

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:**  
Болдырев А.В.  
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 . . . . .	3
3.3.1. Амплитудная модуляция . . . . .	3
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 . . . . .	7
4.2. Амплитудная модуляция . . . . .	7
4.3. Амплитудная модуляция с подавлением несущей . . . . .	12
4.4. Однополосная амплитудная модуляция . . . . .	13
4.5. Спектры АМ-ПН и АМ-ОП . . . . .	14
4.6. Демодуляция с помощью синхронного детектирования . . . . .	14
<b>5. Выводы</b>	<b>18</b>

# 1. Цель работы

Изучение амплитудной модуляции/демодуляции сигнала.

# 2. Постановка задачи

Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты, выполнить амплитудную модуляцию, 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

Сигналы от любых источников информации передаются по линиям связи к приемникам, например, в измерительно-вычислительные системы регистрации и обработки данных. Как правило, информационные сигналы являются низкочастотными и ограниченными по ширине спектра, тогда как методы передачи сигналов рассчитаны на работу с высокочастотным сигналом. При этом важным вопросом является частотное разделение каналов передачи информации с целью эффективного использования каналообразующего оборудования и выделенного для передачи частотного диапазона. 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,  $\varphi$  – смещение по фазе.

### 3.3. Типы модуляции

#### 3.3.1. Амплитудная модуляция

Амплитудная модуляция (*amplitude modulation*) исторически была первым видом модуляции, освоенным на практике. В настоящее время АМ применяется в основном только для радиовещания на сравнительно низких частотах (не выше коротких волн) и для передачи изображения в телевизионном вещании. Это вызвано низким КПД использования энергии модулированных сигналов. 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:

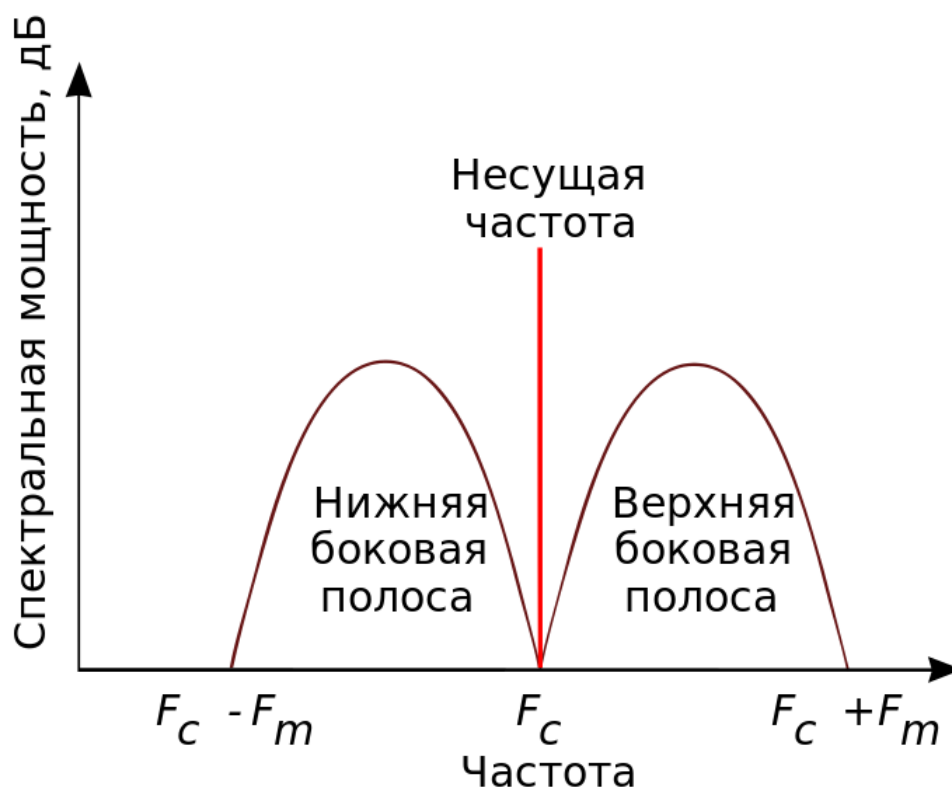


Рис. 3.3.1. Спектр амплитудно-модулированного сигнала

#### 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:

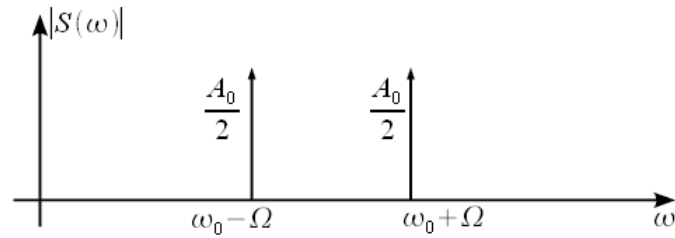


Рис. 3.3.2. Спектр балансно-модулированного сигнала

### 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 (ОБП – сигнал, *single side band* – SSB) 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 в два раза меньшую амплитуду по сравнению с АМ при  $M = 1$ . 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 в два раза меньшей амплитудой выходных сигналов.

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

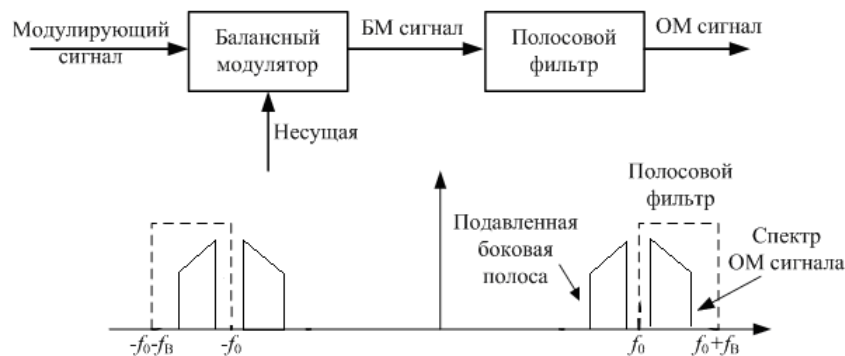


Рис. 3.3.3. Спектр однополосно-модулированного сигнала

### 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.

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 = 5;
3 OMEGA = 2;
4 Ws = 50;
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
16
17 figure
18 specplot(s_M, Fs);
19
20 % AM-signal
21
22 A0=1;
23 omega0 = 10;
24 phi0 = 0;
25 s_AM = ammod(s_M, OMEGA, omega0, phi0, A0);

```

```

26
27 figure
28 hold on
29 plot(t, s_AM);
30 plot(t, A0+s_M, '—', 'Color', 'red');
31 hold off
32
33 figure
34 specplot(s_AM, Fs);
35
36 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
37
38 % AM-demod
39
40 y = s_AM .* cos(omega0*t);
41 [b, a] = butter(5, 2*OMEGA/pi/Fs);
42 z = filtfilt(b, a, y);
43 figure
44 plot(t, s_AM, '—', t, z);
45
46 figure
47 specplot(z, Fs);
48 % KPD
49
50 x = [0.1:0.2:10];
51 Am = x;
52 M = Am./A0;
53 kpd = M.^2./(M.^2.+2);
54 figure
55 plot(x, kpd, '—', 'Color', 'red');
56
57 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
58
59
60 % AM-CK
61
62 Fc = omega0/(2*pi);
63 s_AM_SC = ammod(s_M, Fc, Fs);
64
65 figure
66 plot(t, s_AM_SC);
67
68 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
69
70 % AM-singleband
71
72 s_AM_SSB = ssbmod(s_M, Fc, Fs);
73 figure
74 plot(t, s_AM_SSB);
75
76 figure
77 subplot(2, 1, 1);
78 specplot(s_AM_SC, Fs)
79 subplot(2, 1, 2);
80 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:

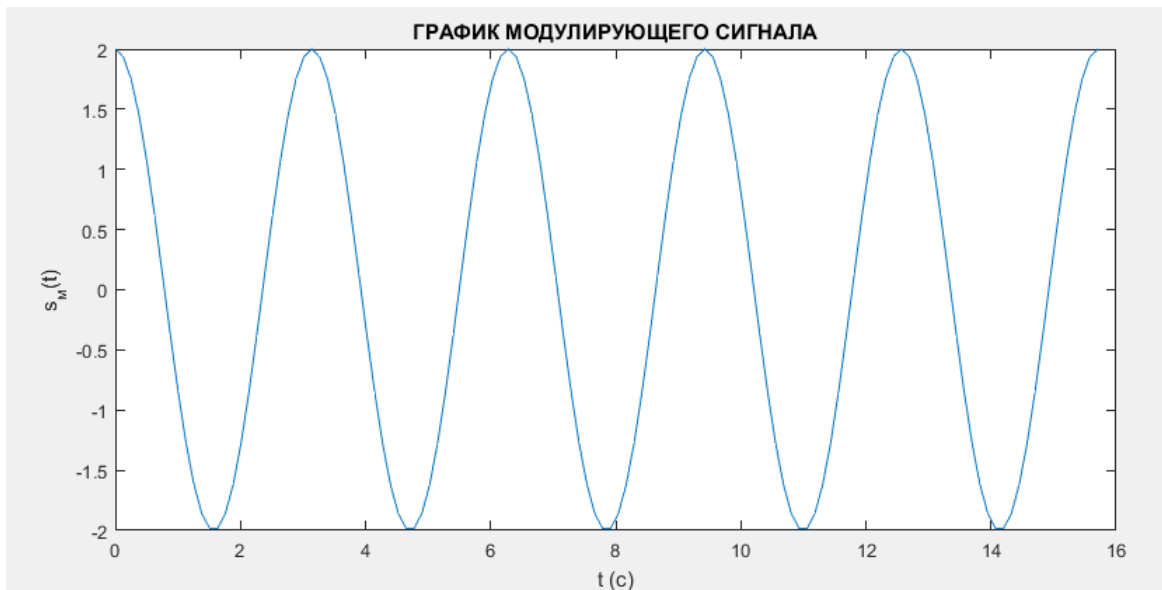


Рис. 4.1.1. Гармонический сигнал  $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

Для однотонового сигнала спектр выглядит следующим образом:

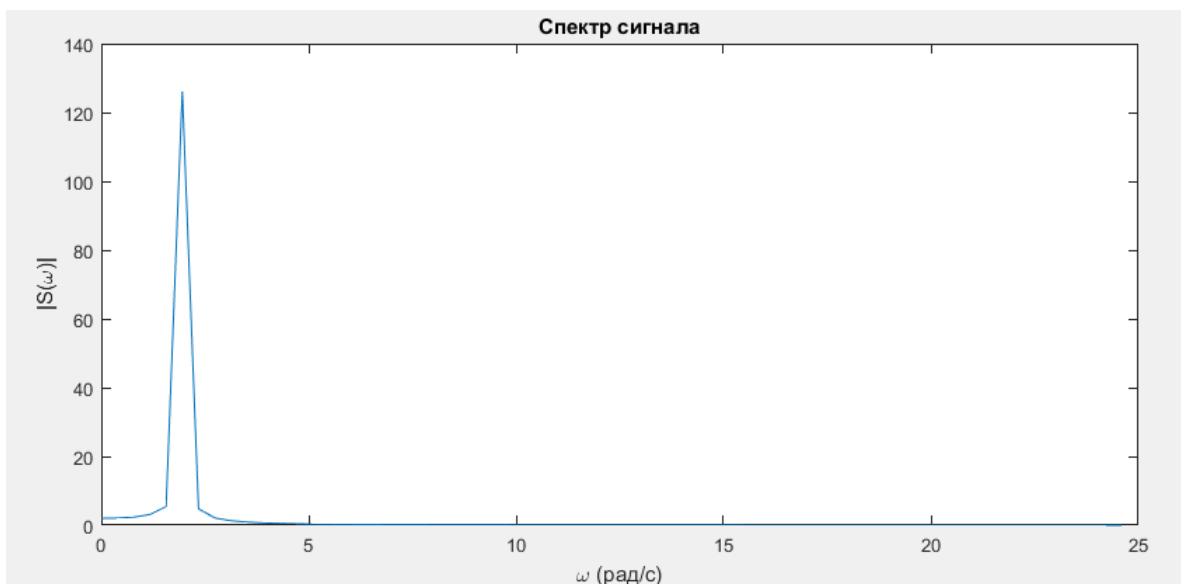


Рис. 4.1.2. Спектр гармонического сигнала  $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

## 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:



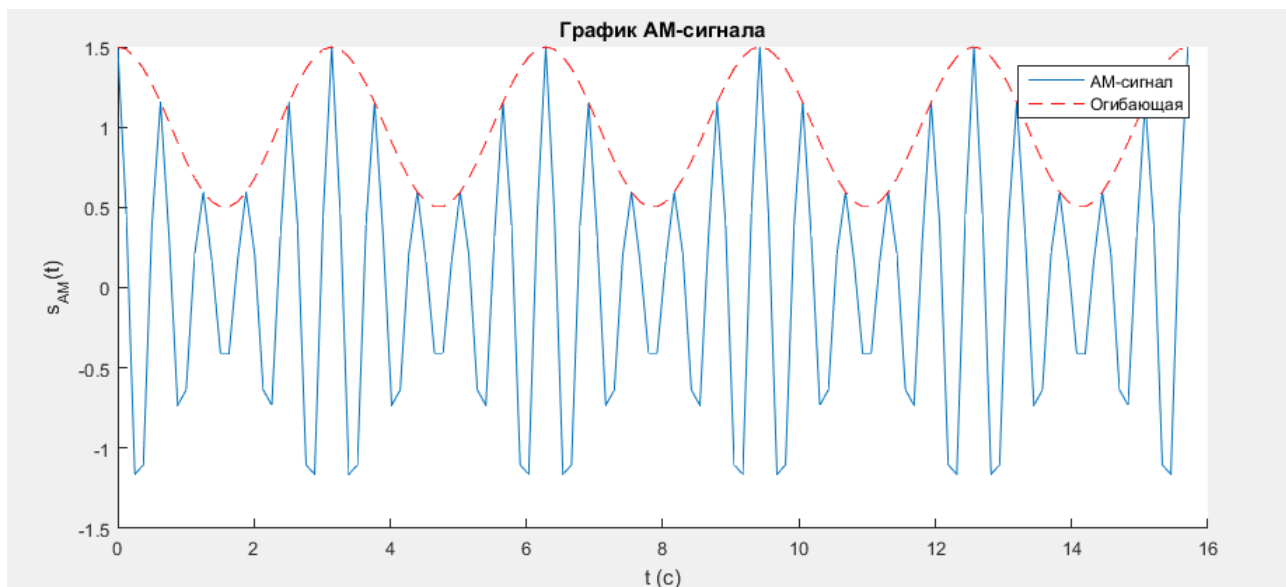


Рис. 4.2.1. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 0.5$ )

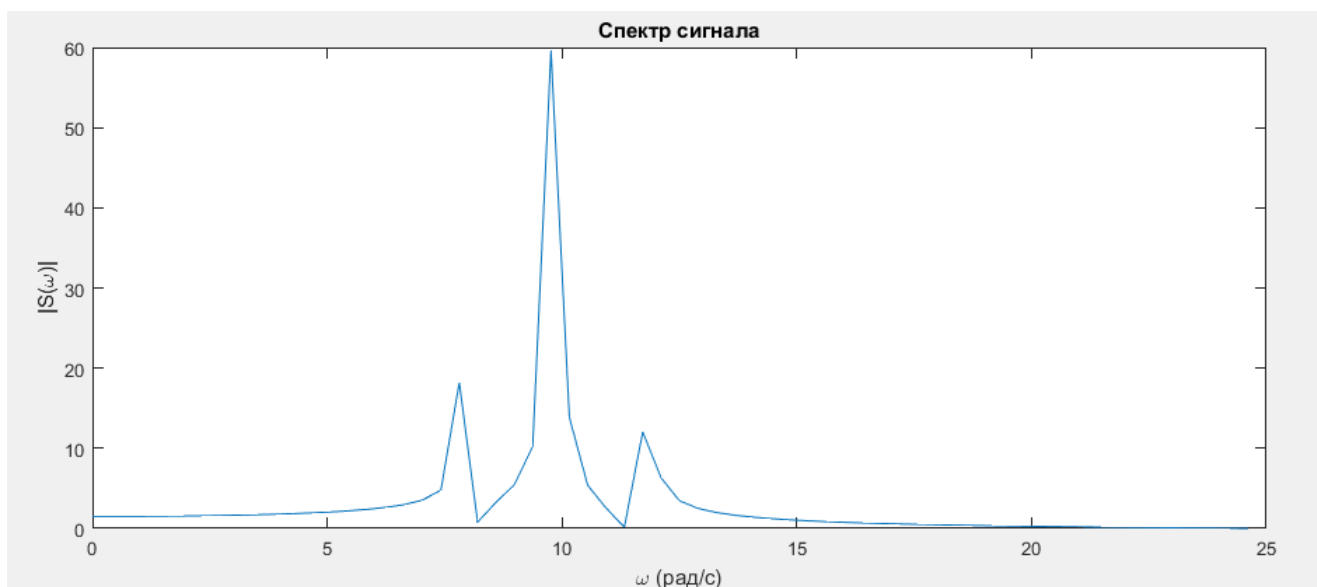


Рис. 4.2.2. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 0.5$ )

Спектр содержит гармонику 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  $M$ ).

Пусть  $M = 0.2$ .

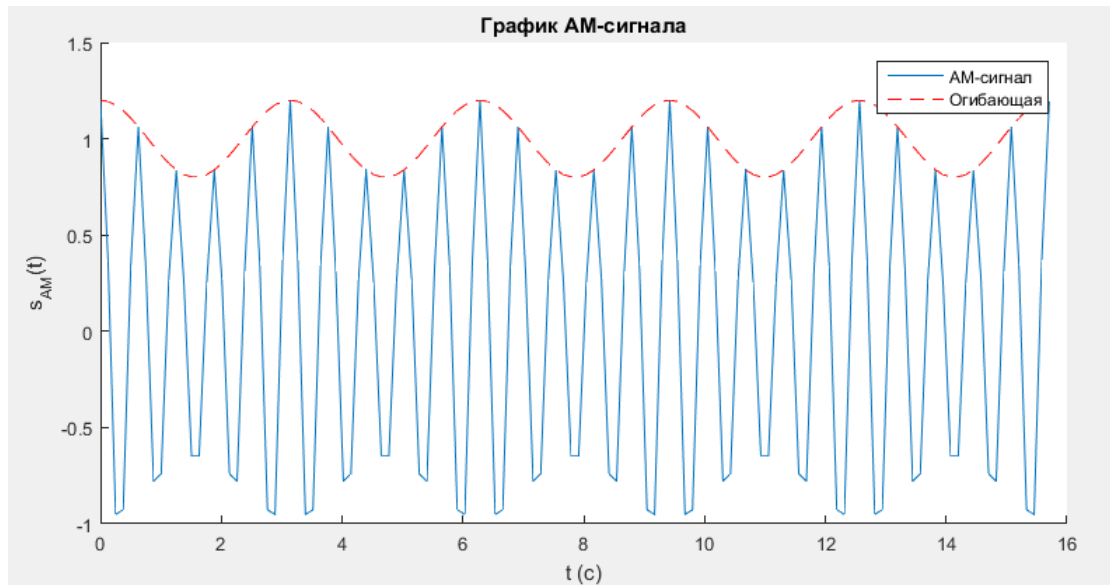


Рис. 4.2.3. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 0.2$ )

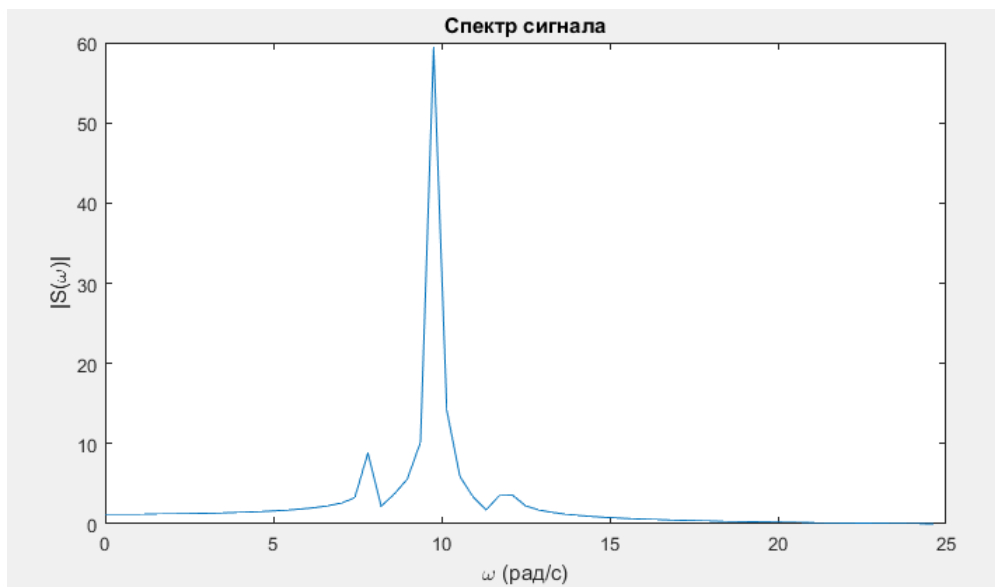


Рис. 4.2.4. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 0.2$ )

Пусть  $M = 1$ .

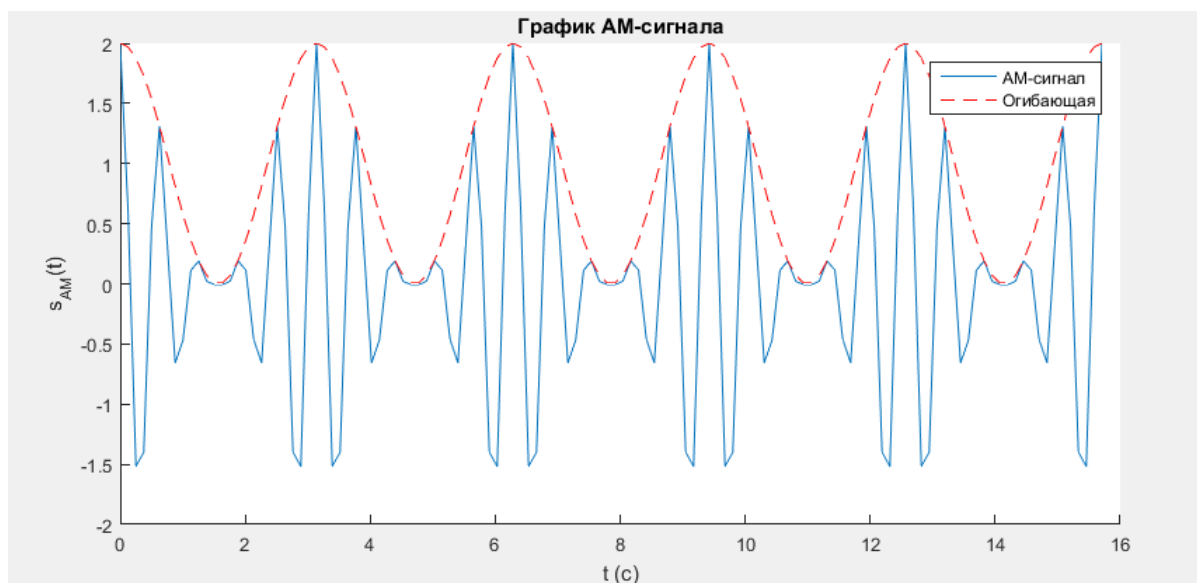


Рис. 4.2.5. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 1$ )

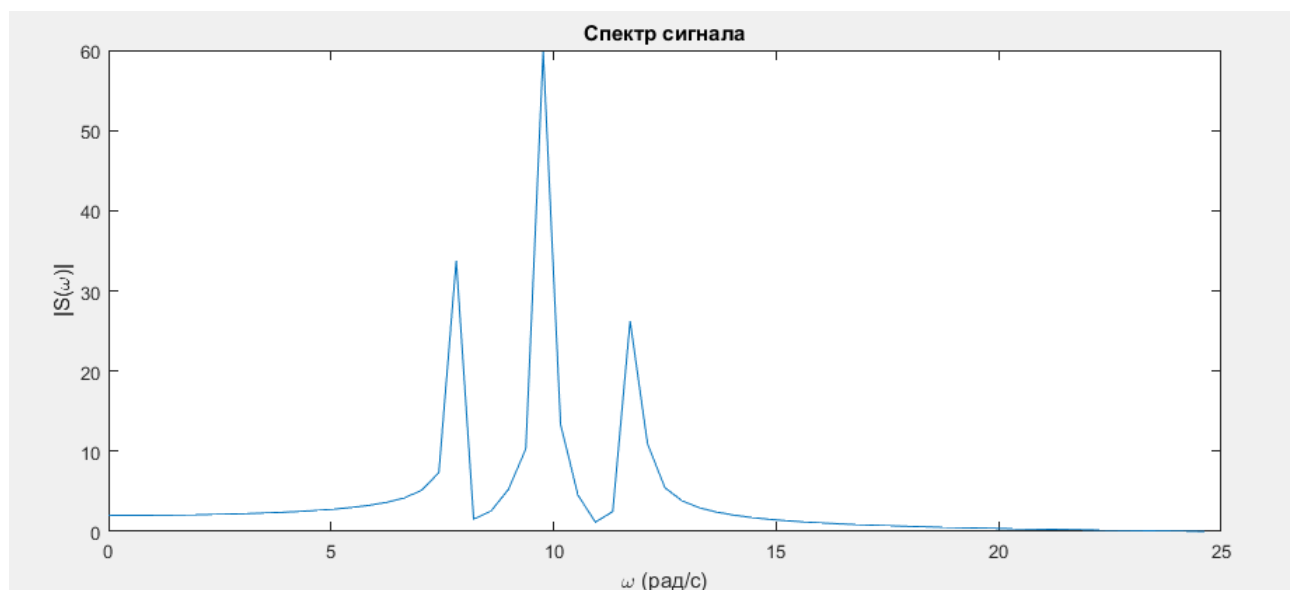


Рис. 4.2.6. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 1$ )

Пусть  $M = 2$ .

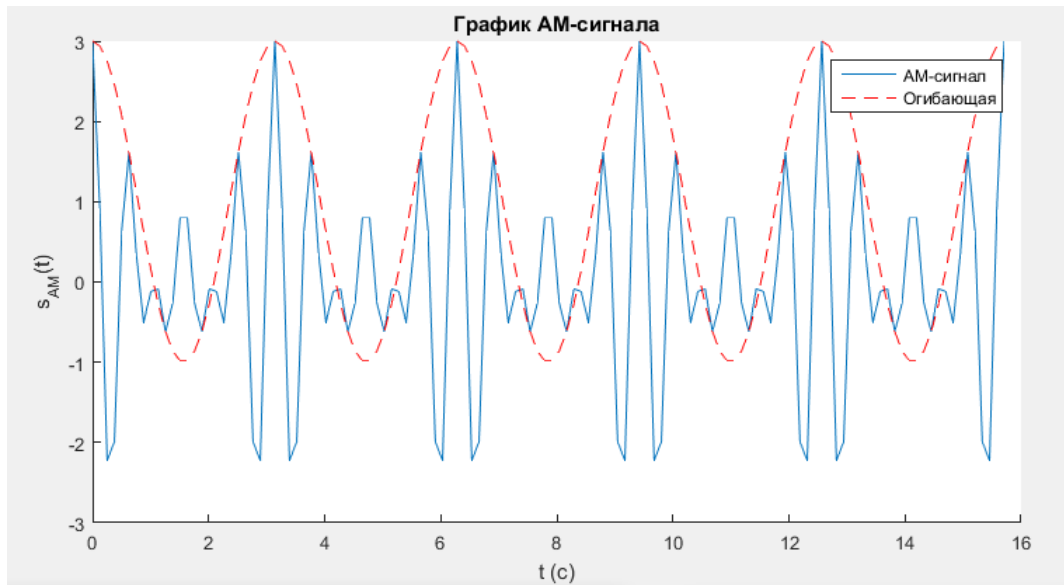


Рис. 4.2.7. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 2$ )

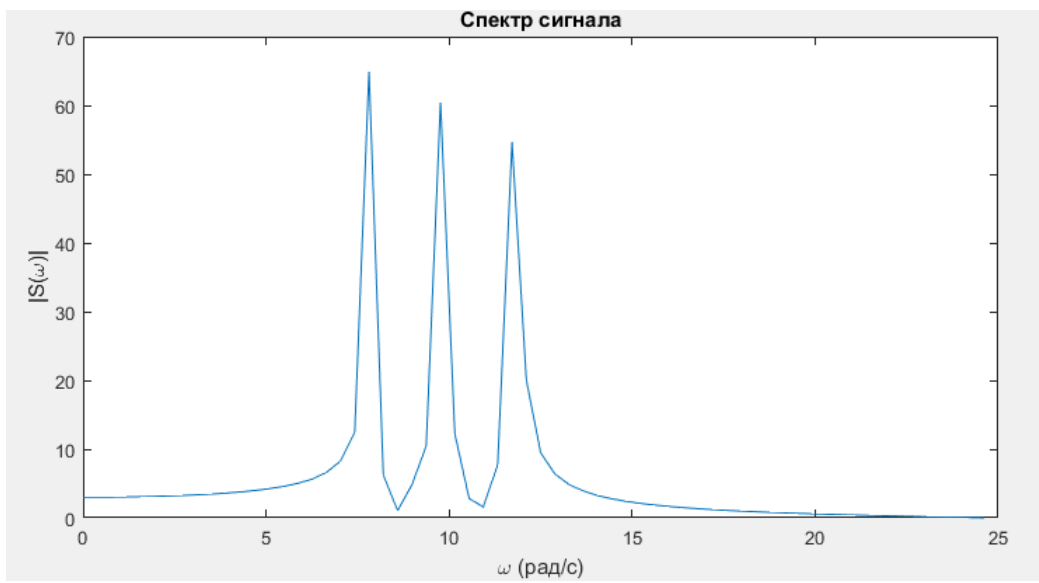


Рис. 4.2.8. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 2$ )

Пусть  $M = 5$ .

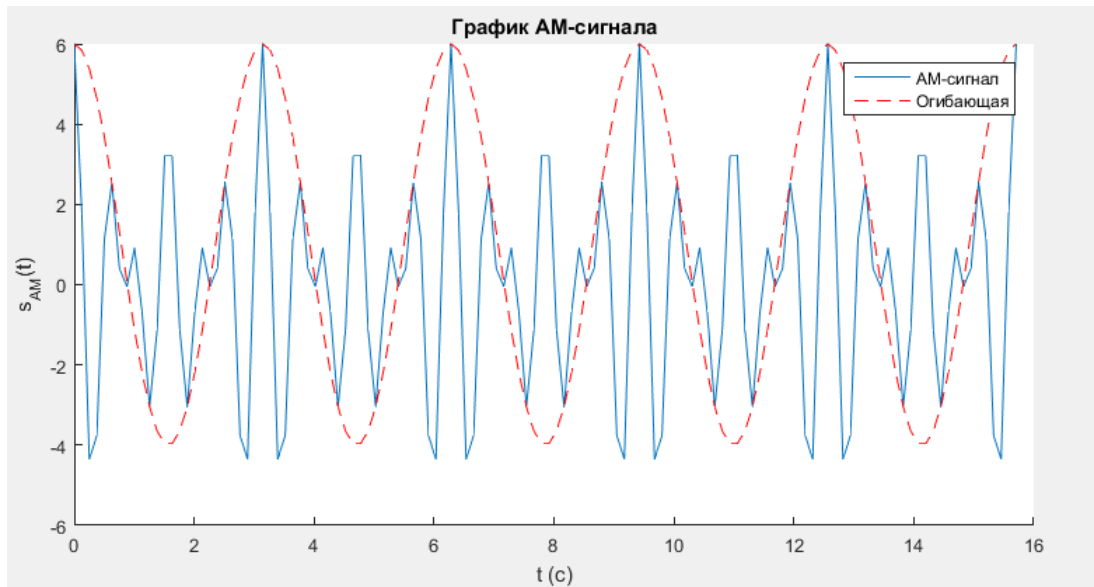


Рис. 4.2.9. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 5$ )

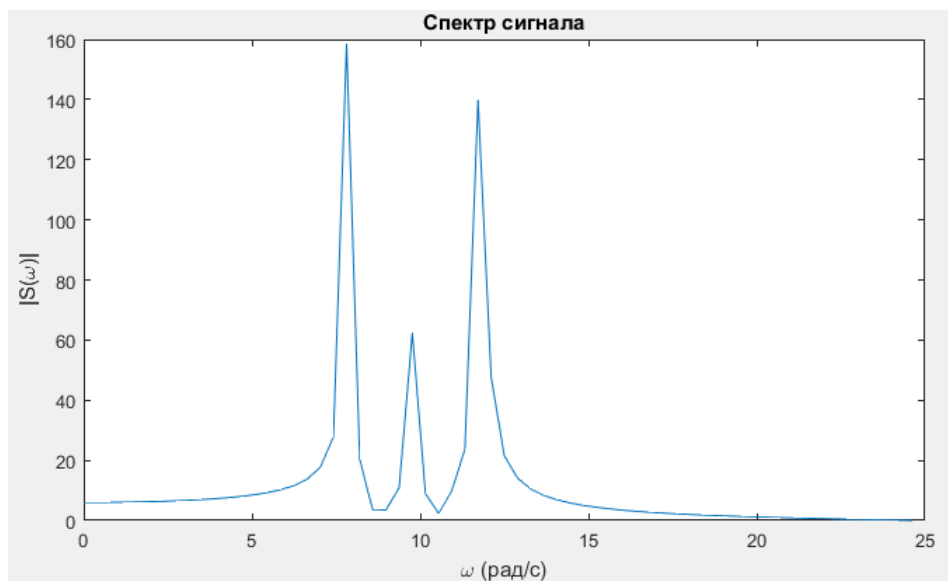


Рис. 4.2.10. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 5$ )

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:

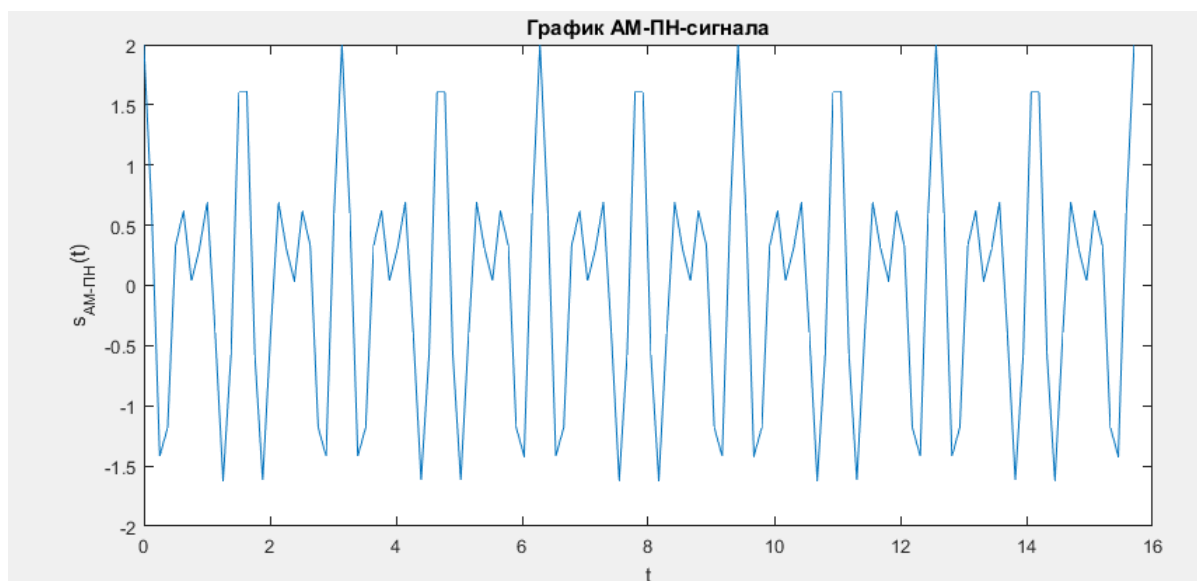


Рис. 4.3.1. Сигнал с АМ-ПН

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 с АМ-ОП представлен на рисунке 4.4.1:

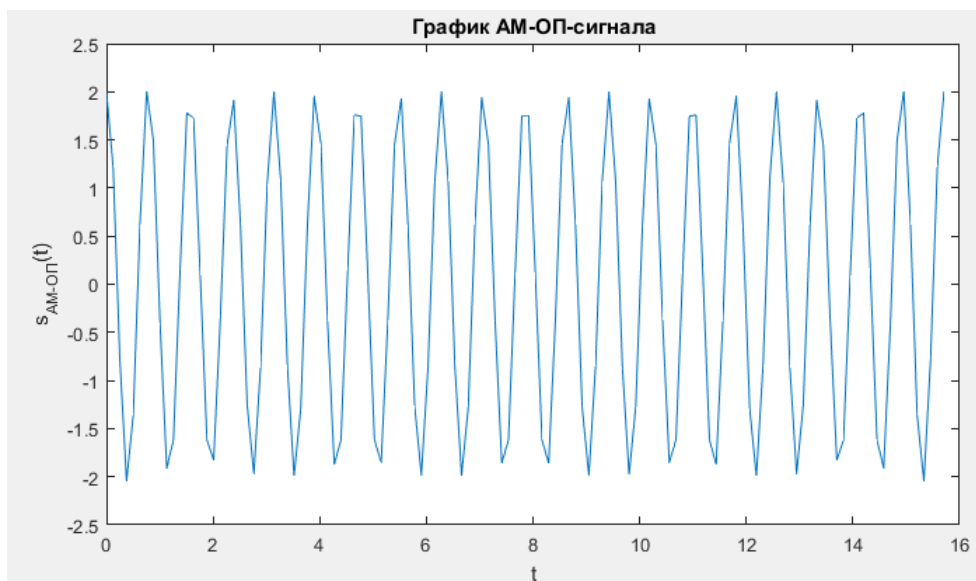


Рис. 4.4.1. Сигнал с АМ-ОП

## 4.5. Спектры АМ-ПН и АМ-ОП

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

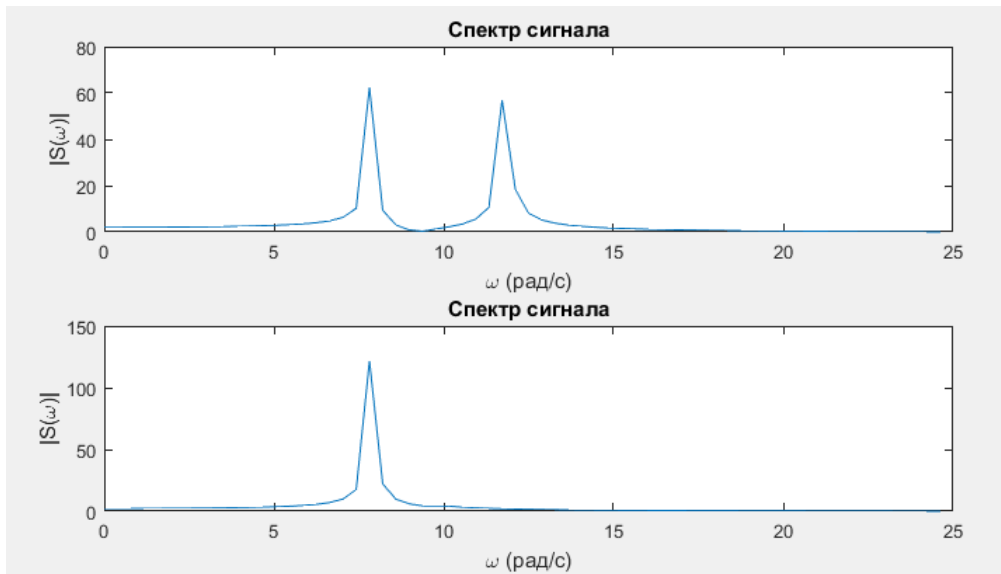


Рис. 4.5.1. Спектры сигнала с АМ-ПН и АМ-ОП

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  $M = 0.2$ .

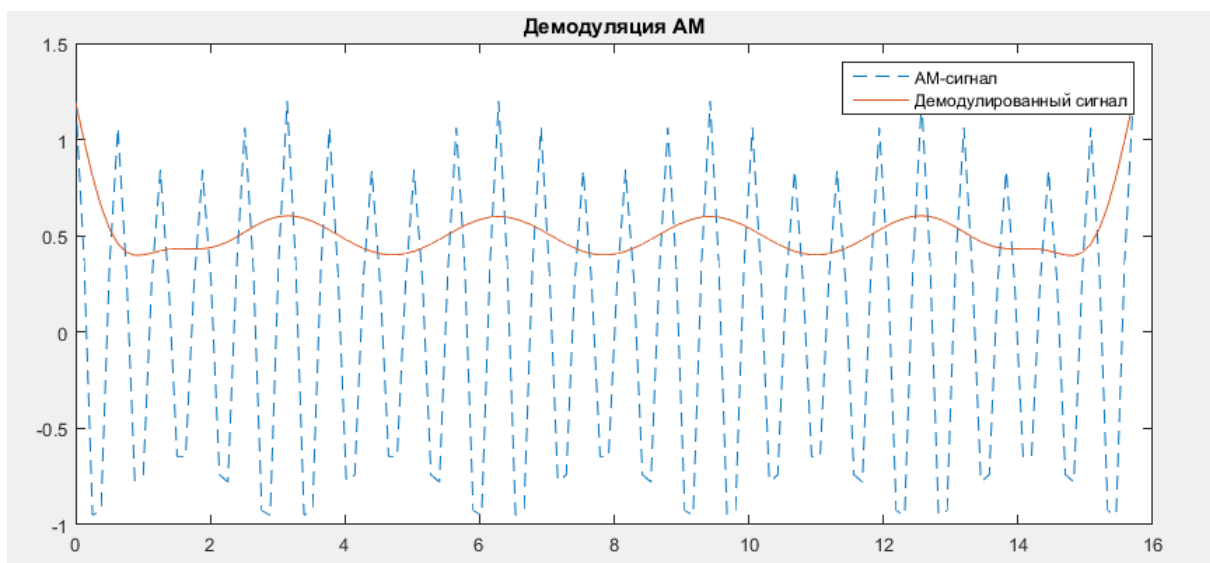


Рис. 4.6.1. Демодулированный сигнал ( $M = 0.2$ )

Пусть  $M = 0.5$ .

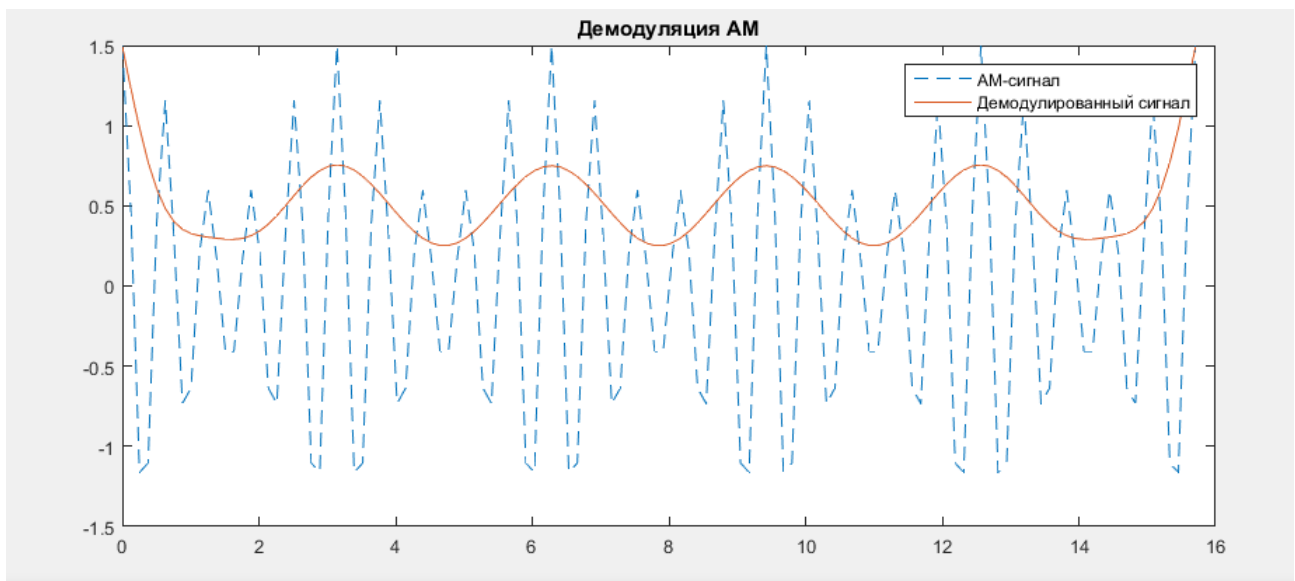


Рис. 4.6.2. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 0.5$ )

Пусть  $M = 1$ .

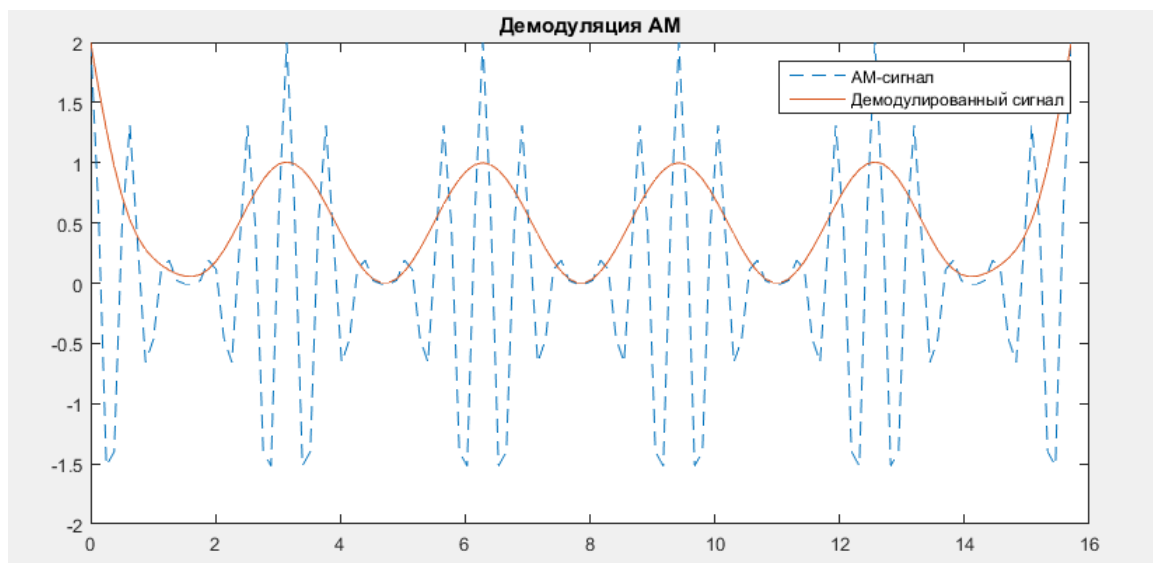


Рис. 4.6.3. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 1$ )

Пусть  $M = 2$ .



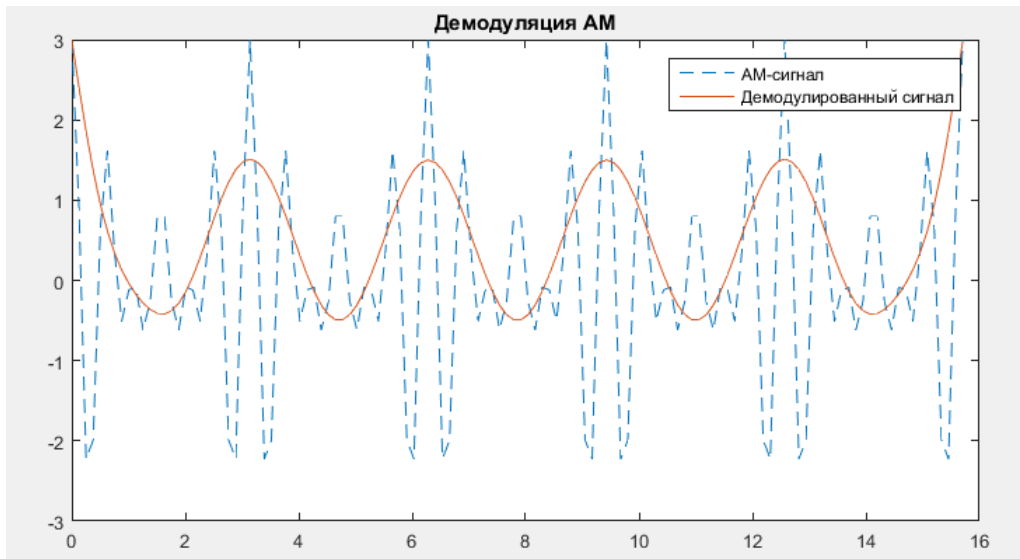


Рис. 4.6.4. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 2$ )

Пусть  $M = 5$ .

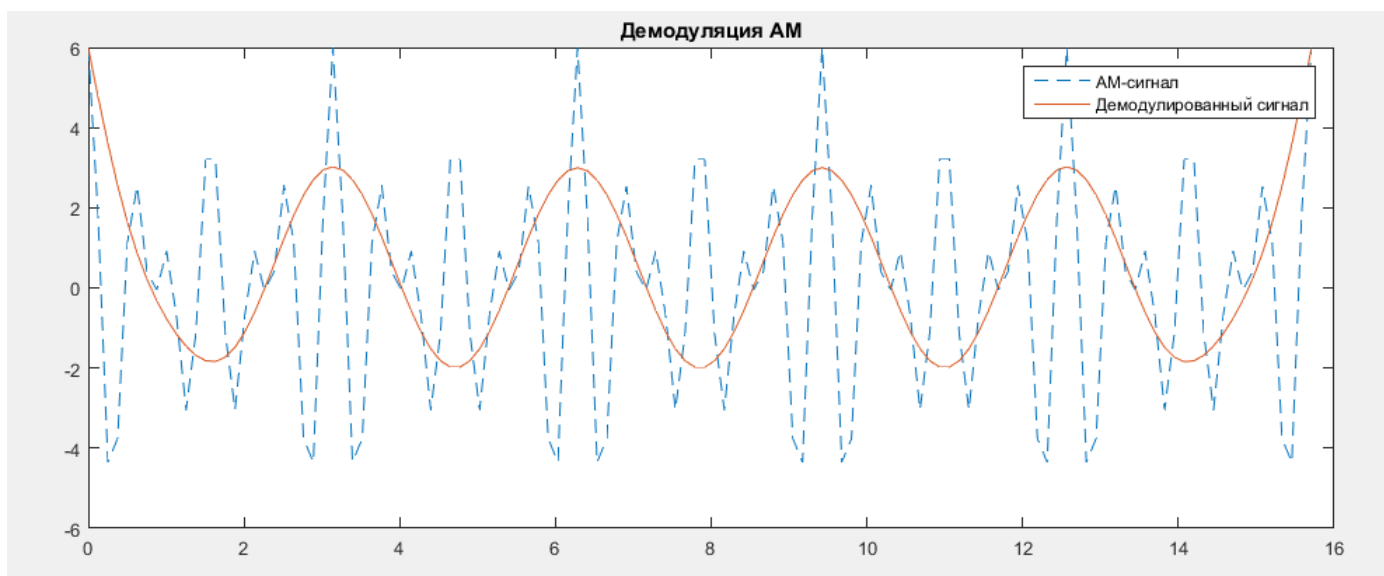


Рис. 4.6.5. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 5$ )

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

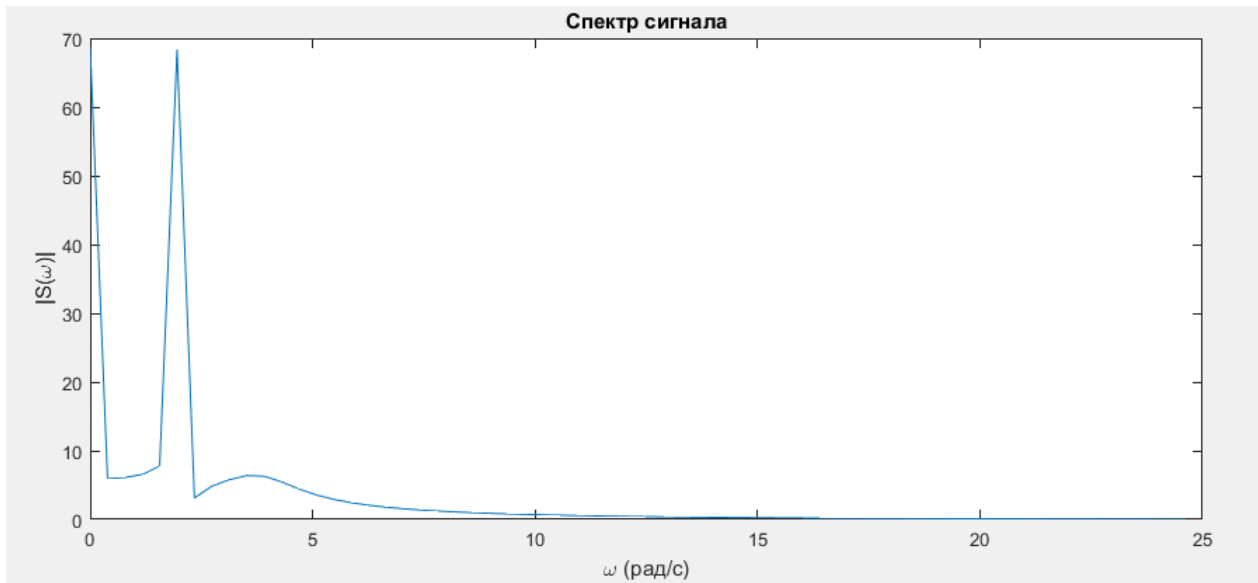


Рис. 4.6.6. Спектр демодулированного сигнала ( $M = 2$ )

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:

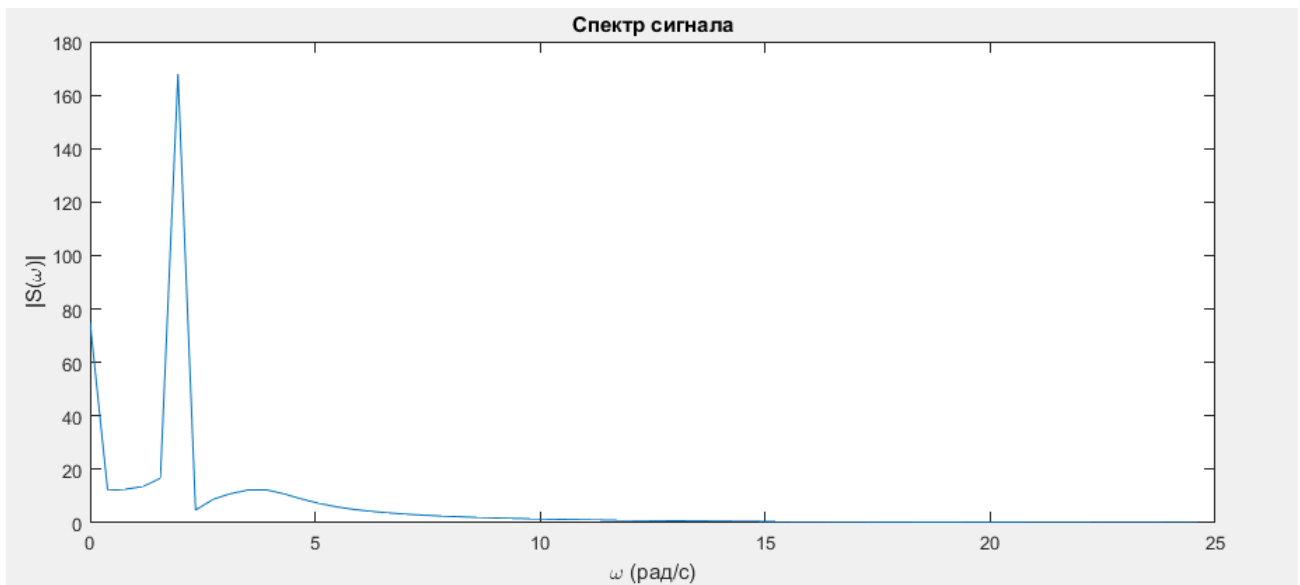


Рис. 4.6.7. Спектр демодулированного сигнала ( $M = 5$ )

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

## 5. Выводы

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. Построены спектры модулированных сигналов, их вид совпал с ожидаемым результатом для каждого типа модуляции.

Основной результат данного исследования - получение представления об эффективности и принципах аналоговой амплитудной модуляции. Она находит широкое применение: в системах телевизионного вещания (для передачи телевизионных сигналов), в системах звукового радиовещания и радиосвязи на длинных и средних волнах, в системе трехпрограммного проводного вещания.