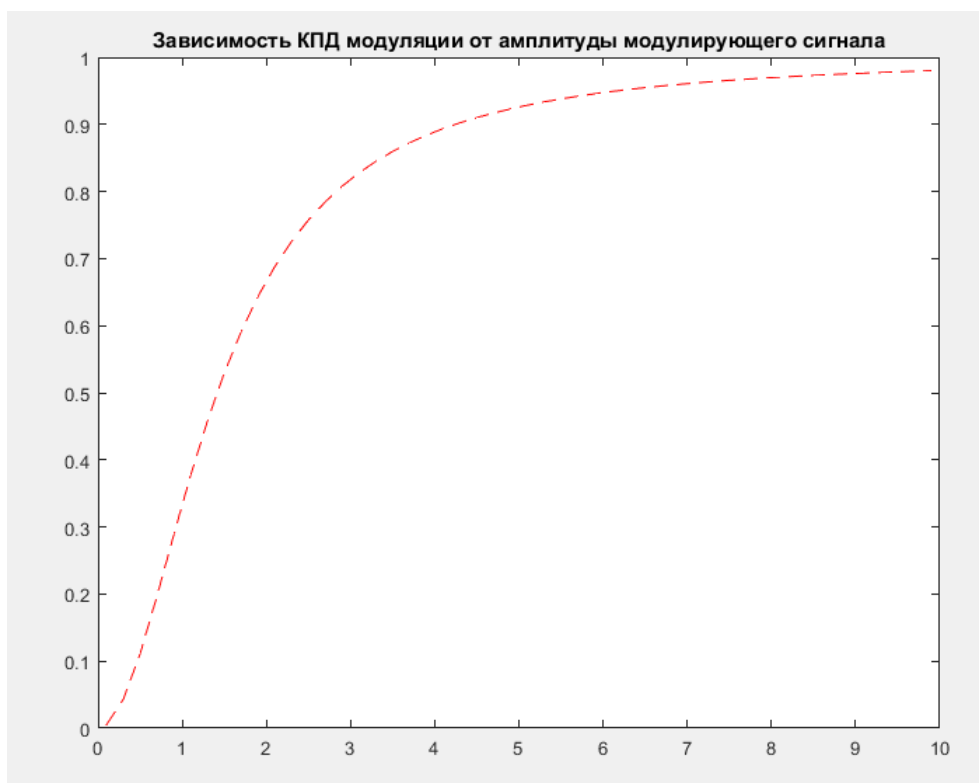


Рис. 4.7.1. Зависимость КПД модуляции от амплитуды модулирующего сигнала

## 5. Выводы

В ходе этой работы нами были исследованы типы аналоговой модуляции - амплитудная, с подавлением несущей и однополосная, также исследован способ демодуляции с помощью синхронного детектирования и определена зависимость КПД модуляции от коэффициента модуляции. Также были построены спектры модулированных сигналов, их вид совпал с ожидаемым результатом для каждого типа модуляции.

Основной результат, полученный в ходе работы - нами были получены представления о принципах аналоговой амплитудной модуляции. Она находит широкое применение: в системах телевизионного вещания, в системах звукового радиовещания и радиосвязи на длинных и средних волнах, в системе трехпрограммного проводного вещания.