

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:**  
Вашуров А., гр 33501.4  
**Преподаватель:**  
Богач Н.В.

Санкт-Петербург  
2017

## Оглавление

Цель работы.....	3
Постановка задачи .....	3
Теоретический раздел.....	3
Ход работы .....	6
Выводы .....	16
Приложение .....	17

## 1. Цель работы

Изучение амплитудной модуляции/демодуляции сигнала.

## 2. Постановка задачи

- 1) Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты.
- 2) Выполнить амплитудную модуляцию (AM) сигнала по закону

$$u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cdot \cos(\omega_0 t + \phi_0)$$

для различных значений глубины модуляции  $M$ . Использовать встроенную функцию MatLab `ammod` <sup>1</sup>

- 3) Получить спектр модулированного сигнала.
- 4) Выполнить модуляцию с подавлением несущей

$$u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0). \text{ Получить спектр.}$$

- 5) Выполнить однополосную модуляцию:

$$u(t) = U_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) + (U_m/2) \sum_{n=1}^N M_n (\cos(\omega_0 + \Omega_n)t + \phi_0 + \phi_n) \quad \text{положив } n=1$$

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

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

## 3. Теоретический раздел

### 3.1. Модуляция

Модуляция — это перенос спектра сигналов из низкочастотной области на заданную частоту. Она применяется для передачи сигнала в заданном частотном диапазоне. Для модулирующего (исходного) сигнала  $S(t)$  в канале связи для передачи формируется вспомогательный периодический высокочастотный сигнал  $u(t) = f(t, [a_1, a_2, \dots, a_m])$ . Параметры  $a_i$  определяют форму сигнала. При модуляции исходный сигнал  $S(t)$  переносят на один из параметров  $a_i$ , форма сигнала  $u(t)$  (несущей) изменяется и служит для переноса информации, содержащейся в сигнале  $S(t)$ . Обратная операция

выделения сигнала  $S(t)$  из модулированного сигнала  $u(t)$  называется демодуляция.

### 3.2. Однотональный сигнал

Для генерации гармонического сигнала можно воспользоваться формулой

$$\text{signal} = A \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \phi),$$

где  $A$  — амплитуда сигнала,  $f$  — частота,  $t$  — вектор отсчетов времени,  $\phi$  — смещение по фазе.

### 3.3. Типы модуляции

*Амплитудная модуляция*

Формула амплитудной модуляции имеет вид

$$u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0) \quad (1)$$

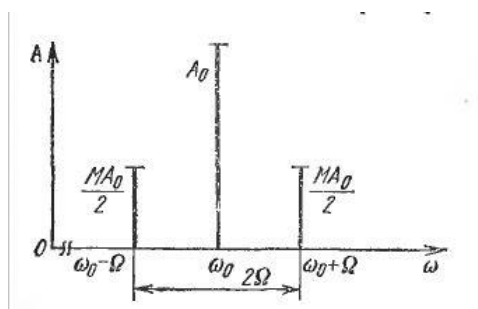


Рисунок 3.3.1. Спектр сигнала с амплитудной модуляцией

На графике  $\omega_0$  — частота несущей,  $\Omega$  — частота модуляции.

Амплитудная модуляция имеет низкий КПД, ввиду чего применяется редко.

*Амплитудная модуляция с подавлением несущей*

Основная мощность амплитудно-модулированного сигнала приходится на несущую частоту. При амплитудной модуляции с подавлением несущей производится перемножение двух сигналов — модулирующего и несущего. В результате несущая частота подавляется. Формула такой модуляции:

$$u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) \quad (2)$$

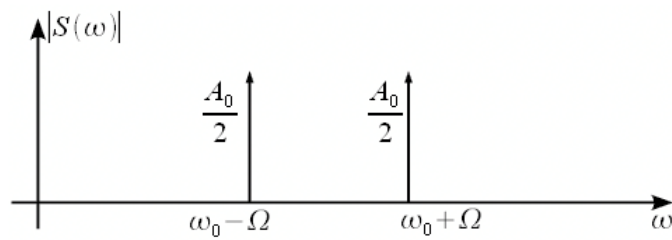


Рисунок 3.3.2. Спектр амплитудно-модулированного сигнала с подавлением несущей.

На графике  $\omega_0$  — частота несущей,  $\Omega$  — частота модуляции. Как видно из рисунка, в спектре отсутствует несущая частота.

### Однополосная модуляция

При идентичности информации в группах верхних и нижних боковых частот нет необходимости в их одновременной передаче. Можно удалить одну из боковых частот и получить сигнал с одной боковой полосой (ОБП). Функция сигнала с ОБП имеет вид:

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

Форма ОБП сигнала похожа на форму сигнала с АМ, но ее огибающая имеет меньшую амплитуду. 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.

—

n=1



Рисунок 3.3.3. Спектр однополосно-модулированного сигнала

### 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  $2\omega_0$ .

Амплитудный спектр сигналов после демодуляции 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.

### 3.5. КПД модуляции

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

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

## 4. Ход работы

Листинги программ представлены ниже в Приложении.

### 4.1 Генерация однотонового сигнала

С помощью формулы  $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \phi)$  получим гармонический сигнал

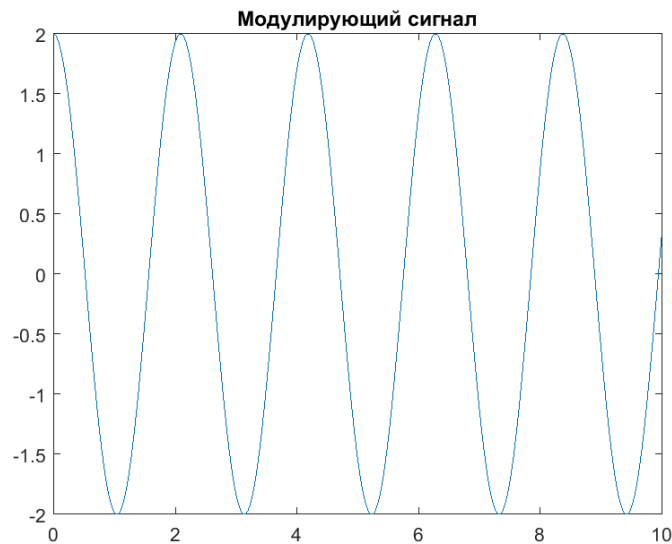


Рисунок 4.1.1. Однотональный гармонический сигнал

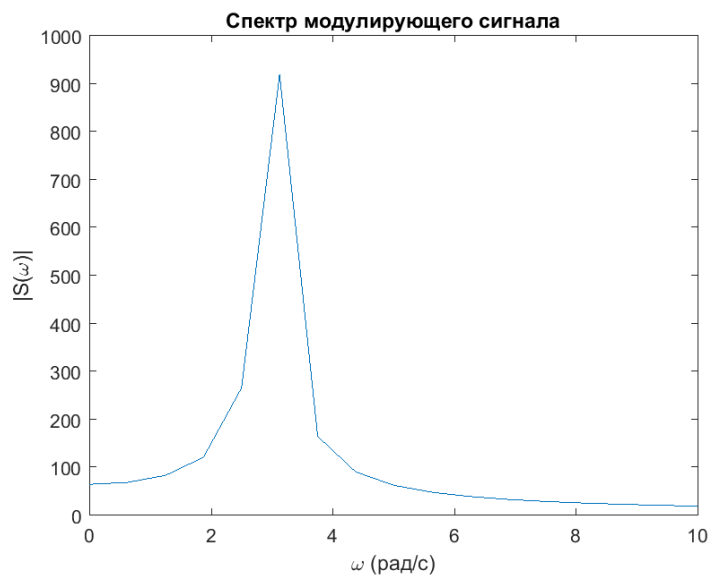


Рисунок 4.1.2. Спектр однотонального гармонического сигнала

## 4.2 Амплитудная модуляция

Для сгенерированного однотонального сигнала получим амплитудную модуляцию с различными коэффициентами модуляции  $M$  (соотношением амплитуды модулирующего сигнала и амплитуды несущей). Так же для каждого модулированного сигнала построим спектр. Кроме гармоника информационного сигнала в спектре видно две гармоники несущего сигнала по бокам.

### 1. Коэффициент $M = 0.2$

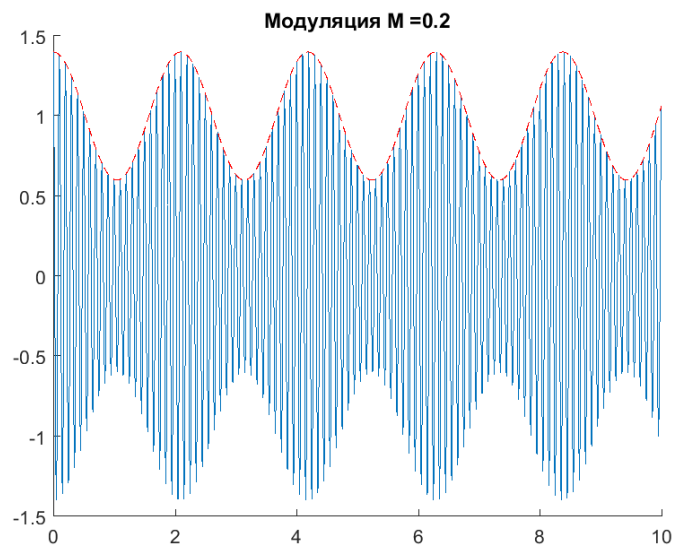


Рисунок 4.2.1. Амплитудно-модулированный сигнал

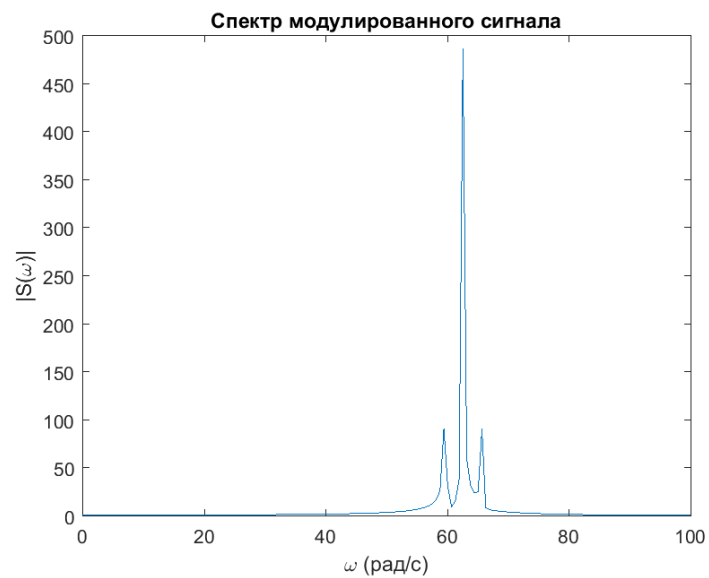


Рисунок 4.2.2. Спектр амплитудно-модулированного сигнала

2. Коэффициент  $M = 1.0$

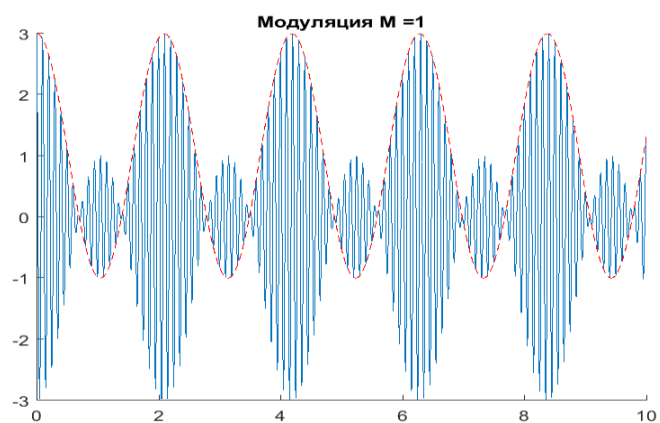


Рисунок 4.2.3. Амплитудно-модулированный сигнал



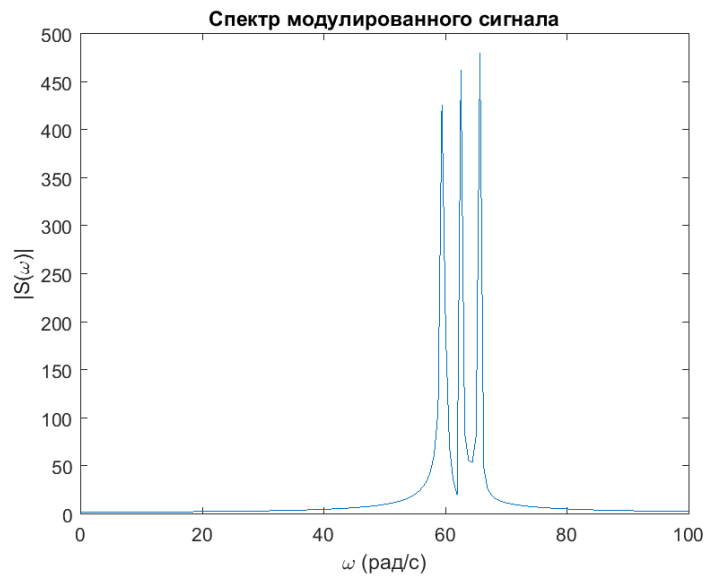


Рисунок 4.2.4. Спектр амплитудно-модулированного сигнала

3. Коэффициент  $M = 5.0$

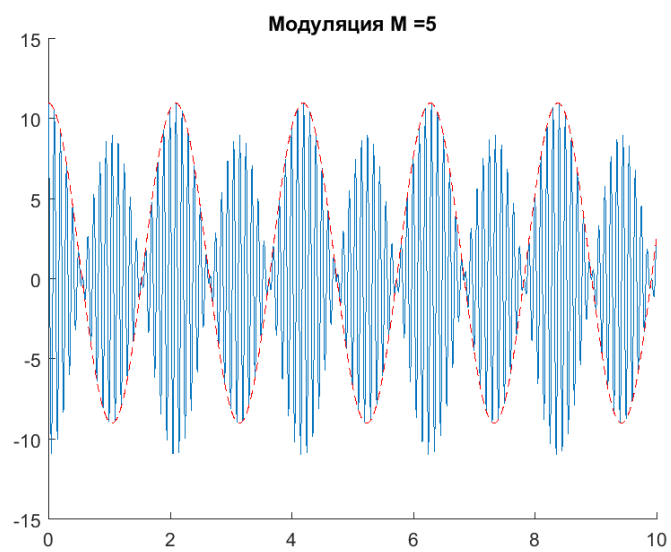


Рисунок 4.2.5. Амплитудно-модулированный сигнал

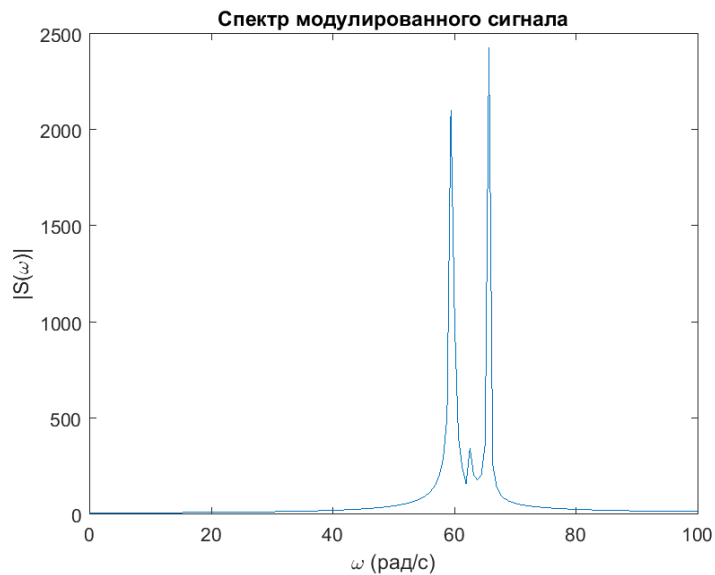


Рисунок 4.2.6. Спектр амплитудно-модулированного сигнала

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 с подавлением несущей и его спектр представлены на рисунках ниже

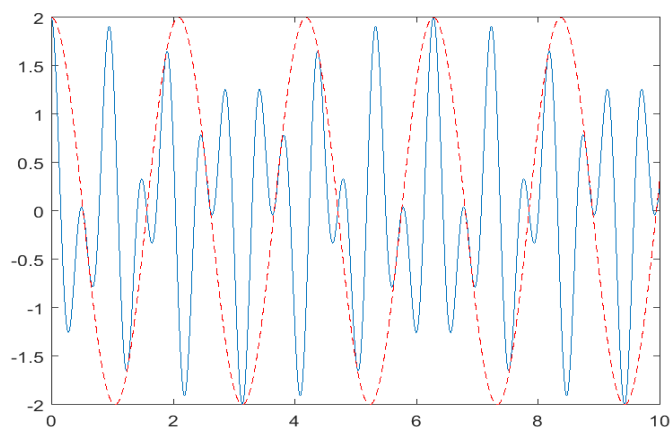


Рисунок 4.3.1. Амплитудно-модулированный сигнал с подавлением несущей

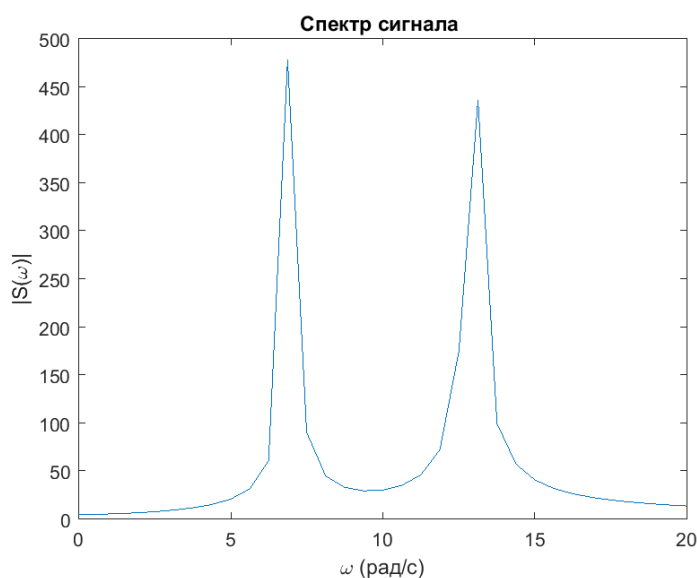


Рисунок 4.3.2. Спектр амплитудно-модулированного сигнала с подавлением несущей

Подавление несущей приводит к тому, что основная мощность сигнала (приходящаяся на несущую гармонику) фильтруется. Демодулировать такой сигнал невозможно, поэтому применяют частичную фильтрацию, то есть сохранение амплитуды несущей гармоники ненулевой, но более низкой, чем у информационной составляющей.

#### 4.4. Однополосная амплитудная модуляция

Помимо подавления несущей, можно избавиться от лишней (дублирующейся) боковой полосы спектра с помощью фильтра низких частот. Модулированный сигнал и его спектр представлены на рисунках ниже

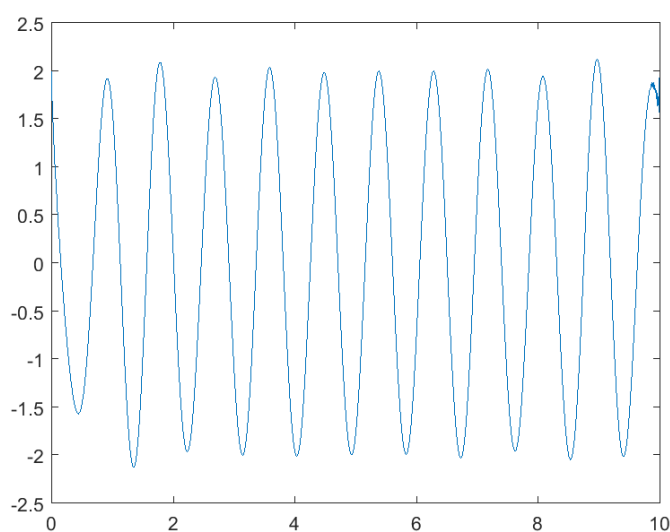


Рисунок 4.4.1. Однополосно-модулированный сигнал

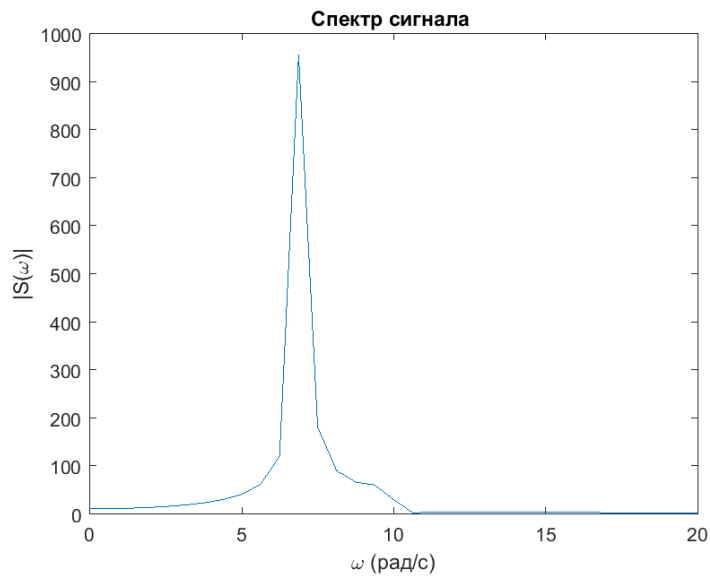


Рисунок 4.4.2. Спектр однополосно-модулированного сигнала

Спектр содержит одну полосу, что соответствует однополосной амплитудной модуляции.

#### 4.5. Демодуляция с помощью синхронного детектирования

Произведем демодуляцию сигналов с разными коэффициентами модуляции.

##### 1. Коэффициент $M = 0.2$

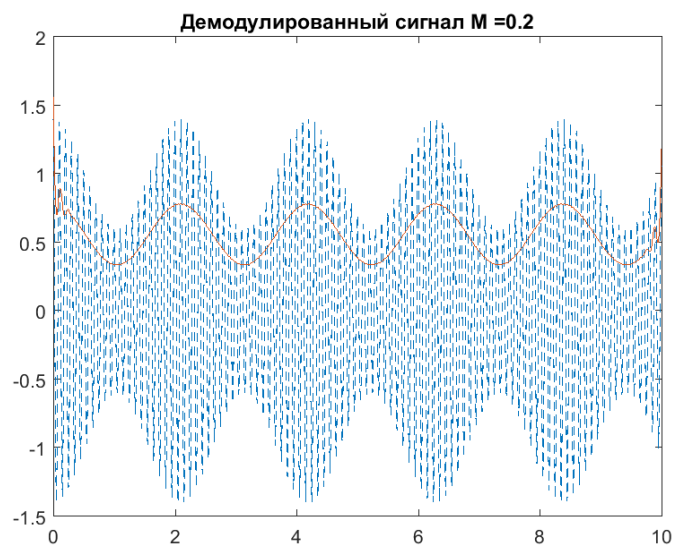


Рисунок 4.5.1. Демодулированный сигнал

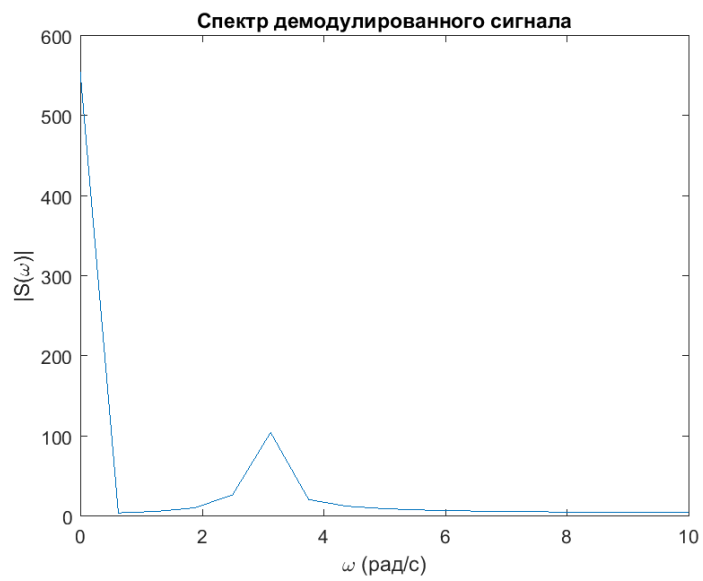


Рисунок 4.5.2. Спектр демодулированного сигнала

2. Коэффициент  $M = 1.0$

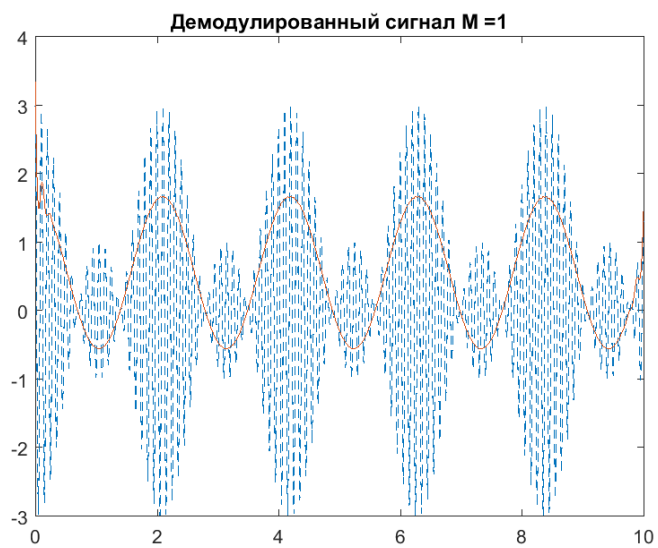


Рисунок 4.5.3. Демодулированный сигнал

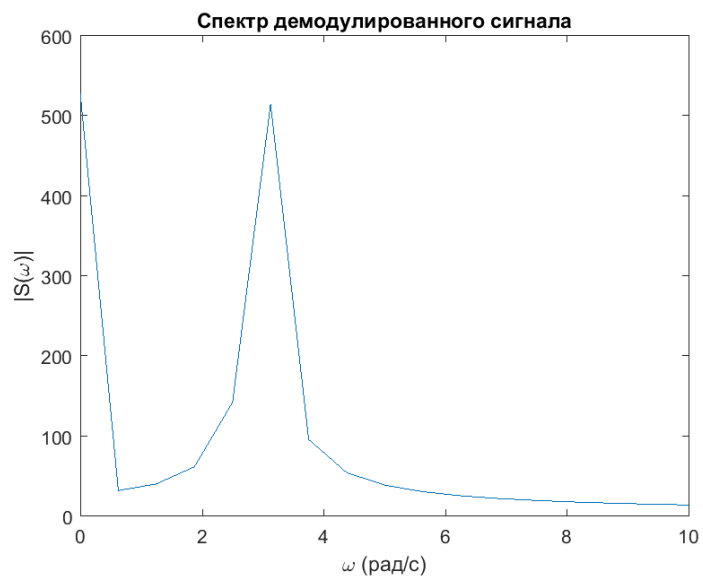


Рисунок 4.5.4. Спектр демодулированного сигнала

3. Коэффициент  $M = 5.0$

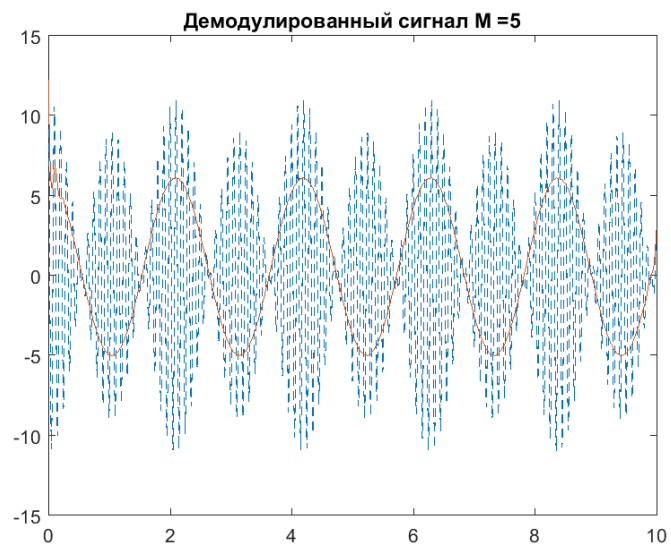


Рисунок 4.5.5. Демодулированный сигнал

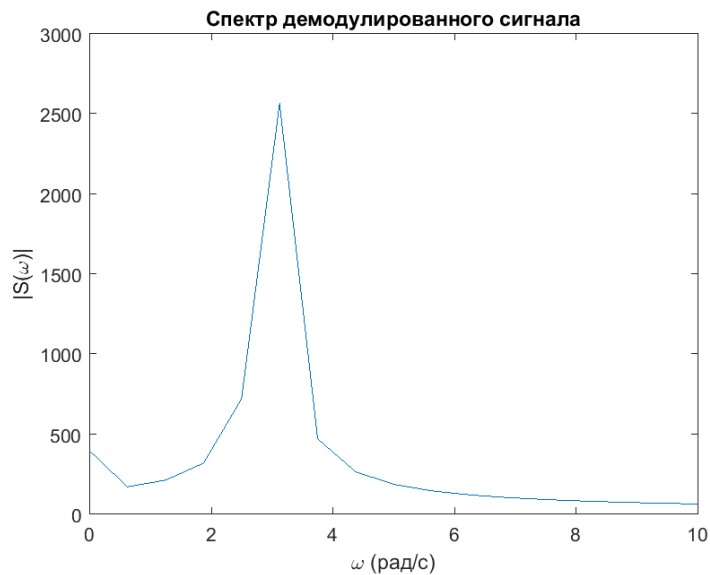


Рисунок 4.5.6. Спектр демодулированного сигнала

Судя по рисункам, нелинейные искажения сигнала при демодуляции тем незначительнее, чем больше коэффициент модуляции. В спектре демодулированного сигнала видны искажения в области низких частот, но с увеличением коэффициента модуляции они уменьшаются.

#### 4.6. КПД модуляции

На рисунке ниже приведена зависимость КПД модуляции от амплитуды модулирующего сигнала (т.е. от коэффициента модуляции).

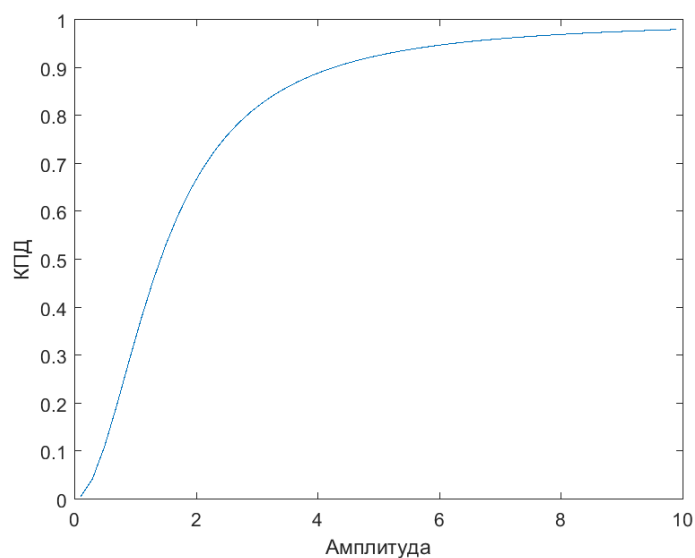


Рисунок 4.6.1. Зависимость КПД от амплитуды

## **5. Выводы**

В ходе работы были исследованы виды аналоговой модуляции: амплитудная, однополосная, с подавлением несущей. Для всех типов сигналов были построены спектры, вид которых совпал с ожидаемым для каждого вида модуляции.

Также был рассмотрен способ демодуляции с помощью синхронного детектирования и исследована зависимость КПД модуляции от коэффициента модуляции.

Классическая амплитудная модуляция является неэффективной, т.к. основная спектральная составляющая – несущая, не несет полезной информации и большая часть мощности передатчика при амплитудной модуляции расходуется зря.



## 6. Приложение

---

```
function lab_tele4()
close all
clc

A = 2;
OMEGA = 3; % Fs
omega_0 = 10; % Fc
Fd = 100;
t = 0:1/Fd:10;

sig_mod = A * cos(OMEGA * t);

signal_one_tone = figure();
plot(t, sig_mod);
ylim([-2 2]);
title('Модулирующий сигнал');

signal_one_tone_spec = figure();
specplot(sig_mod, Fd);
xlim([0 10]);
ylim([0 1000]);
title('Спектр модулирующего сигнала');

am_figures = [];
A0 = 1;
phi0 = 0;

d = designfilt('lowpassfir', ...
    'PassbandFrequency',0.15,'StopbandFrequency',0.2, ...
    'PassbandRipple',1,'StopbandAttenuation',20, ...
    'DesignMethod','equiripple');

function [demod_f, demod_s_f] = demodulate(s_AM, m_name)
    y = s_AM .* cos(2*pi*omega_0 * t);
    z = filtfilt(d, y);

    demod_f = figure();
    plot(t, s_AM, '--', t, z);
    title(strcat('Демодулированный сигнал ', m_name))
    demod_s_f = figure();
    specplot(z, Fd);
    xlim([0 10]);
    title('Спектр демодулированного сигнала')
end

function [sAM, mod_f, mod_s_f] = modulate(signal, am,m_name)
    sm = am .* signal;
```

```

sAM = ammod(sm, omega_0, Fd, phi0, A0);
mod_f = figure();
hold on
plot(t, sAM);
plot(t, A0+sm, '--', 'Color', 'red');
hold off
title(strcat('Модуляция ',m_name))

mod_s_f = figure();
specplot(sAM, Fd);
xlim([0 100]);
title('Спектр модулированного сигнала')
end
for am = [0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0]
    m_name = strcat(' M = ', num2str(am));
    f_name = strcat('_m_',num2str(am));
    f_name = strrep(f_name, '.', '_');
    [s_AM, mod_f, mod_s_f] = modulate(sig_mod,am,m_name);
    [demod, demod_s] = demodulate(s_AM, m_name);

    am_figures = [am_figures; {am, f_name, mod_f,mod_s_f,demod, demod_s}];
end

Am = 0.1:0.2:10;
M = Am./A0;
kpd = M.^2./(M.^2.+2);
kpd_f = figure();
plot(Am, kpd);
xlabel('Амплитуда');
ylabel('КПД')

omega_0 = omega_0/(2*pi);
s_AM_SC = ammod(sig_mod, omega_0, Fd);
s_am_f = figure();
plot(t, s_AM_SC,t,sig_mod,'--r');
s_am_s_f = figure();
specplot(s_AM_SC, Fd)
xlim([0 20]);

s_AM_SSB = ssbmod(sig_mod, omega_0, Fd);
s_am_ssb_f = figure();
plot(t, s_AM_SSB);
s_am_ssb_s_f = figure();
specplot(s_AM_SSB, Fd)
xlim([0 20]);

path = '../fig/';

```

```

function filesave(name,fig)
    full_path = strcat(path,name);
    saveas(fig, full_path,'png')
end

filesave('signal_one_tone',signal_one_tone);
filesave('signal_one_tone_spec',signal_one_tone_spec);

for itm = am_figures'
    name = itm(2);
    names = [
        strcat('mod_sig',name) ;
        strcat('mod_sig_spec',name);
        strcat('demod_sig',name);
        strcat('demod_sig_spec',name)];

    for i = 1:4
        fig = itm(i+2);
        fig = fig{1};
        fname = names(i);
        fname = fname{1};
        filesave(fname, fig)
    end
end
end

```