

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:

Городничева Л.В.

Группа: 33501/3

Преподаватель:

Богач Н.В.

Санкт-Петербург
2017

Содержание

1. Цель работы	2
2. Постановка задачи	2
3. Теоретическая информация	2
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	4
4. Ход работы	5
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	12
4.6. Демодуляция с помощью синхронного детектирования	13
4.7. КПД модуляции	16
5. Выводы	17

1. Цель работы

Изучение амплитудной модуляции/демодуляции сигнала.

2. Постановка задачи

Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты, выполнить амплитудную модуляцию сигнала по определенному закону для различных значений глубины модуляции M , модуляцию с подавлением несущей, однополосную модуляцию, осуществить синхронное детектирование. Посмотреть, как модуляция влияет на спектр сигнала. 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 *модуляции*. Обозначим низкочастотный сигнал, подлежащий передаче по какому-либо каналу связи, $s(t)$.

В канале связи для передачи данного сигнала выделяется определенный диапазон высоких частот и формируется вспомогательный периодический высокочастотный сигнал $u(t) = f(t; a_1, a_2, \dots, a_m)$. Совокупность параметров a_i определяет форму вспомогательного сигнала. Значения параметров a_i 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 (или по любой другой независимой переменной), то форма сигнала $u(t)$ приобретает новое свойство. Она служит для переноса информации, содержащейся в сигнале $s(t)$. Сигнал $u(t)$ называется *несущим сигналом*, *несущим колебанием* или просто *несущей* (*carrier*), а физический процесс переноса информации на параметры несущего сигнала – его *модуляцией*.

Исходный информационный сигнал $s(t)$ называют *модулирующим*, результат модуляции – *модулированным сигналом*. 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, φ – 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:

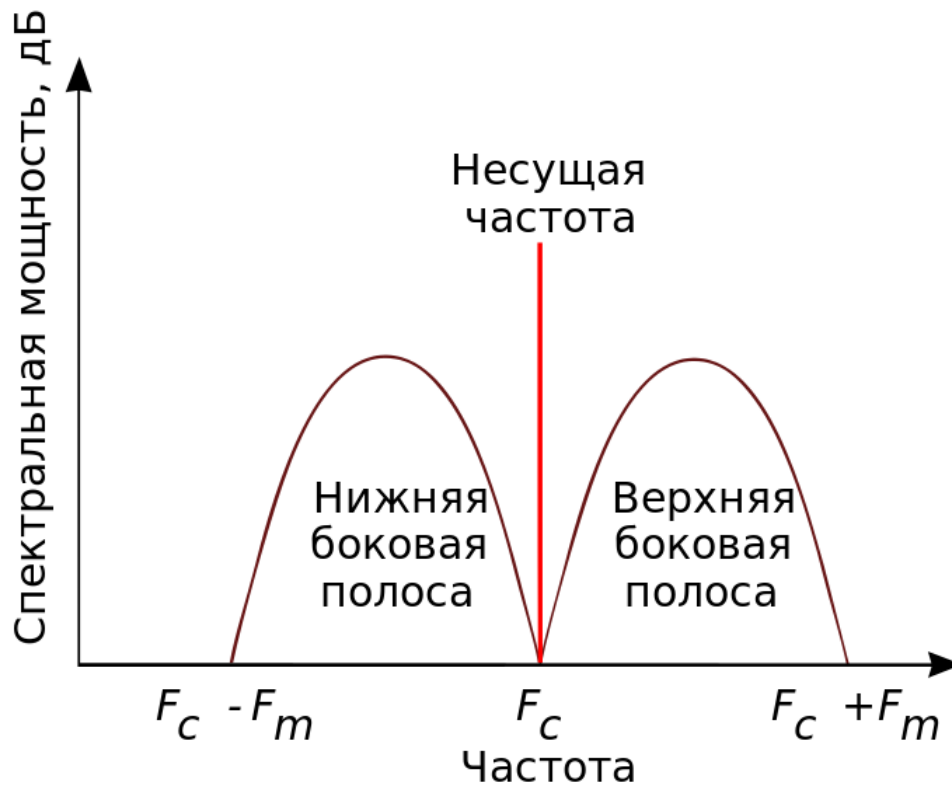


Рис. 3.3.1. Спектр амплитудно-модулированного сигнала

3.3.2. Амплитудная модуляция с подавлением несущей

Основная доля мощности АМ – сигнала приходится на несущую частоту. При *балансной модуляции* (или АМ с подавлением несущей частоты (АМ-ПН) производится перемножение двух сигналов – модулирующего и несущего, при котором происходит подавление несущего колебания, соответственно, КПД модуляции становится равным 100%. Формула для балансной 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:

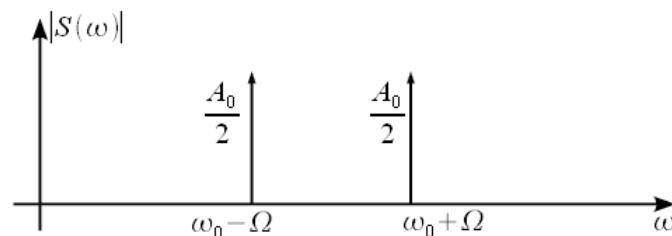


Рис. 3.3.2. Спектр балансно-модулированного сигнала

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 приведено ниже:

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

Для демодуляции ОБП – сигнала может использоваться как двухполупериодное, так и синхронное детектирование. Результаты демодуляции отличаются от демодуляции АМ – сигналов только в два раза меньшей амплитудой выходных сигналов.

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

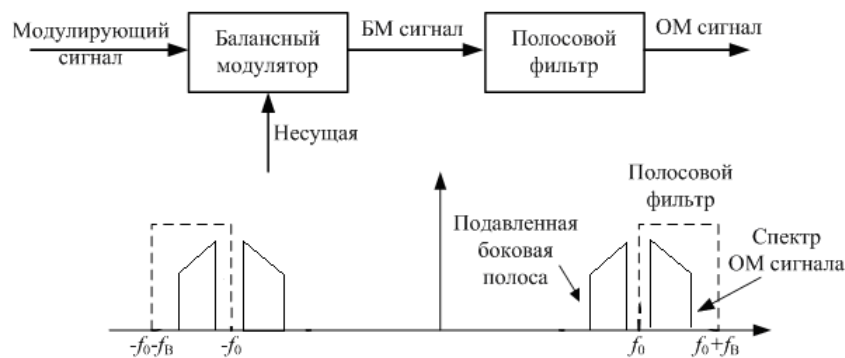


Рис. 3.3.3. Спектр однополосно-модулированного сигнала

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.

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
15 figure
16 specplot(s_M, Fs);
17 xlim([0 20]);
18 ylim([0 5000]);
19
20
21 A0=1;
22 omega0 = 150;
23 phi0 = 0;
24 s_AM = ammod(s_M, OMEGA, omega0, phi0, A0);
25
26 figure
27 hold on
28 plot(t, s_AM);
29 plot(t, A0+s_M, '—', 'Color', 'red');
30 hold off
31
32 figure
33 specplot(s_AM, Fs);
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 x = [0.1:0.2:10];
46 Am = x;
47 M = Am./A0;
48 kpd = M.^2./(M.^2.+2);
49 figure
50 plot(x, kpd, '—', 'Color', 'red');
51
52 Fc = omega0/(2*pi);
53 s_AM_SC = ammod(s_M, Fc, Fs);
54
55 figure
```

```

56 plot(t, s_AM_SC);
57 xlim([0 0.1]);
58
59 s_AM_SSB = ssbmod(s_M, Fc, Fs);
60 figure
61 plot(t, s_AM_SSB);
62
63 figure
64 subplot(2, 1, 1);
65 specplot(s_AM_SC, Fs)
66 subplot(2, 1, 2);
67 specplot(s_AM_SSB, Fs)

```

4.1. Генерация однотонового сигнала

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

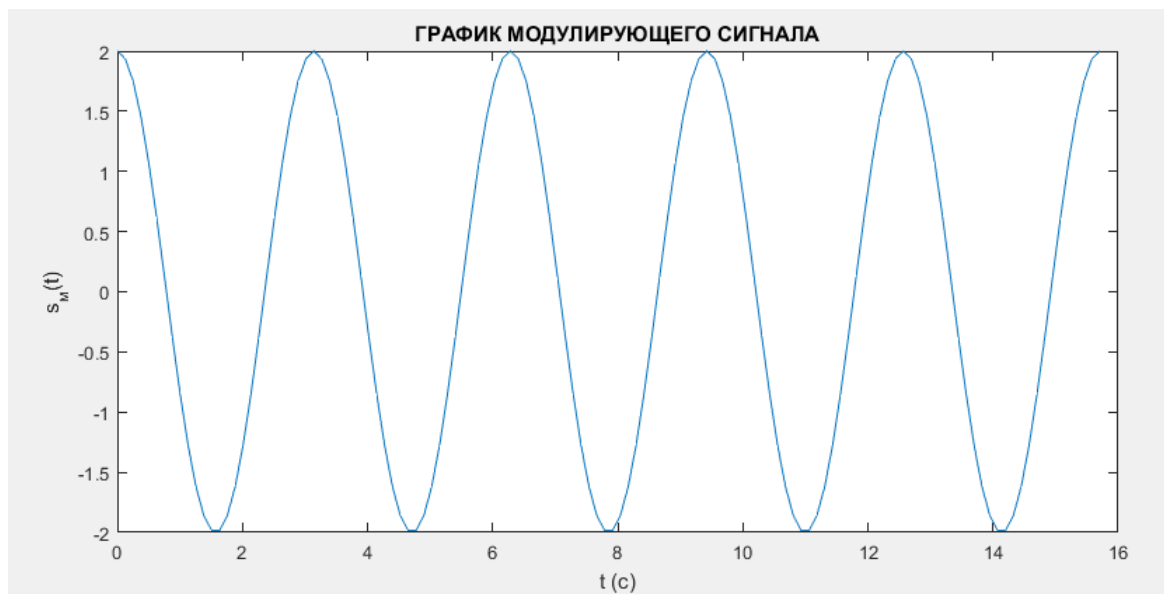


Рис. 4.1.1. Гармонический сигнал $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

Для однотонового сигнала спектр выглядит следующим образом:

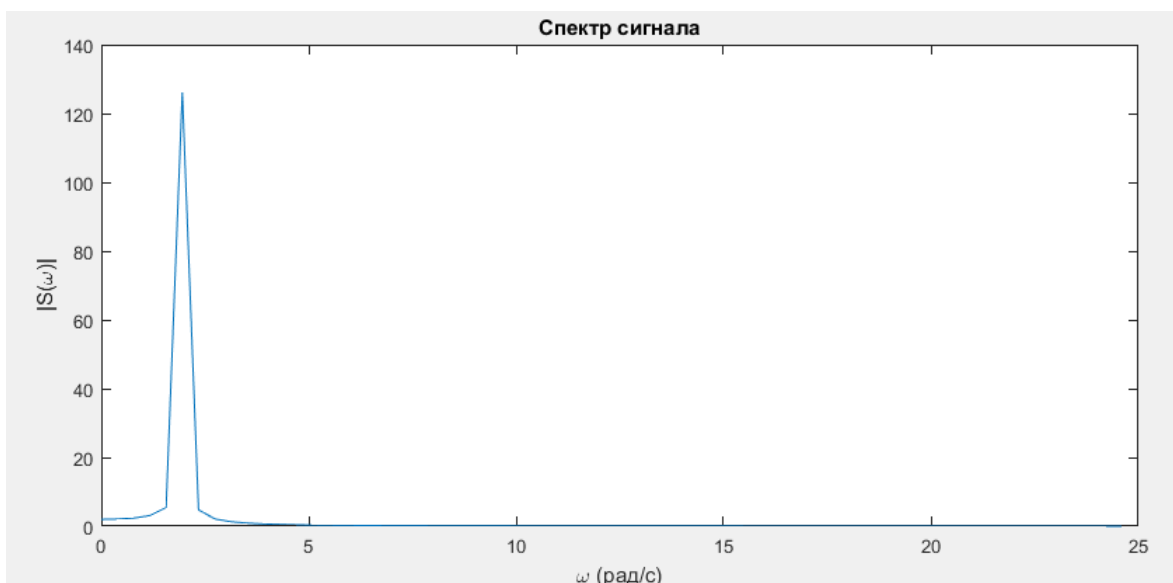


Рис. 4.1.2. Спектр гармонического сигнала $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

4.2. Амплитудная модуляция

Сгенерированный однотональный 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:

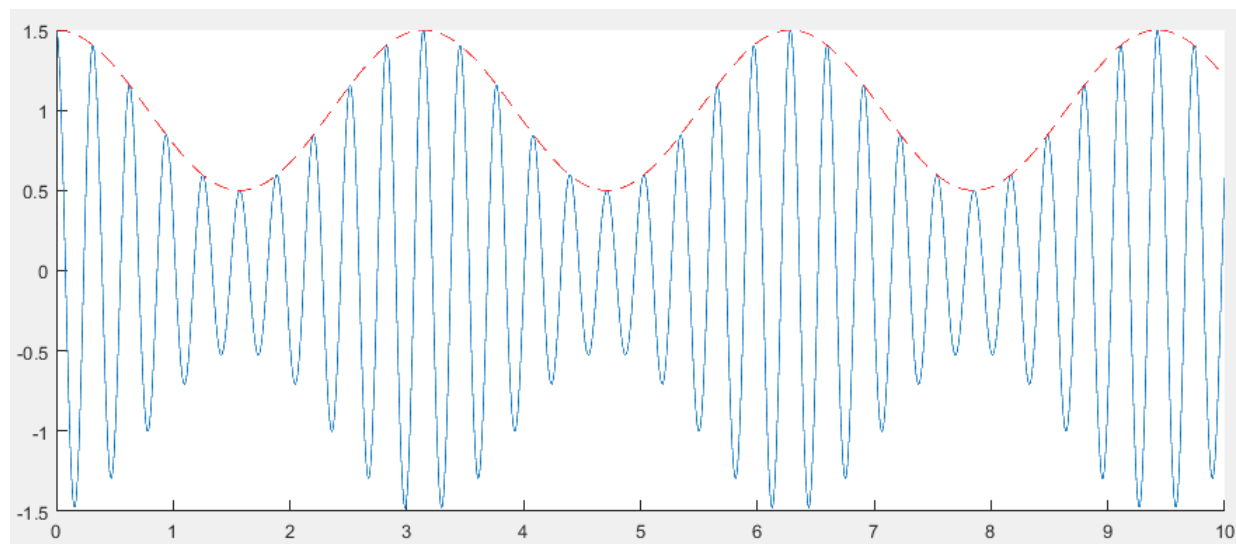


Рис. 4.2.1. Амплитудно-модулированный сигнал ($M = 0.5$)

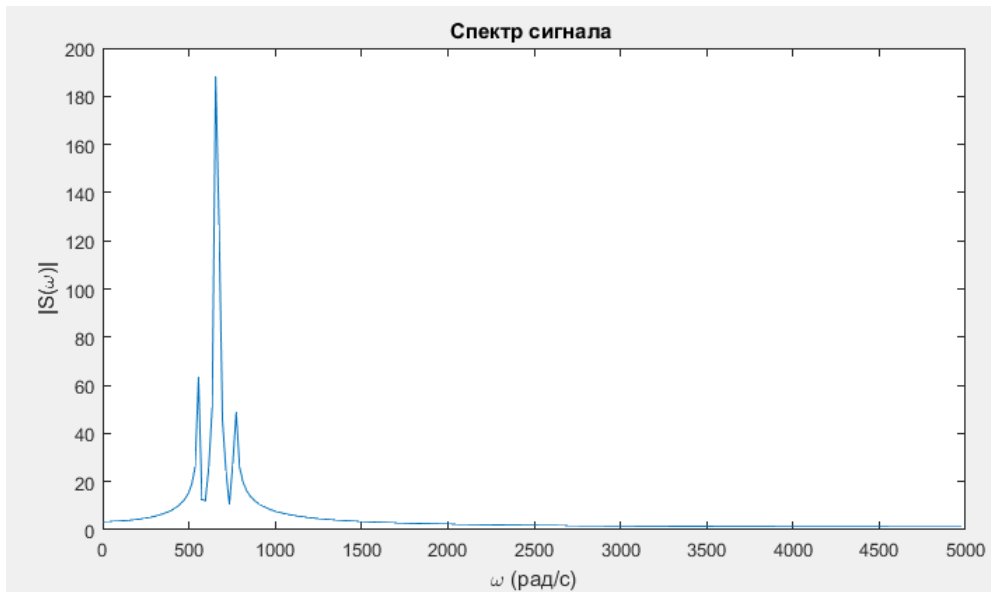


Рис. 4.2.2. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ($M = 0.5$)

Спектр содержит гармонику модулирующего (информационного) сигнала и две гармоники по бокам - модулируемого (несущего).

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

Поставим $M = 0.2$.

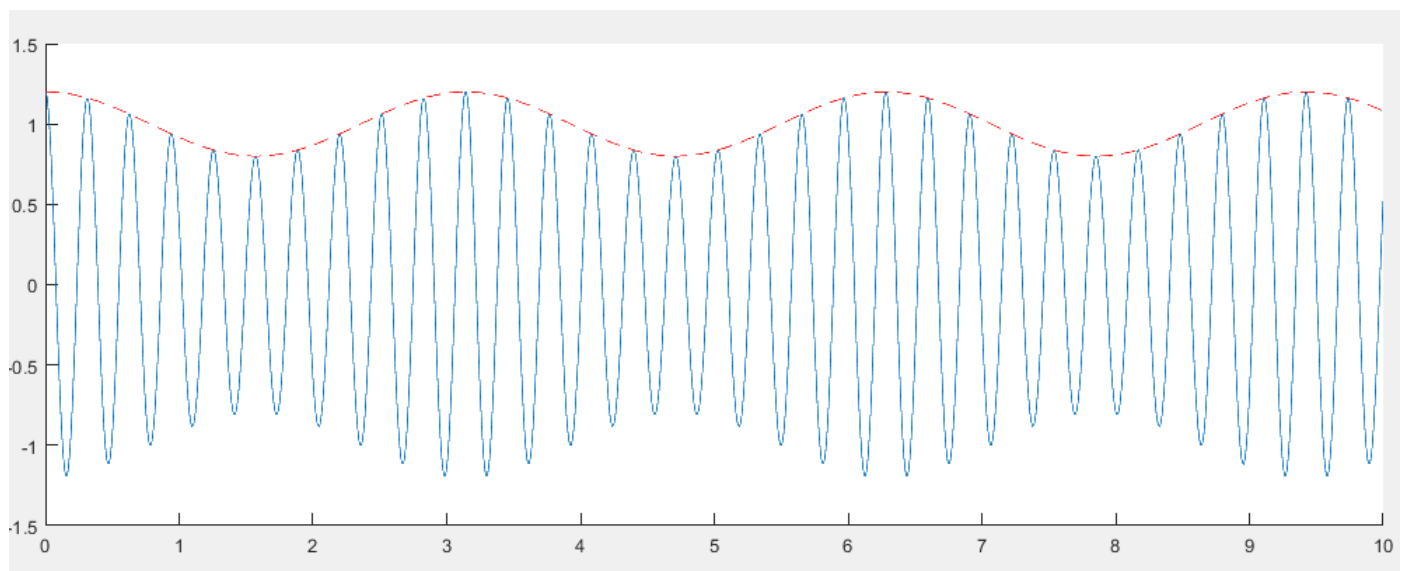


Рис. 4.2.3. Амплитудно-модулированный сигнал ($M = 0.2$)

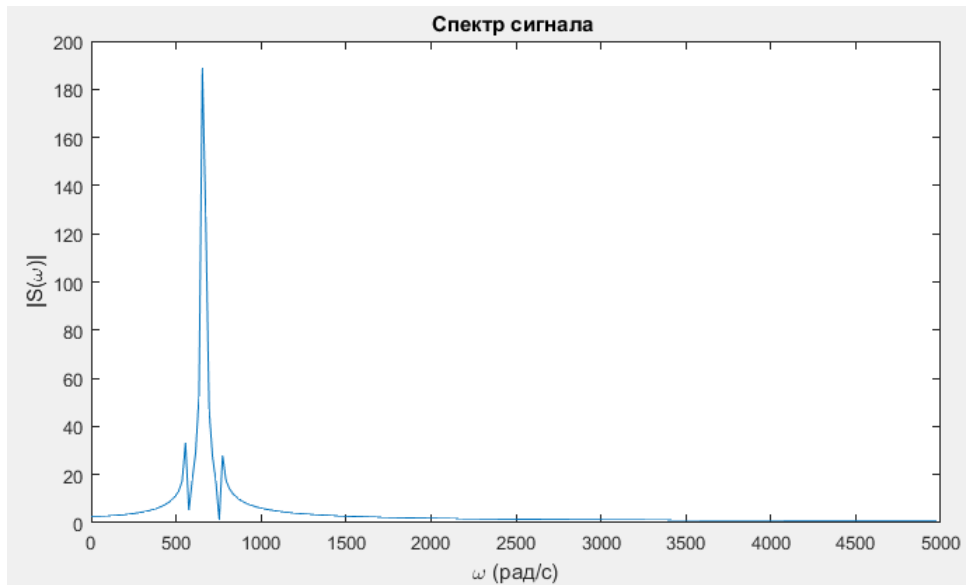


Рис. 4.2.4. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ($M = 0.2$)

Поставим $M = 2$.

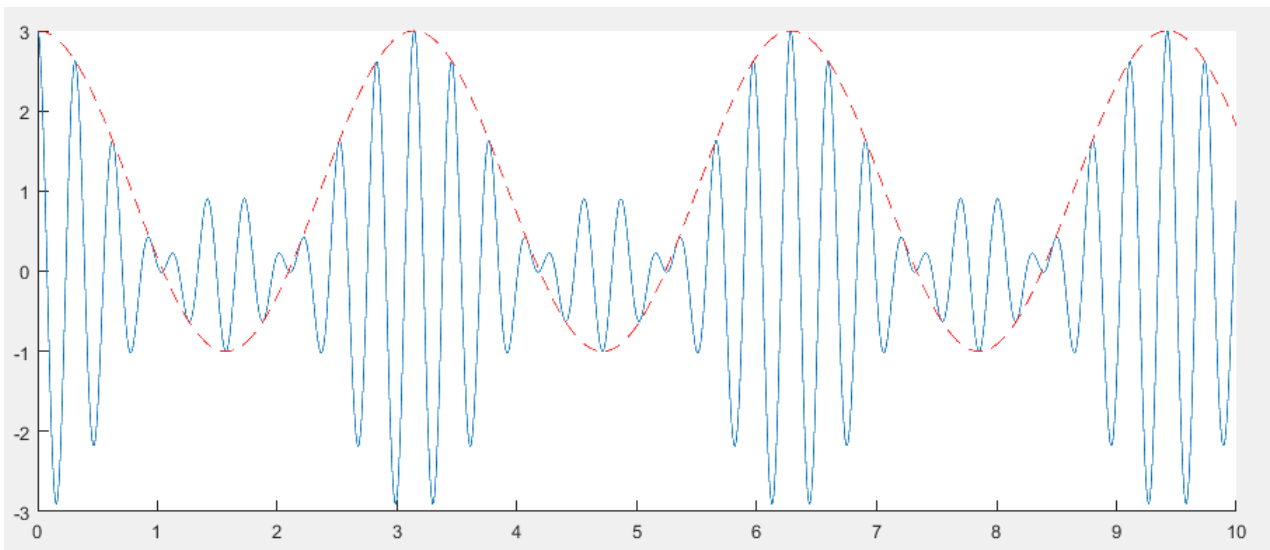


Рис. 4.2.5. Амплитудно-модулированный сигнал ($M = 2$)

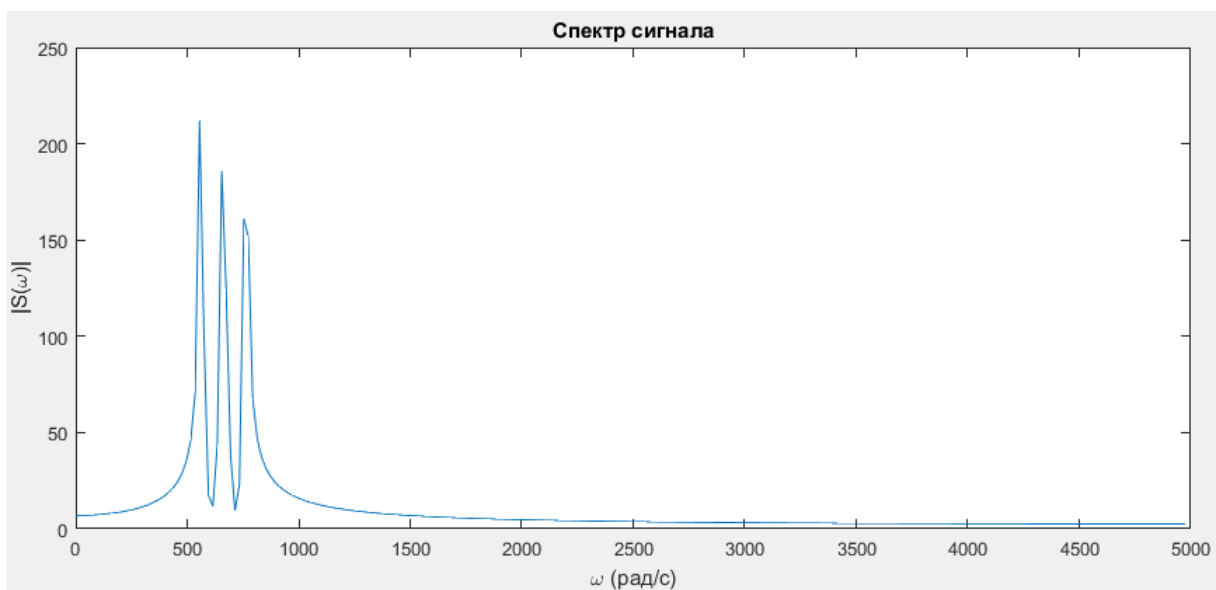


Рис. 4.2.6. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ($M = 2$)

Поставим $M = 5$.

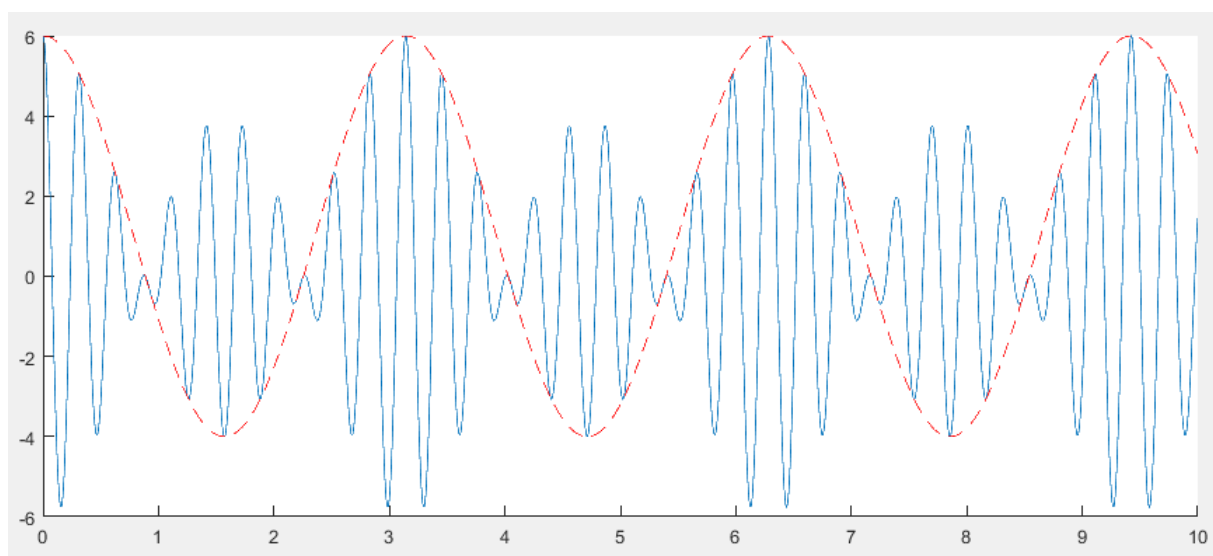


Рис. 4.2.7. Амплитудно-модулированный сигнал ($M = 5$)

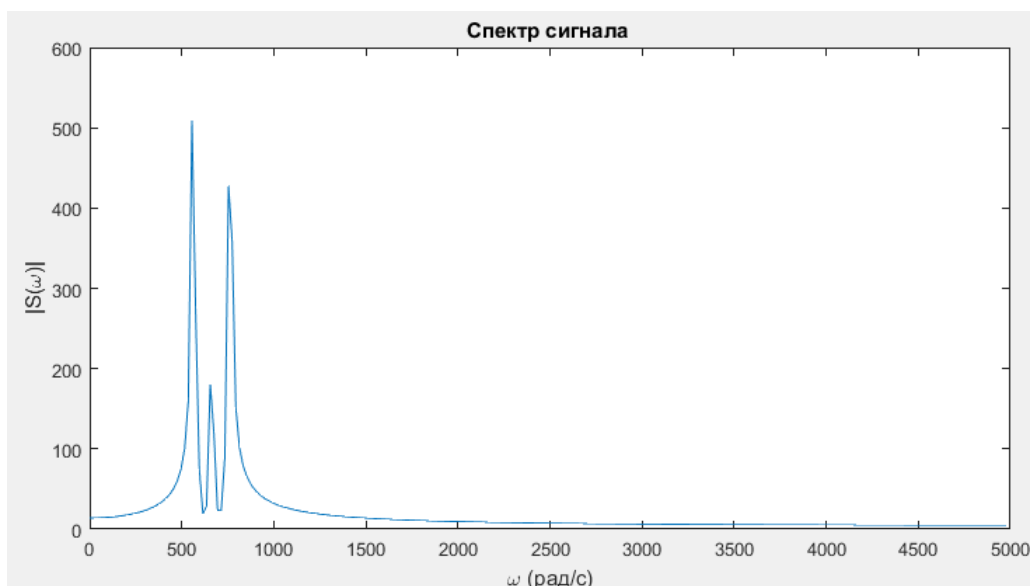


Рис. 4.2.8. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ($M = 5$)

При $M > 1$ имеем случай перемодуляции, 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:

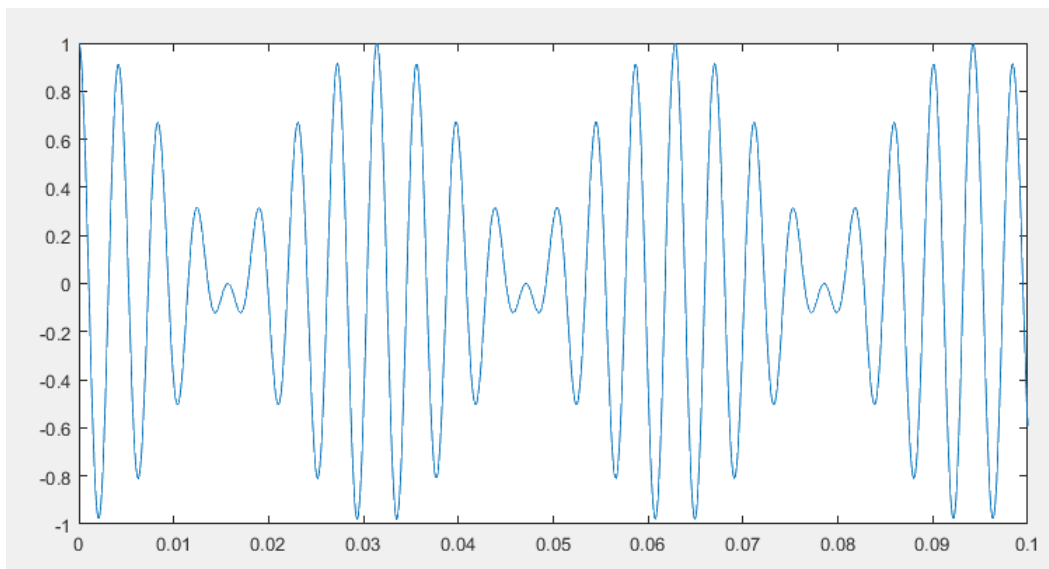


Рис. 4.3.1. Сигнал с АМ-ПН

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:

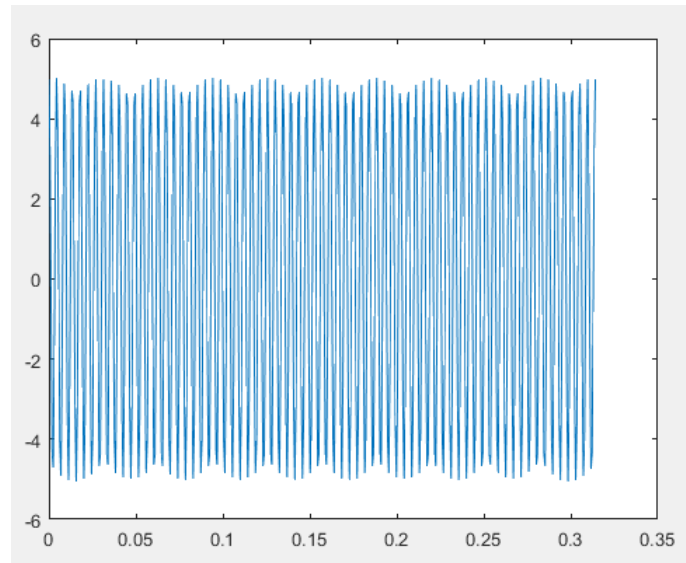


Рис. 4.4.1. Сигнал с АМ-ОП

4.5. Спектры АМ-ПН и АМ-ОП

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

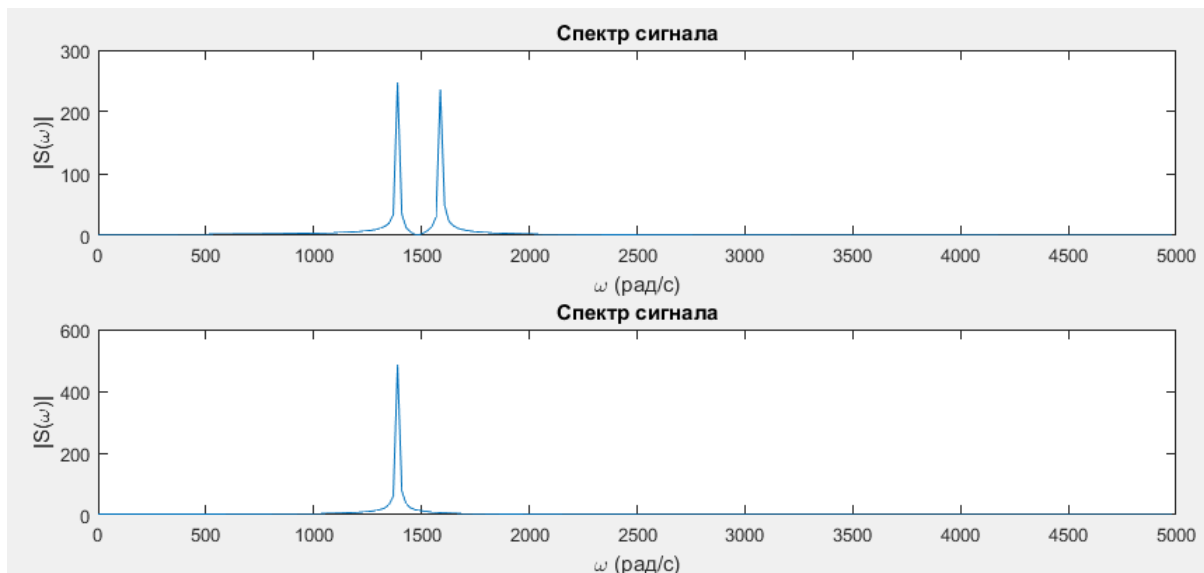


Рис. 4.5.1. Спектры сигнала с АМ-ПН и АМ-ОП

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 $M = 0.2$.

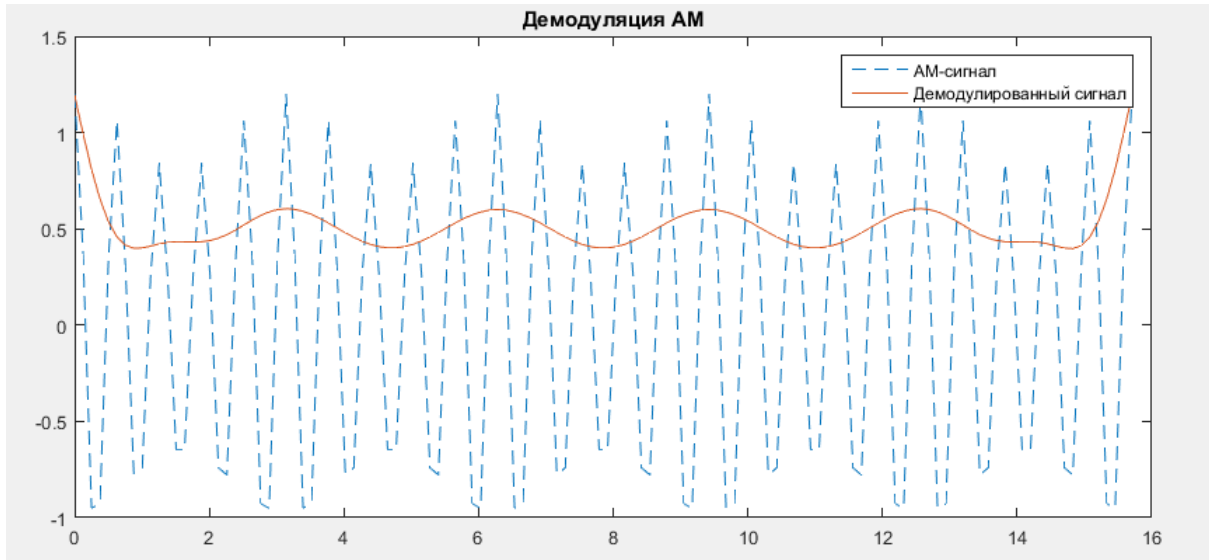


Рис. 4.6.1. Демодулированный сигнал ($M = 0.2$)

Пусть $M = 0.5$.

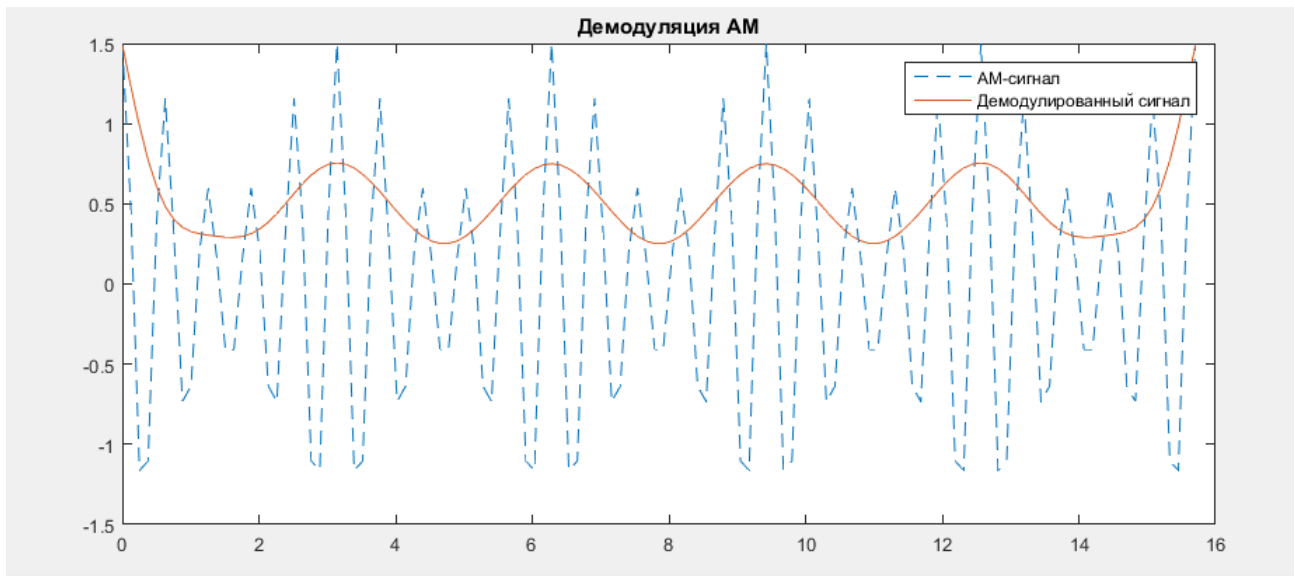


Рис. 4.6.2. Амплитудно-модулированный сигнал ($M = 0.5$)

Пусть $M = 1$.

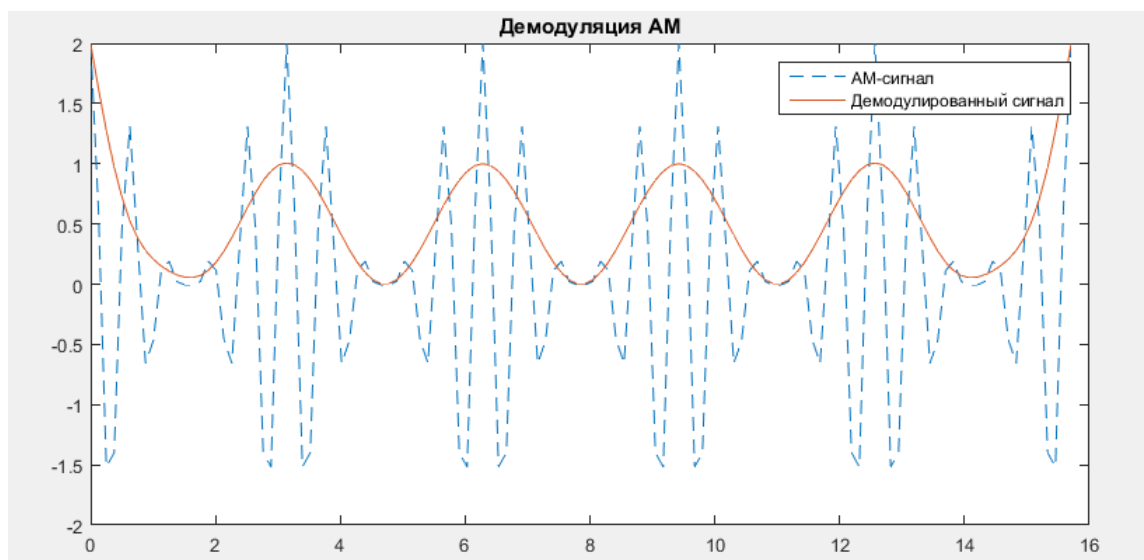


Рис. 4.6.3. Амплитудно-модулированный сигнал ($M = 1$)

Пусть $M = 2$.

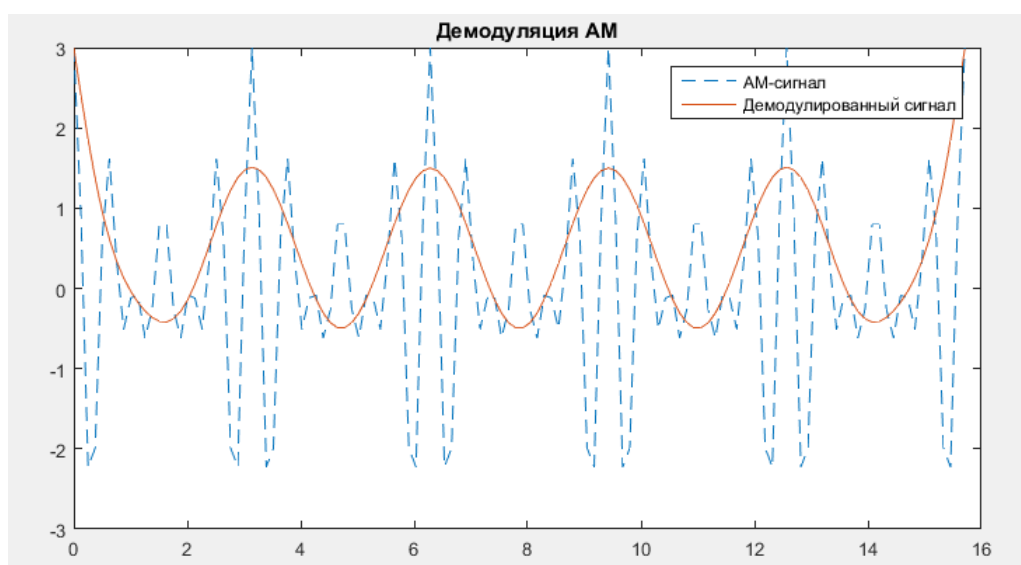


Рис. 4.6.4. Амплитудно-модулированный сигнал ($M = 2$)

Пусть $M = 5$.

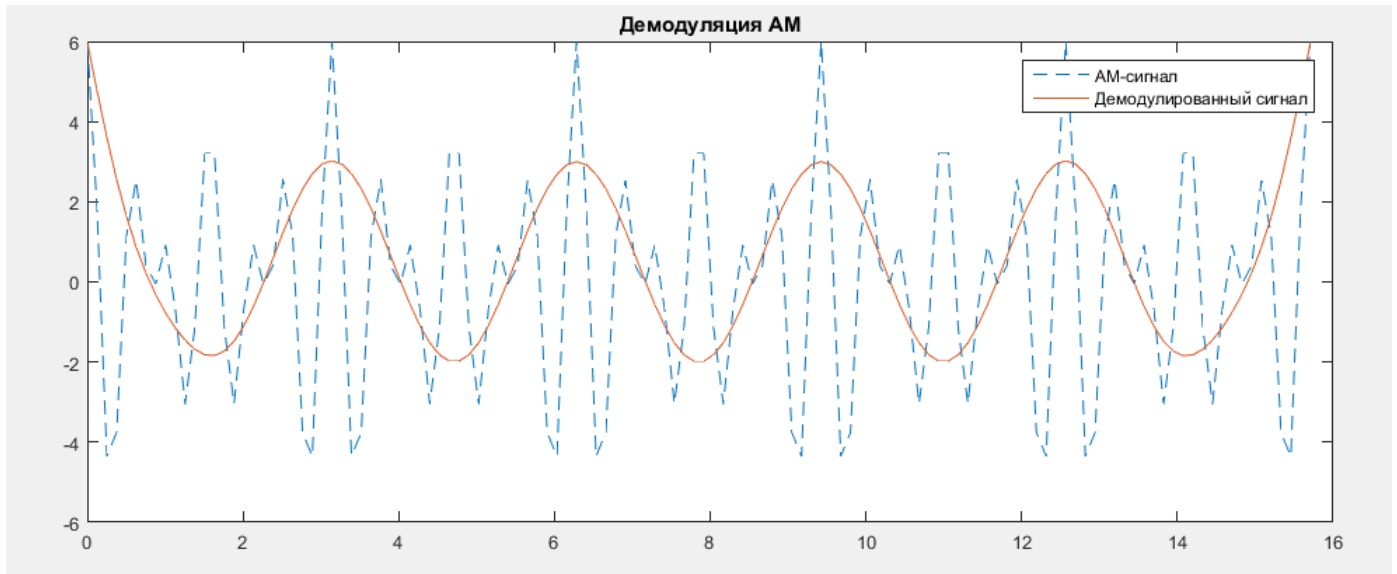


Рис. 4.6.5. Амплитудно-модулированный сигнал ($M = 5$)

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

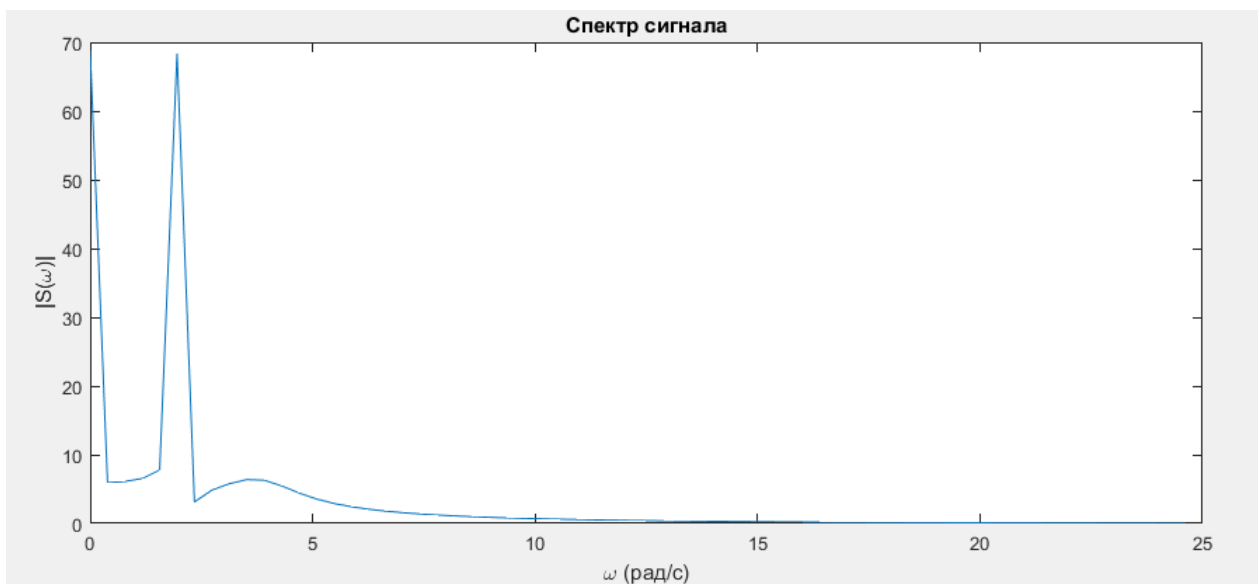


Рис. 4.6.6. Спектр демодулированного сигнала ($M = 2$)

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:

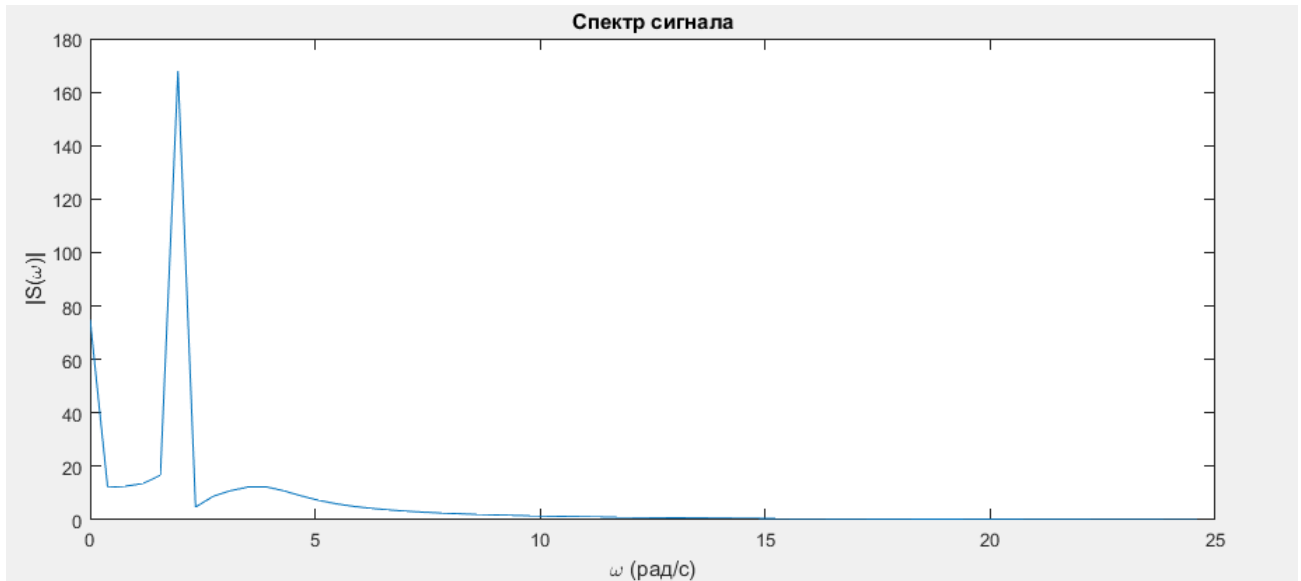


Рис. 4.6.7. Спектр демодулированного сигнала ($M = 5$)

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).

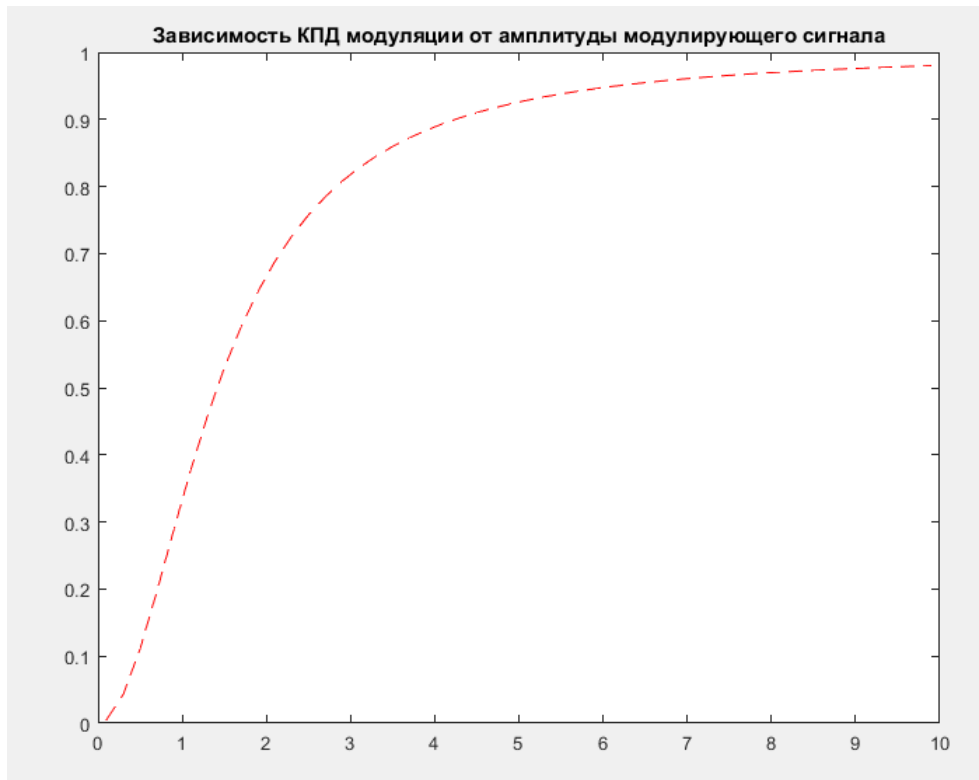


Рис. 4.7.1. Зависимость КПД модуляции от амплитуды модулирующего сигнала

5. Выводы

Исследованы типы аналоговой модуляции (амплитудная, с подавлением несущей и однополосная), способ демодуляции с помощью синхронного детектирования и определена зависимость КПД модуляции от коэффициента модуляции. Построены спектры модулированных сигналов и их вид совпал с ожидаемым результатом для каждого типа модуляции.

Аналоговая амплитудная модуляция находит широкое применение во многих областях: например, в системах телевизионного вещания), в системах звукового радиовещания и радиосвязи на длинных и средних волнах, в системе трехпрограммного проводного вещания.