

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:**  
Ерниязов Т.Е.  
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>
<b>4. Ход работы</b>	<b>4</b>
4.1. Генерация однотонового сигнала . . . . .	8
4.2. Амплитудная модуляция . . . . .	8
4.3. Амплитудная модуляция с подавлением несущей . . . . .	12
4.4. Однополосная амплитудная модуляция . . . . .	13
4.5. Демодуляция с помощью синхронного детектирования . . . . .	14
4.6. КПД модуляции . . . . .	16
<b>5. Выводы</b>	<b>17</b>

# 1. Цель работы

Изучение амплитудной модуляции и демодуляции сигнала.

# 2. Постановка задачи

1. Сгенерировать однотоновый низкочастотный сигнал.
2. Выполнить амплитудную модуляцию сигнала.
3. Получить спектр этого сигнала.
4. Выполнить модуляцию с подавлением несущей.
5. Выполнить однополосную модуляцию.
6. Выполнить синхронное детектирование и получить исходный однополосный сигнал.
7. Рассчитать КПД модуляции.

# 3. Теоретическая информация

## Общие сведения о модуляции

Перенос спектра сигналов из низкочастотной области на заданную частоту 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 пропорциональным 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.

## 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.

Простейшая форма модулированного сигнала создается при однотоновой амплитудной модуляции – модуляции несущего сигнала гармоническим колебанием с одной частотой  $\Omega$ :

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

## Балансная амплитудная модуляция

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:

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

## Однополосная амплитудная 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.

## Демодуляция АМ-сигналов

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.

## КПД амплитудной модуляции

КПД амплитудной модуляции может быть получено по формуле:

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

## 4. Ход работы

Листинг 1: Код использованный в ходе работы

```
1 function Code_1()
2 close all
3 clc
4
5 A = 2;
6 OMEGA = 3; % Fs
7 omega_0 = 10; % Fc
8 Fd = 100;
9 t = 0:1/Fd:10;
10
11 sig_mod = A * cos(OMEGA * t);
12
13 signal_one_tone = figure();
14 plot(t, sig_mod);
15 ylim([-2 2]);
16 title('Модулирующий_сигнал');
17
18 signal_one_tone_spec = figure();
19 specplot(sig_mod, Fd);
20 xlim([0 10]);
21 ylim([0 1000]);
22 title('Спектр_модулирующего_сигнала');
23
24 am_figures = [];
25 A0 = 1;
26 phi0 = 0;
27
28 d = designfilt('lowpassfir', ...
29     'PassbandFrequency',0.15,'StopbandFrequency',0.2, ...
30     'PassbandRipple',1,'StopbandAttenuation',20, ...
31     'DesignMethod','equiripple');
32
33 function [demod_f, demod_s_f] = demodulate(s_AM, m_name)
34     y = s_AM .* cos(2*pi*omega_0 * t);
35     z = filtfilt(d, y);
36
37     demod_f = figure();
38     plot(t, s_AM, '—', t, z);
39     title(strcat('Демодулированный_сигнал_', m_name))
40     demod_s_f = figure();
41     specplot(z, Fd);
42     xlim([0 10]);
43     title('Спектр_демодулированного_сигнала')
44 end
45
46 function [sAM, mod_f, mod_s_f] = modulate(signal, am,m_name)
47     sm = am .* signal;
48     sAM = ammod(sm, omega_0, Fd, phi0, A0);
```

```

49     mod_f = figure();
50     hold on
51     plot(t, sAM);
52     plot(t, A0+sm, '—', 'Color', 'red');
53     hold off
54     title(strcat('Модуляция_',m_name))
55
56     mod_s_f = figure();
57     specplot(sAM, Fd);
58     xlim([0 100]);
59     title('Спектр_модулированного_сигнала')
60 end
61 for am = [0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0]
62 m_name = strcat('_M=_', num2str(am));
63 f_name = strcat('_m_', num2str(am));
64 f_name = strrep(f_name, '.', '_');
65 [s_AM, mod_f, mod_s_f] = modulate(sig_mod, am, m_name);
66 [demod, demod_s] = demodulate(s_AM, m_name);
67
68 am_figures = [am_figures; {am, f_name, mod_f, mod_s_f, demod, demod_s}];
69 end
70
71 Am = 0.1:0.2:10;
72 M = Am./A0;
73 kpd = M.^2./(M.^2.+2);
74 kpd_f = figure();
75 plot(Am, kpd);
76 xlabel('Амплитуда');
77 ylabel('КПД')
78
79
80 omega_0 = omega_0/(2*pi);
81 s_AM_SC = ammod(sig_mod, omega_0, Fd);
82 s_am_f = figure();
83 plot(t, s_AM_SC, t, sig_mod, '—r');
84 s_am_s_f = figure();
85 specplot(s_AM_SC, Fd)
86 xlim([0 20]);
87
88
89 s_AM_SSB = ssbmod(sig_mod, omega_0, Fd);
90 s_am_ssb_f = figure();
91 plot(t, s_AM_SSB);
92 s_am_ssb_s_f = figure();
93 specplot(s_AM_SSB, Fd)
94 xlim([0 20]);
95
96
97 for itm = am_figures'
98     _name_ = _itm(2);
99     _names_ = [
100         _strcat('mod_sig', _name_)_;
101         _strcat('mod_sig_spec', _name_)_;
102         _strcat('demod_sig', _name_)_;
103         _strcat('demod_sig_spec', _name_)_];
104
105     for _i_ = 1:4
106         _fig_ = _itm(i+2);
107         _fig_ = _fig{1};
108         _fname_ = _names(i);

```

```

109 fname_ = fname{1};
110 filesave(fname, _fig)
111 end
112 end
113
114 end

```

## 4.1. Генерация однотонового сигнала

Сгенерируем гармонический сигнал  $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$ :

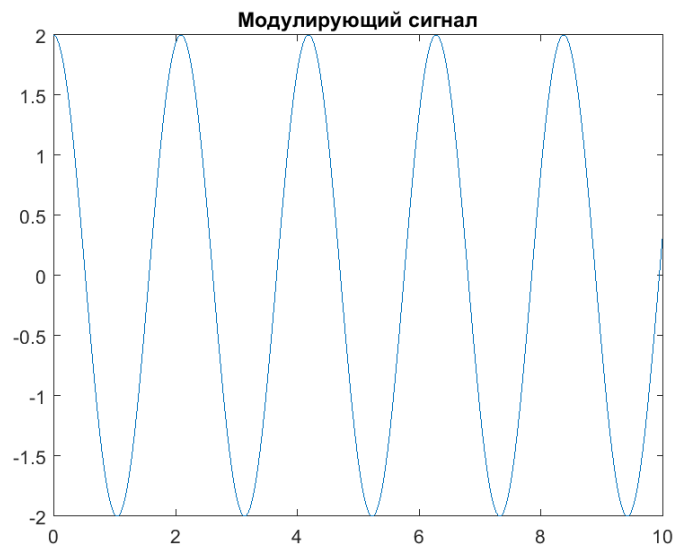


Рис. 4.1.1. Гармонический сигнал

Спектр однотонового сигнала:

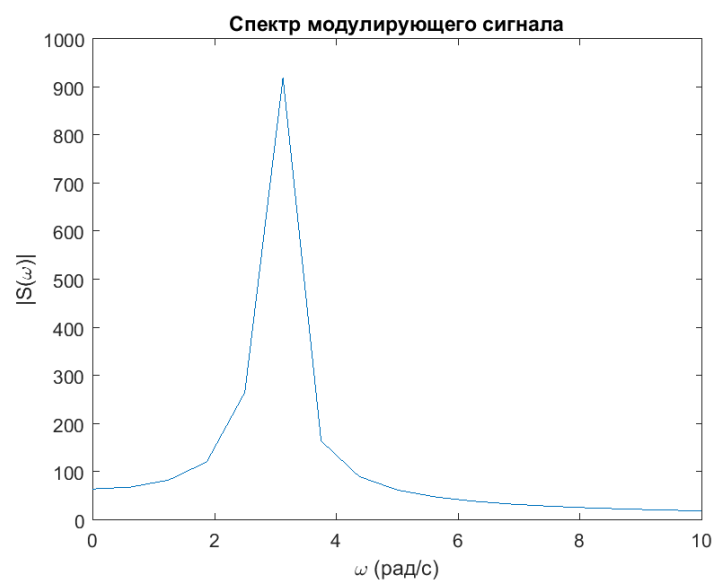


Рис. 4.1.2. Спектр гармонического сигнала

## 4.2. Амплитудная модуляция

Сгенерированный однотоновый сигнал подвергли амплитудной модуляции:

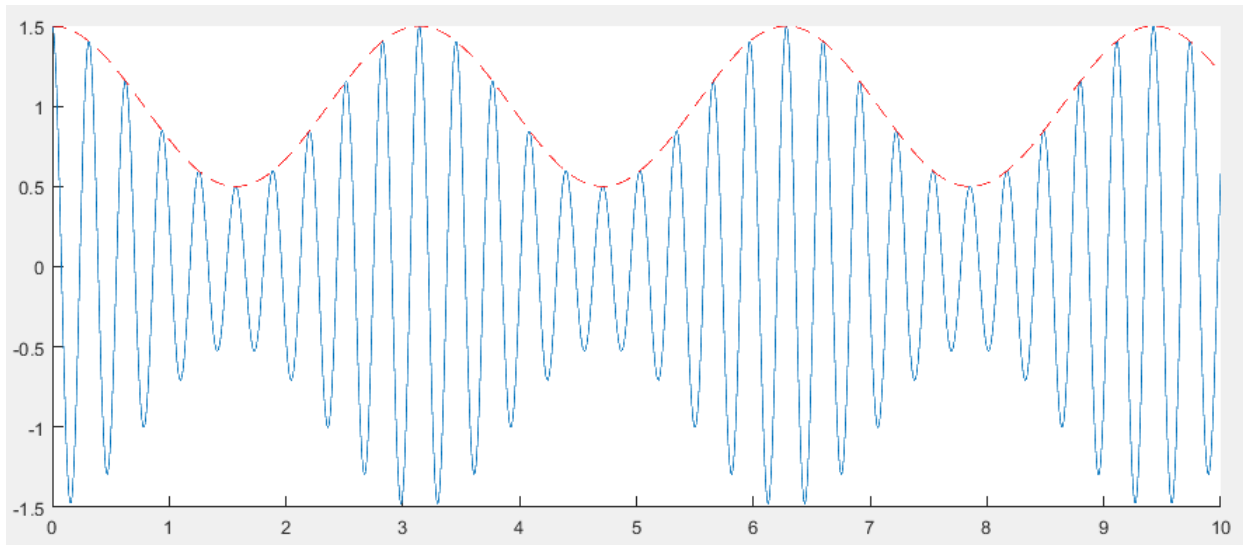


Рис. 4.2.1. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 0.5$ )

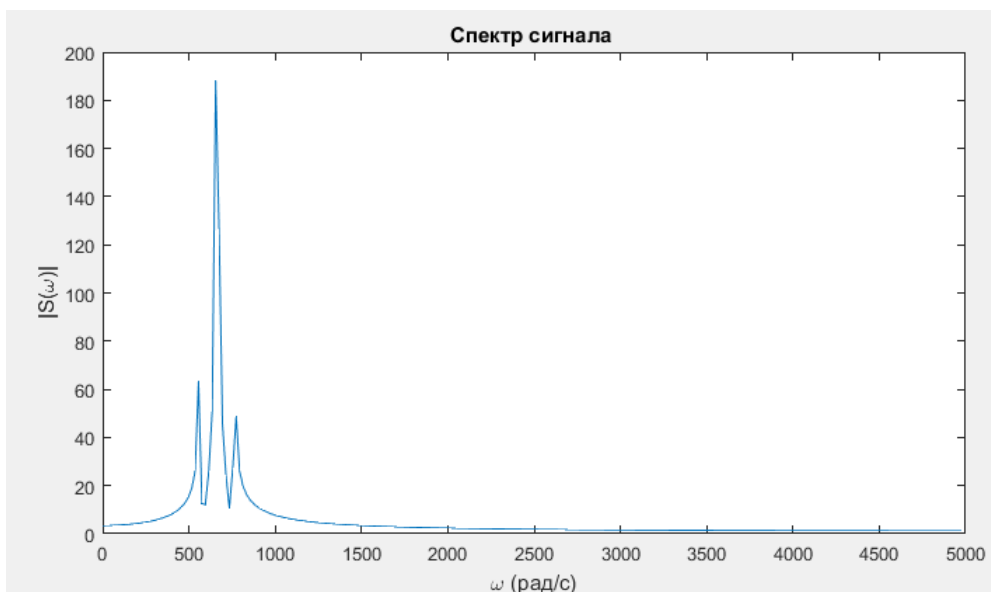


Рис. 4.2.2. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 0.5$ )

По бокам находится 2 гармоники несущего сигнала, а по середине гармоника информационного.

Пусть  $M = 0.2$ .

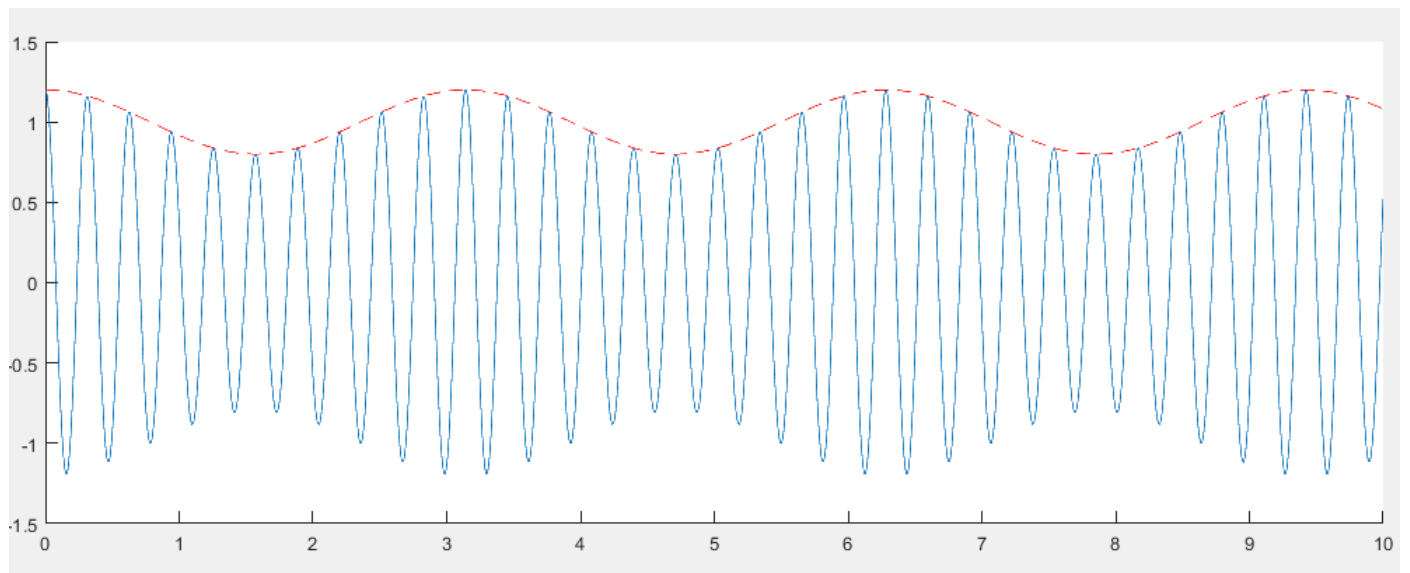


Рис. 4.2.3. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 0.2$ )

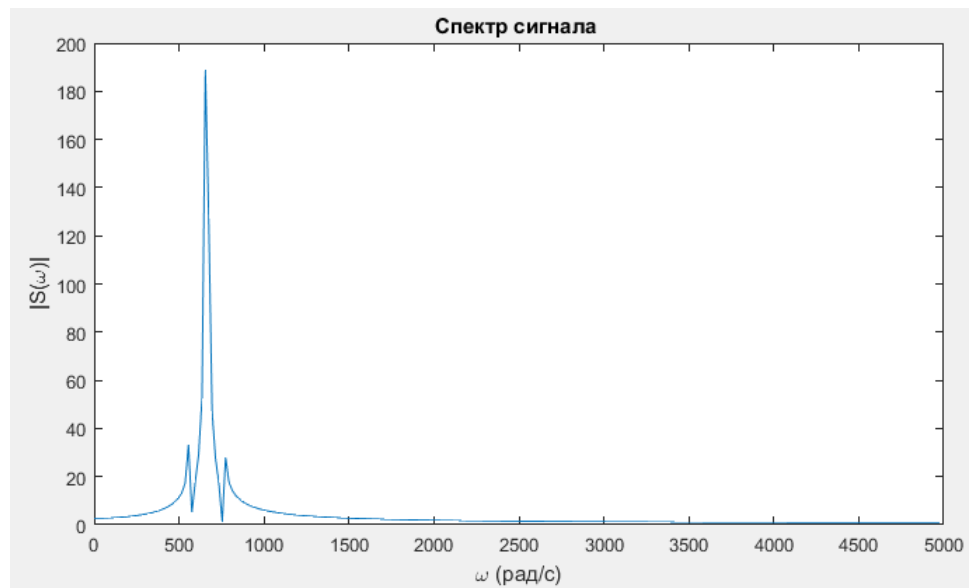


Рис. 4.2.4. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 0.2$ )

Пусть  $M = 1$ .

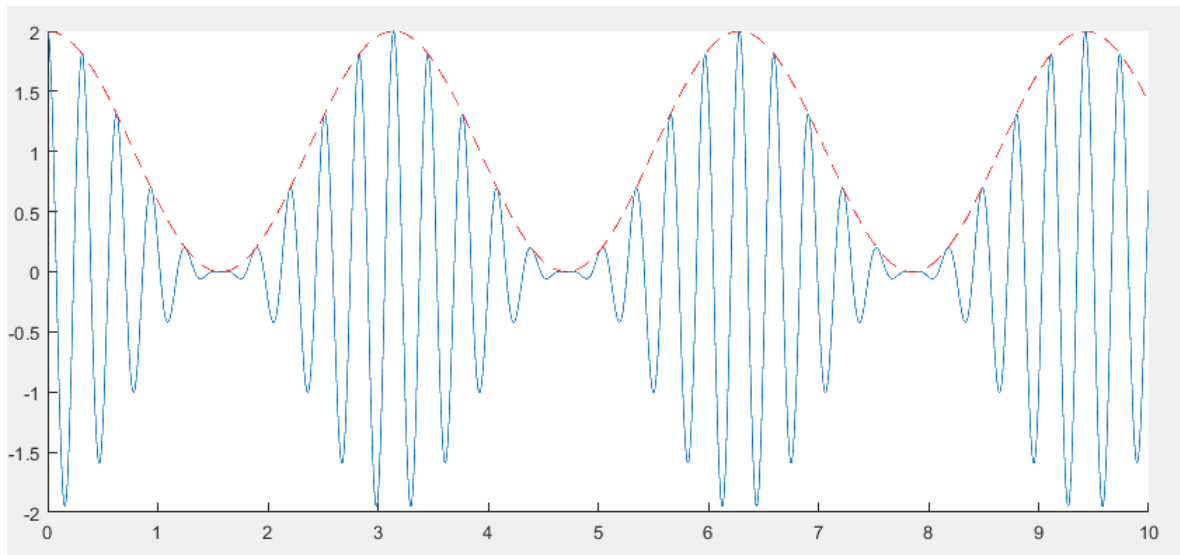


Рис. 4.2.5. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 1$ )

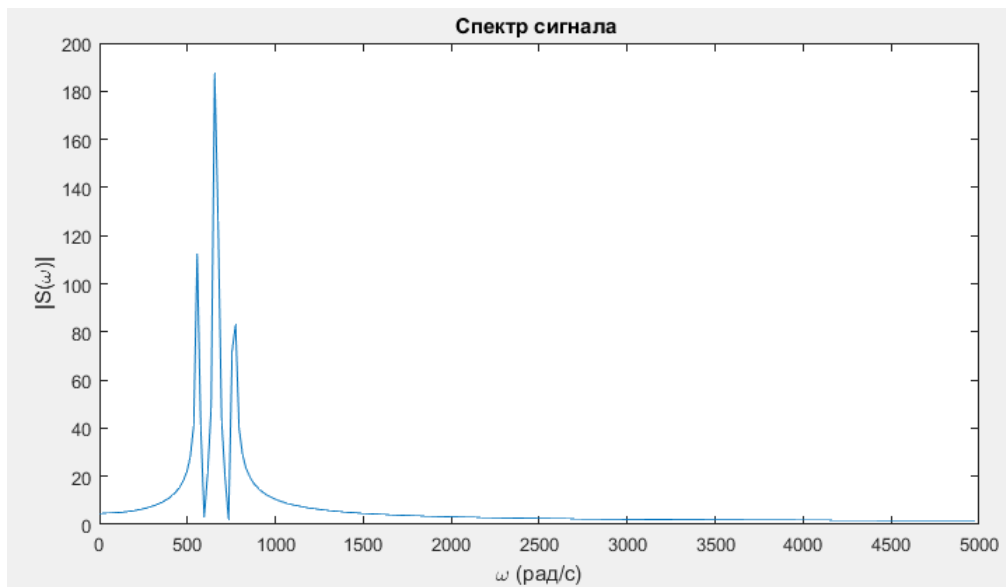


Рис. 4.2.6. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 1$ )

Пусть  $M = 2$ .

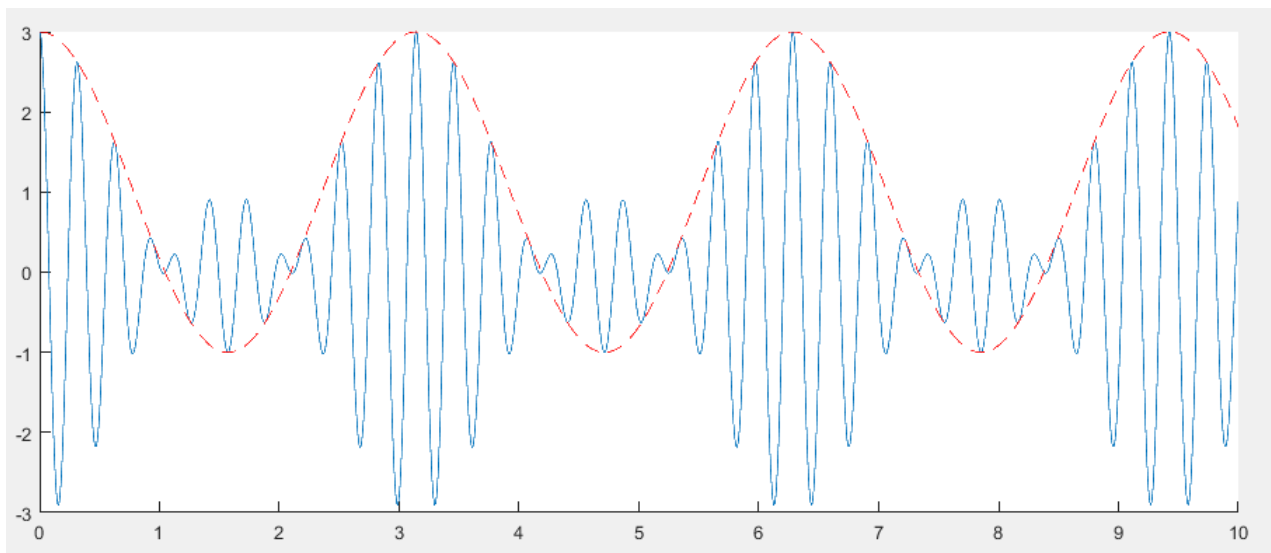


Рис. 4.2.7. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 2$ )

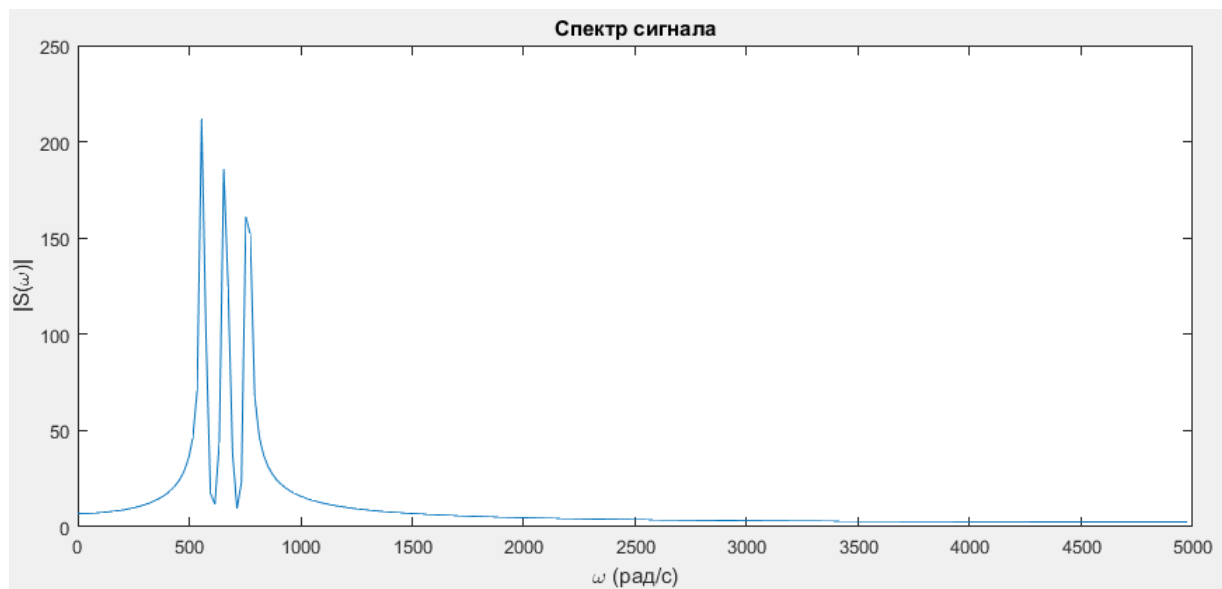


Рис. 4.2.8. Спектр амплитудно-модулированного сигнала ( $M = 2$ )

При  $M > 1$  имеем случай перемодуляции, 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 сигнала.

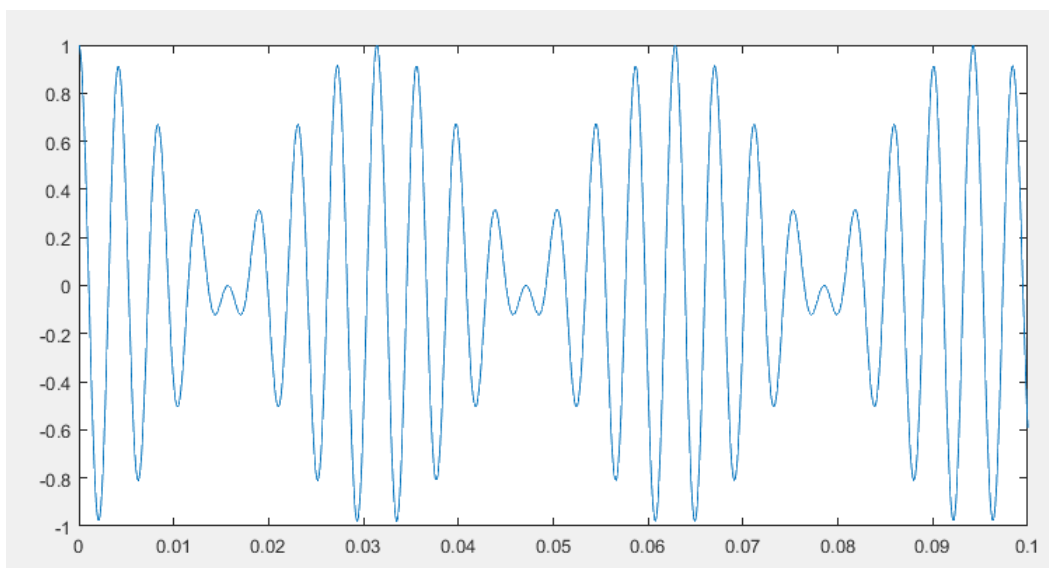


Рис. 4.3.1. Сигнал с подавлением несущей

#### 4.4. Однополосная амплитудная модуляция

Также можно избавиться от правой боковой полосы спектра с помощью ФНЧ.

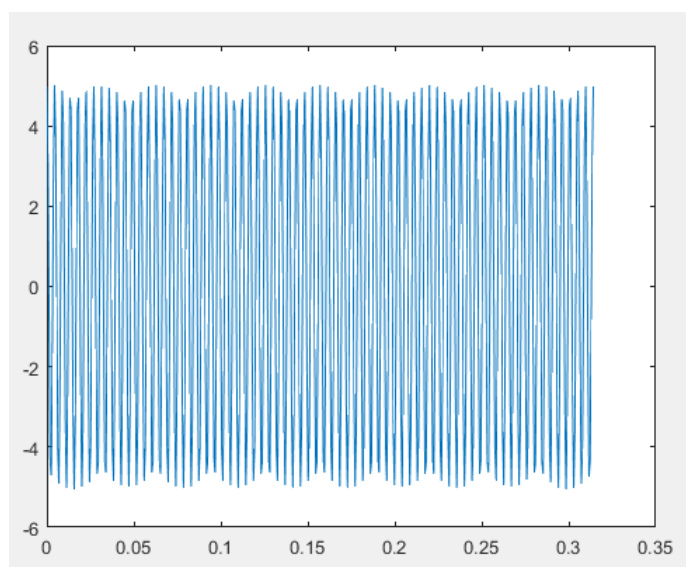


Рис. 4.4.1. Сигнал с АМ-ОП

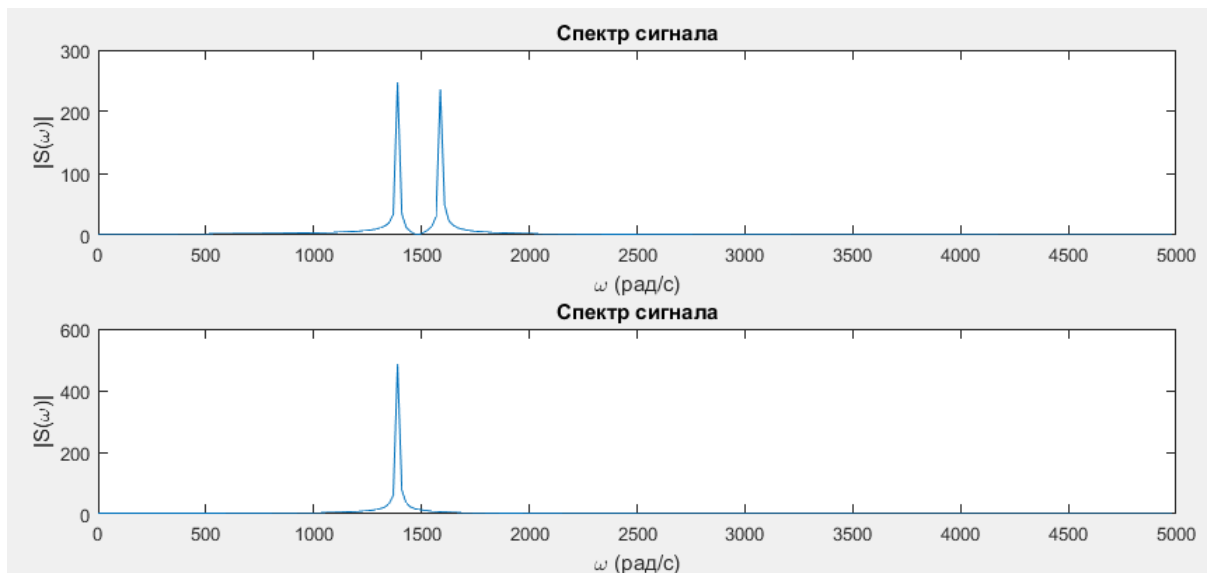


Рис. 4.4.2. Спектры сигнала с АМ-ПН и АМ-ОП

#### 4.5. Демодуляция с помощью синхронного детектирования

Произведем демодуляцию модулированных сигналов с разными коэффициентами модуляции.

Пусть  $M = 0.2$ .

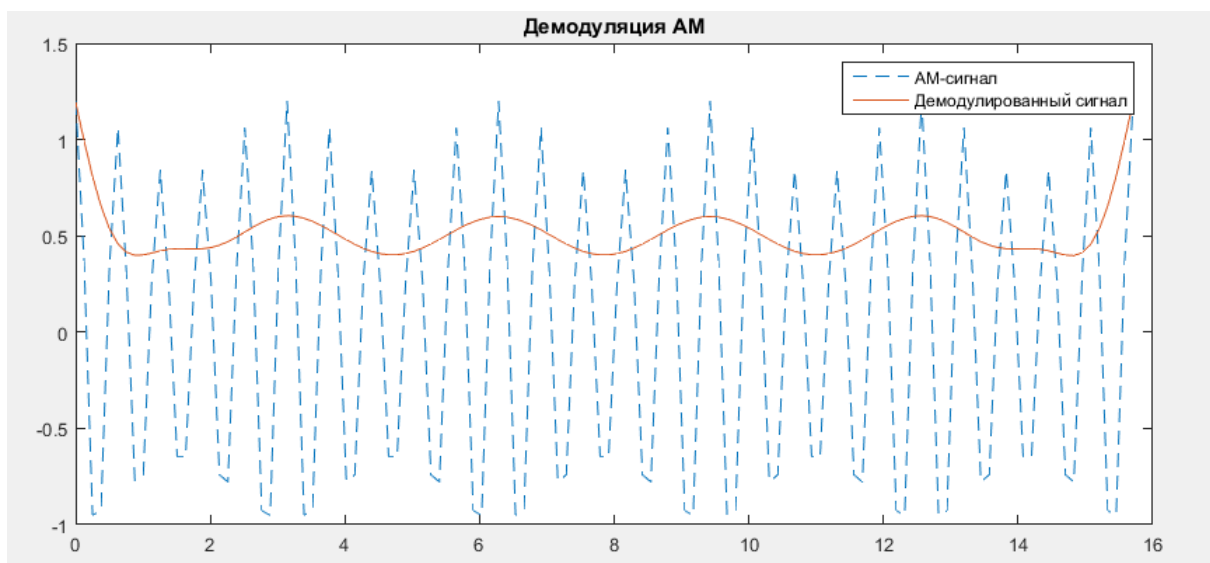


Рис. 4.5.1. Демодулированный сигнал ( $M = 0.2$ )

Пусть  $M = 1$ .

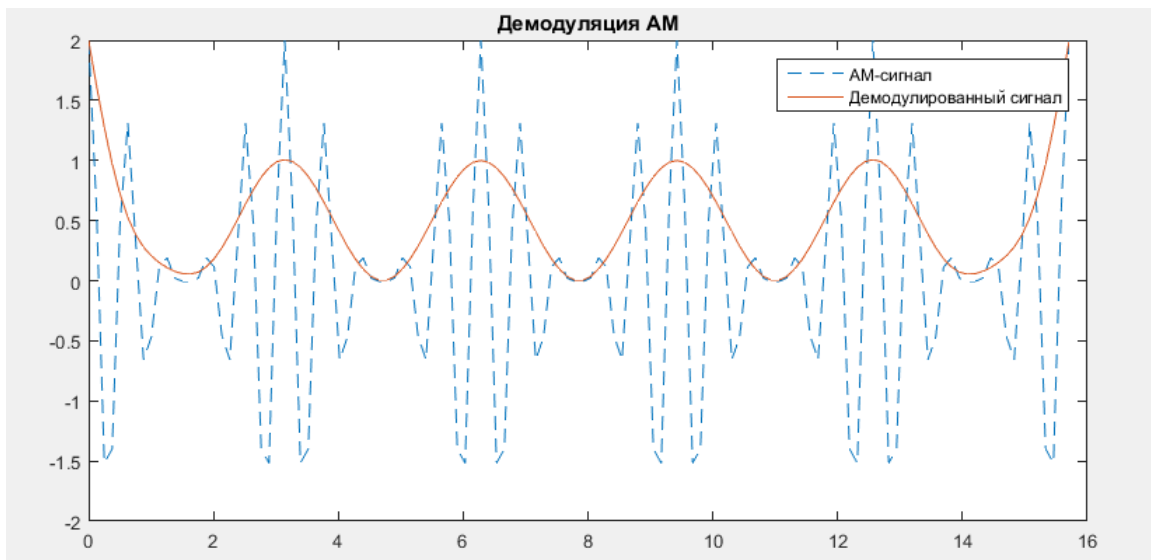


Рис. 4.5.2. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 1$ )

Пусть  $M = 2$ .

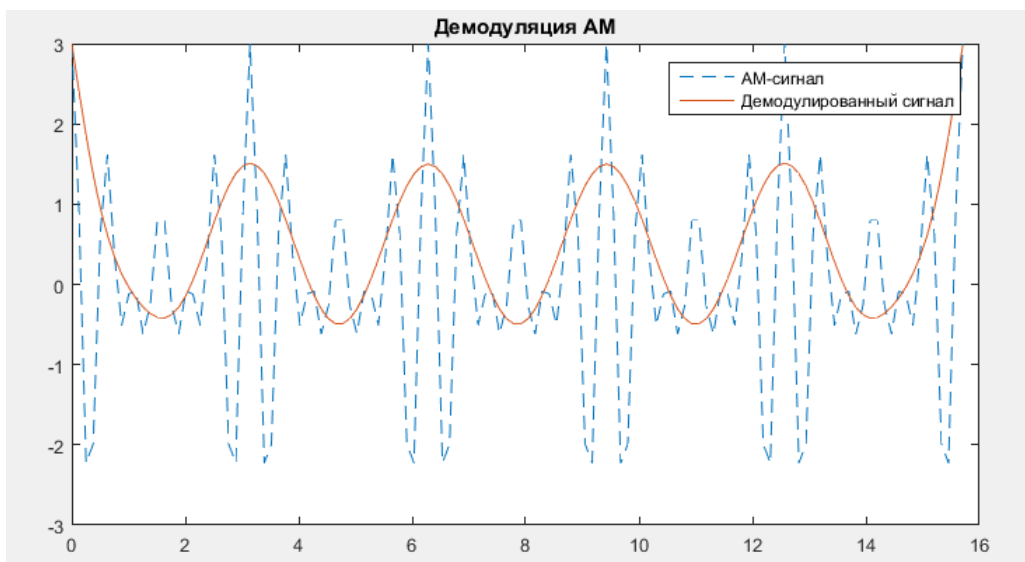


Рис. 4.5.3. Амплитудно-модулированный сигнал ( $M = 2$ )

Чем больше коэффициент модуляции тем меньше искажение сигнала.  
Ниже приведен спектр демодулированного сигнала при  $M = 2$ .

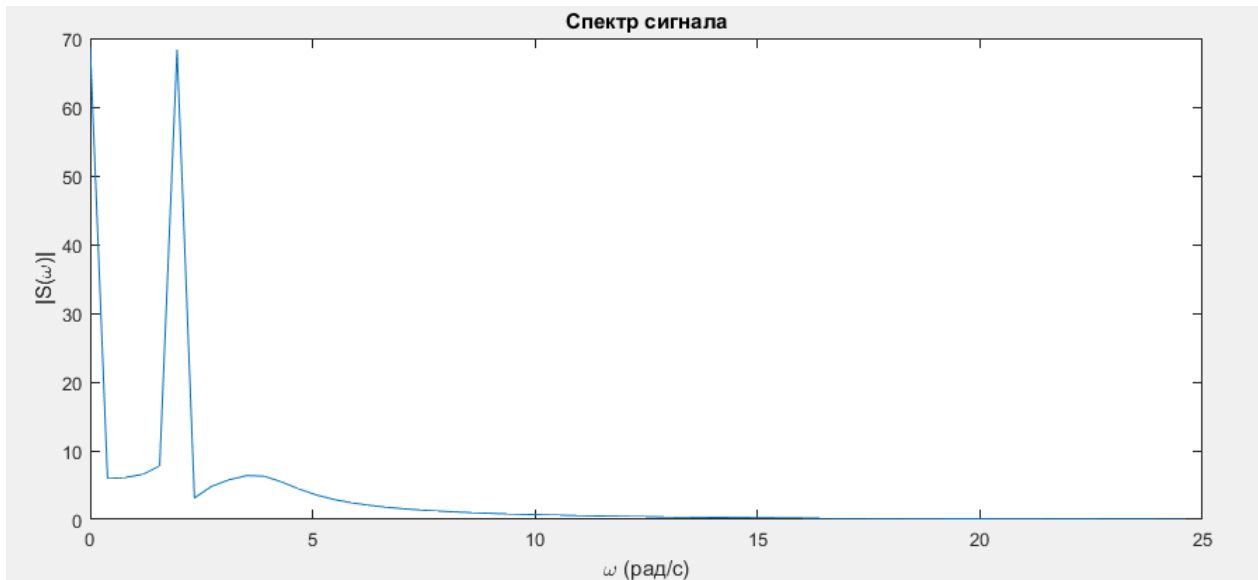


Рис. 4.5.4. Спектр демодулированного сигнала ( $M = 2$ )

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:

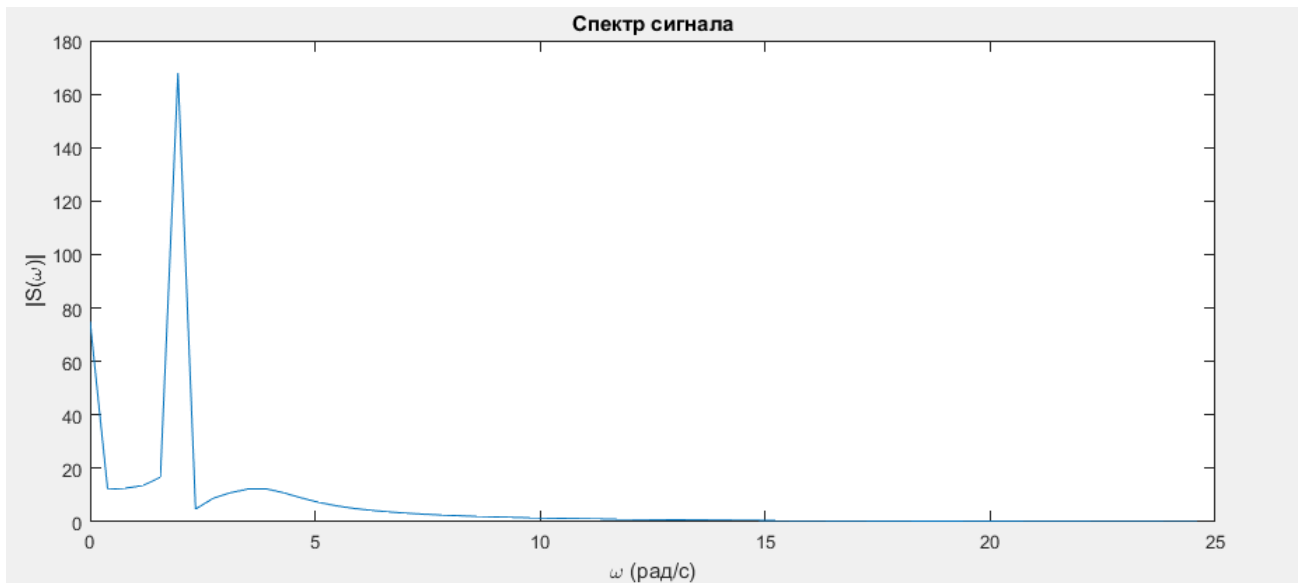


Рис. 4.5.5. Спектр демодулированного сигнала ( $M = 5$ )

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

## 4.6. КПД модуляции

Вычислим КПД для разных коэффициентов модуляции и построим эту зависимость.

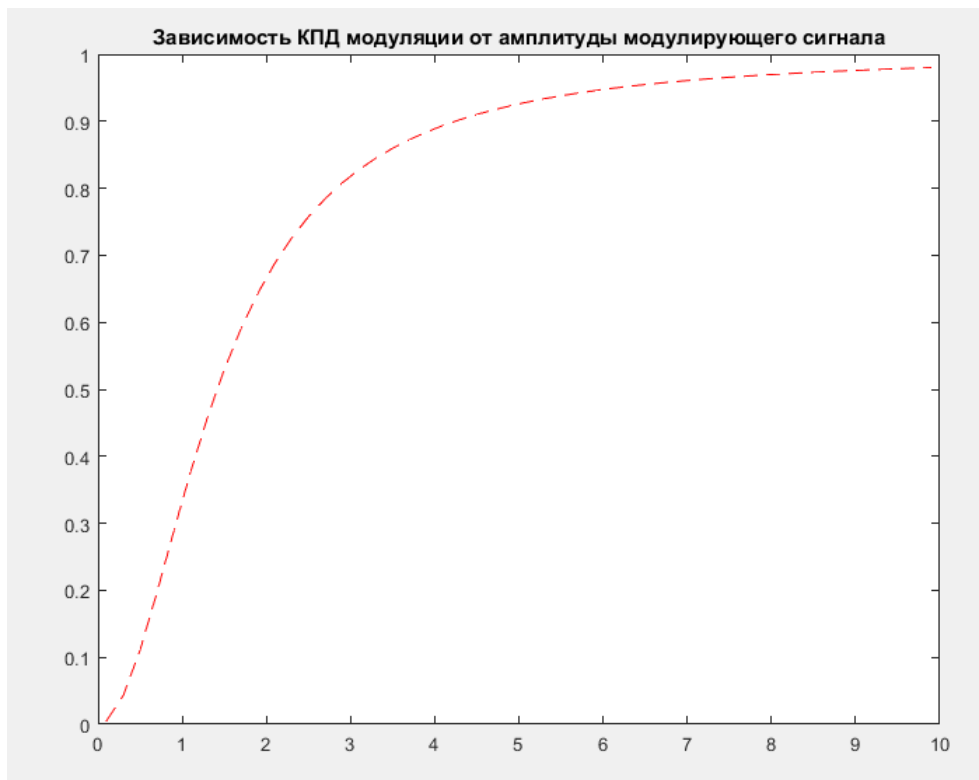


Рис. 4.6.1. Зависимость КПД модуляции от амплитуды модулирующего сигнала

## 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. 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.