

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

Телекоммуникационные технологии

Отчет по лабораторной работе №4-5

Аналоговая модуляция. Частотная и фазовая модуляция.

Работу

выполнил:

Шустенков О.А.

Группа: 33501/1

Преподаватель:

Богач Н.В.

Санкт-Петербург
2018

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	3
3.3.1. Амплитудная модуляция	3
3.3.2. Амплитудная модуляция с подавлением несущей	3
3.3.3. Однополосная модуляция	3
3.3.4. Демодуляция с помощью синхронного детектирования	3
3.3.5. КПД модуляции	3
3.3.6. Фазовая модуляция	4
3.3.7. Частотная модуляция	4
4. Ход работы	4
4.1. Генерация однотонового сигнала	6
4.2. Амплитудная модуляция	6
4.3. Амплитудная модуляция с подавлением несущей	9
4.4. Однополосная амплитудная модуляция	10
4.5. Спектры АМ-ПН и АМ-ОП	11
4.6. Демодуляция с помощью синхронного детектирования	11
4.7. КПД модуляции	13
4.8. Частотная модуляция	14
4.9. Фазовая модуляция	15
4.10. Демодуляция частотной модуляции и фазовой модуляции	16
5. Выводы	18

1. Цель работы

- Изучение амплитудной модуляции/демодуляции сигнала.
- Изучение частотной и фазовой модуляции/демодуляции сигнала.

2. Постановка задачи

- Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты.
- Выполнить амплитудную модуляцию сигнала по закону для различных значений глубины модуляции M .
- Выполнить модуляцию с подавлением несущей.
- Выполнить одностороннюю модуляцию, синхронное детектирование.
- Рассчитать КПД модуляции.
- Выполнить фазовую модуляцию/демодуляцию по закону.
- Выполнить частотную модуляцию/демодуляцию по закону.

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:

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

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:

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

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.

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:

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

3.3.6. Фазовая модуляция

При фазовой модуляции (phase modulation – РМ) значение фазового угла постоянной несущей частоты колебаний ω_0 пропорционально амплитуде модулирующего сигнала $s(t)$. Соответственно, уравнение ФМ–сигнала определяется выражением:

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t + k s(t)) \quad (6)$$

3.3.7. Частотная модуляция

Частотная модуляция - вид аналоговой модуляции, при котором информационный сигнал управляет частотой несущего колебания. По сравнению с амплитудной модуляцией здесь амплитуда остаётся постоянной. Частотная модуляция выполняется по закону:

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t + k \int_0^t s(t) dt) \quad (7)$$

4. Ход работы

Код программы представлен ниже (Листинг 1):

Листинг 1: Код в МатЛаб

```
1 fc = 10;
2 Ws = 1000;
3 Fs = Ws/(2*pi);
4 T = 1/Fs;
5 t = [0:T:5*2*pi/fc];
6 x = cos(fc*t);
7 %signal
8 figure
9 plot(t, x);
10 ylim([-1 1]);
11 %spectrum of the modulated signal
12 figure
13 specplot(x, Fs);
14 xlim([0 20]);
15 ylim([0 5000]);
16 %Amplitude modulation
17 M=1;
18 omegM = 150;
19 phase = 0;
20 AMmod = ammod(x, fc, omegM, phase, M);
21 figure
22 hold on
23 plot(t, AMmod);
24 plot(t, M*x, '—', 'Color', 'red'); % signal+M
25 hold off
26 %spectrum
27 figure
28 specplot(AMmod, Fs);
29 y = mod .* cos(omegM*t);
30 [b, a] = butter(5, 2*fc/pi/Fs);
31 z = filtfilt(b, a, y);
32 figure
33 plot(t, AMmod, '—', t, z);
34 figure
35 specplot(z, Fs);
```

```

36 %KPD
37 x = [0.1:0.2:10];
38 Am = x;
39 M1 = Am./M1;
40 kpd = M1.^2./(M1.^2.+2);
41 figure
42 plot(x, kpd);
43 %Single sideband amplitude modulation
44 mod_SSB = ssbmod(x, Fc, Fs);
45 figure
46 plot(t, mod_SSB);
47 %spectrum AM-PN AM-OP
48 figure
49 subplot(2, 1, 1);
50 specplot(mod_SC, Fs)
51 subplot(2, 1, 2);
52 specplot(mod_SSB, Fs)
53 %—Frequency mod
54 %Frequency modulation
55 A0=1;
56 fc0 = 100;
57 freqdev = 10;
58 s_AM = fmmmod(s_M, fc, fc0, freqdev);
59 figure
60 hold on
61 plot(t, s_AM);
62 plot(t, s_M, '—', 'Color', 'red');
63 hold off
64 %spectrum
65 figure
66 specplot(s_AM, Fs);
67 xlim([0 250]);
68 %Frequency demodulation
69 f = fmdemod(s_AM, fc, fc0, freqdev);
70 figure
71 plot(t, f);
72 %spectrum
73 figure
74 specplot(f, fc0);
75 xlim([0 400]);
76 %—Phase mode
77 %Phase modulation
78 Fc = 1.5e3;
79 s_PM = pmmmod(x, Fc, Fs, 0.1);
80 figure;
81 plot(t(1:200), s_PM);
82 ylim([-1.1 1.1]);
83 %spectrum
84 N = floor(length(t)/2);
85 f = (0:N)/length(t) * Fs;
86 spec_PM = fft(s_PM);
87 figure
88 plot(f, abs(spec_PM))
89 %Phase demodulation
90 f = pmdemod(s_PM_2, Fc, Fs, 10);
91 figure
92 plot(t, f);

```

4.1. Генерация однотонового сигнала

По средствам *MatLab* был создан гармонический сигнал. Сгенерированный сигнал на Рис. 4.1.1:

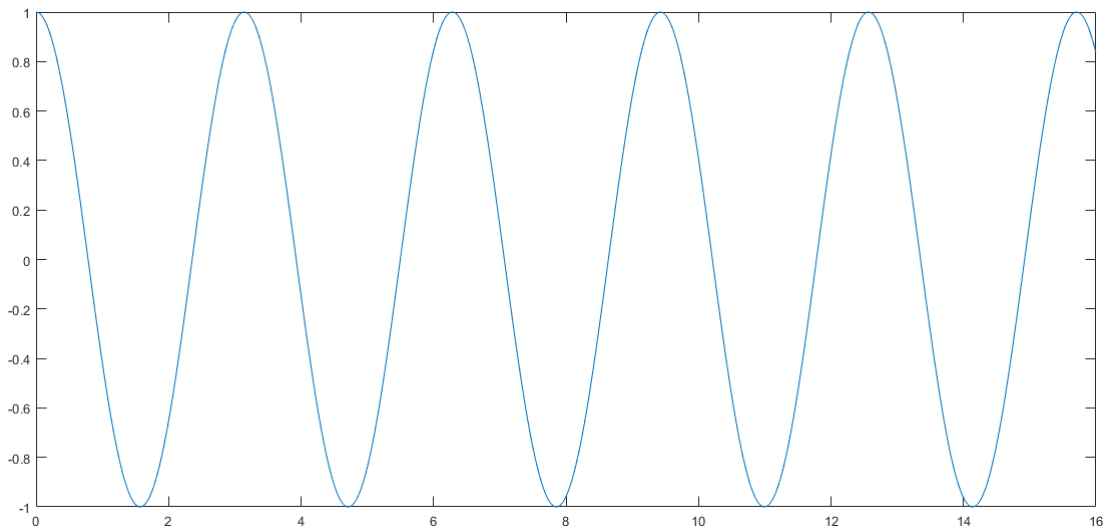


Рис. 4.1.1. Гармонический сигнал $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

Спектр однотонового сигнала:

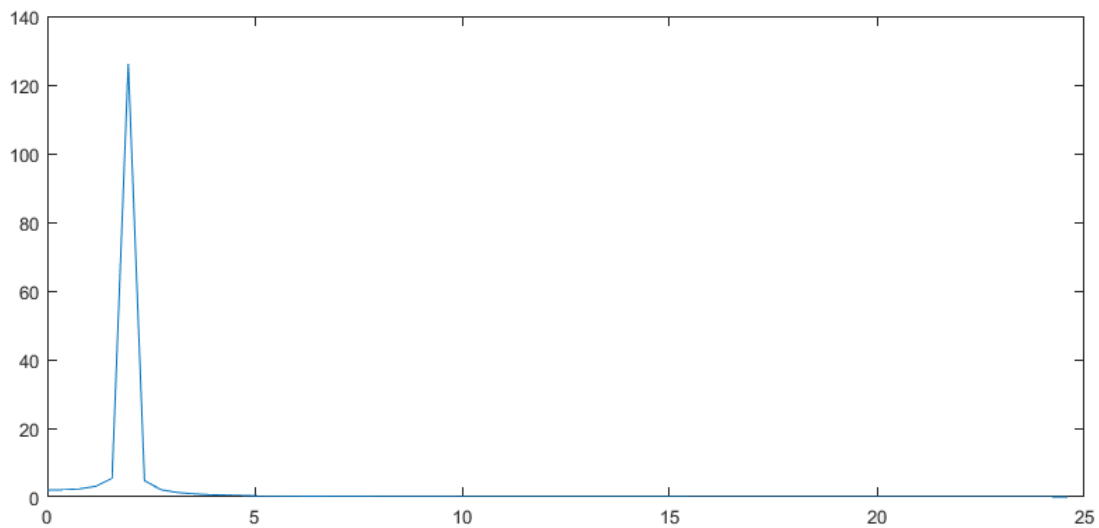


Рис. 4.1.2. Спектр гармонического сигнала $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

4.2. Амплитудная модуляция

Однотоновый сигнал был использован для амплитудной модуляции (Соотношении амплитуд инф./несущ. = 0.5). Сигнал после модуляции и его спектр на Рис. 4.2.1 и 4.2.2:

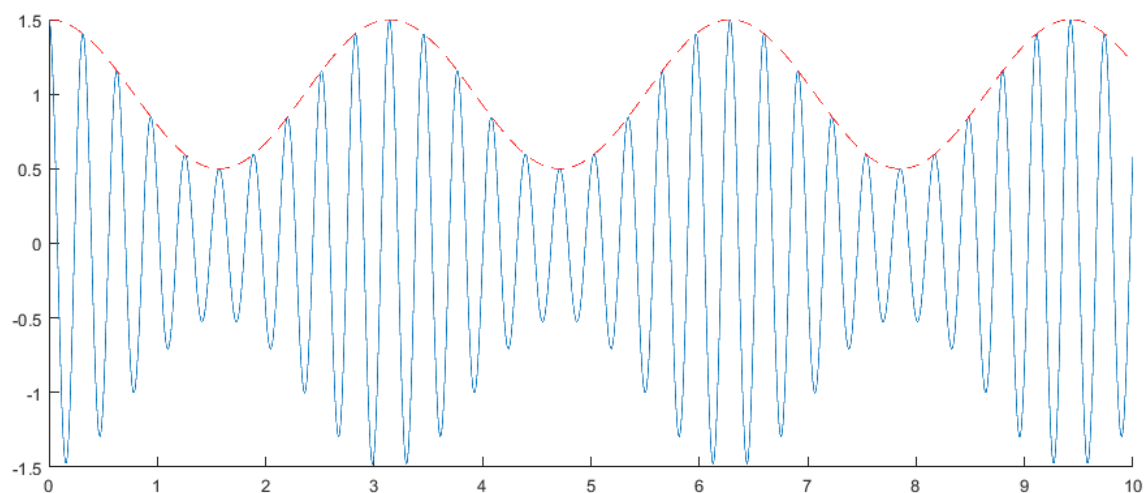


Рис. 4.2.1. АМ сигнал ($M = 0.5$)

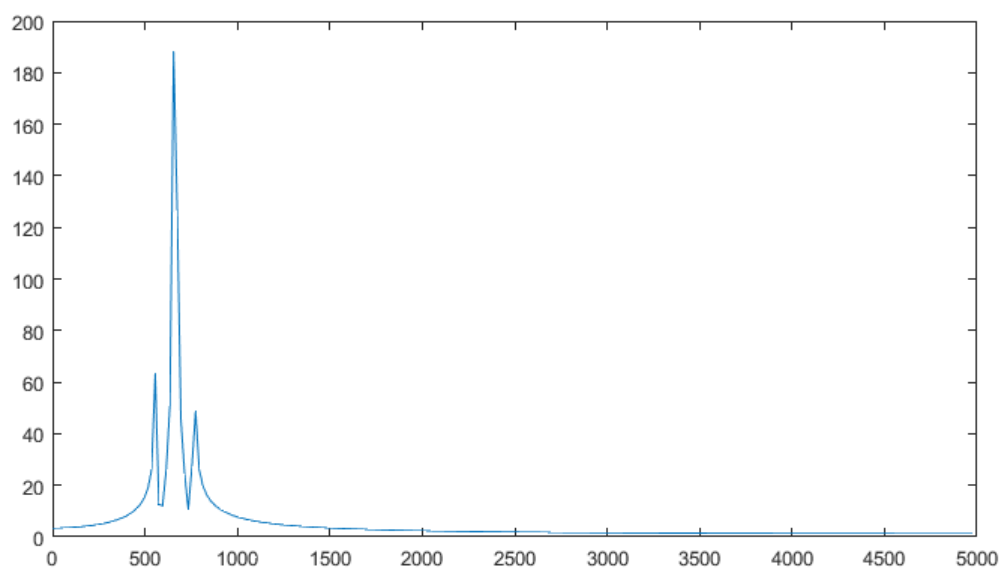


Рис. 4.2.2. Спектр АМ сигнала ($M = 0.5$)

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

Изменяя амплитуду модулирующего (информационного) сигнала наблюдаем изменения сигнала с модуляцией (коэффициента M).

Изменим M на 2.

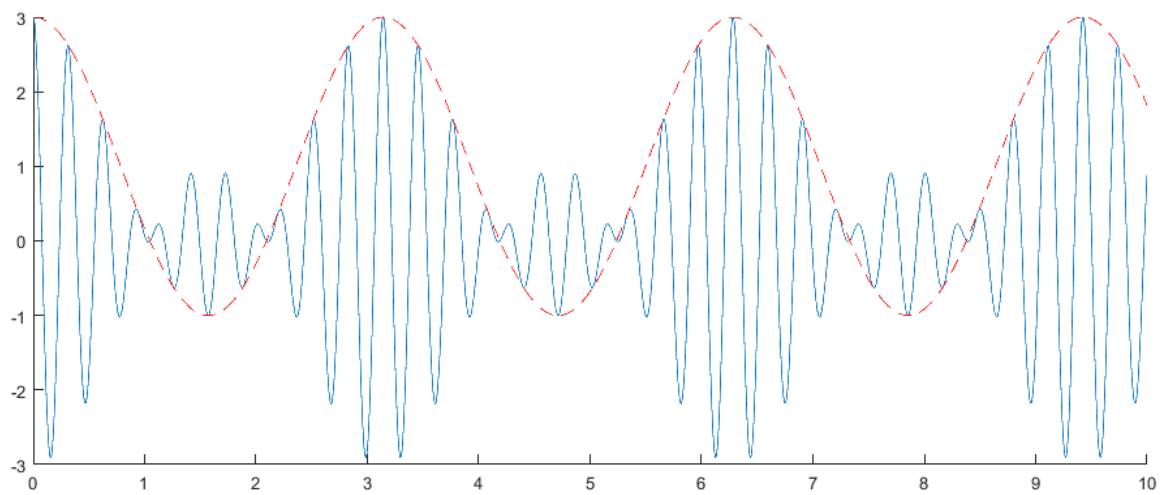


Рис. 4.2.3. АМ сигнал ($M = 2$)

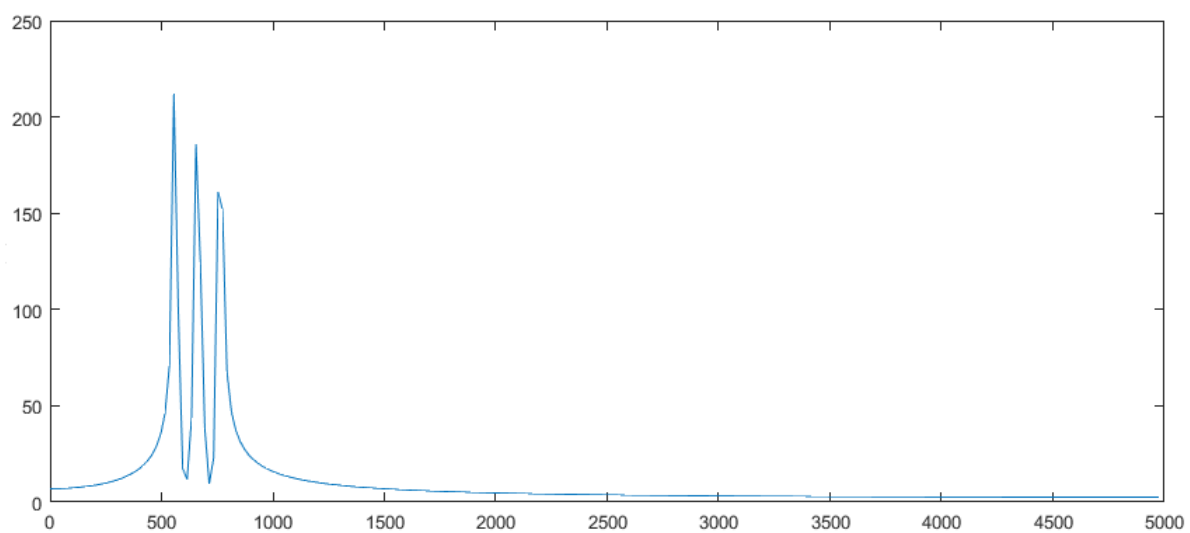


Рис. 4.2.4. Спектр АМ сигнала ($M = 2$)

Изменим M на 5.

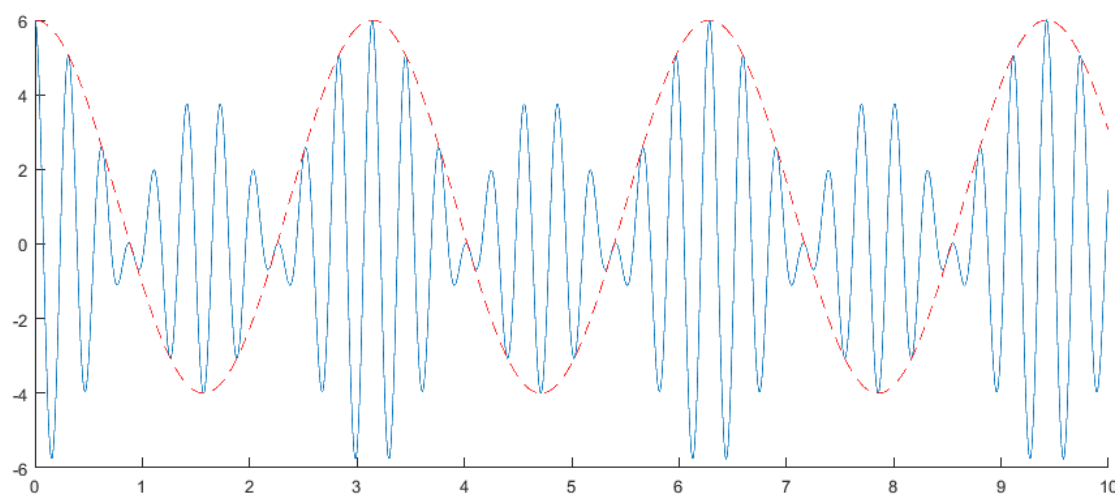


Рис. 4.2.5. АМ сигнал ($M = 5$)

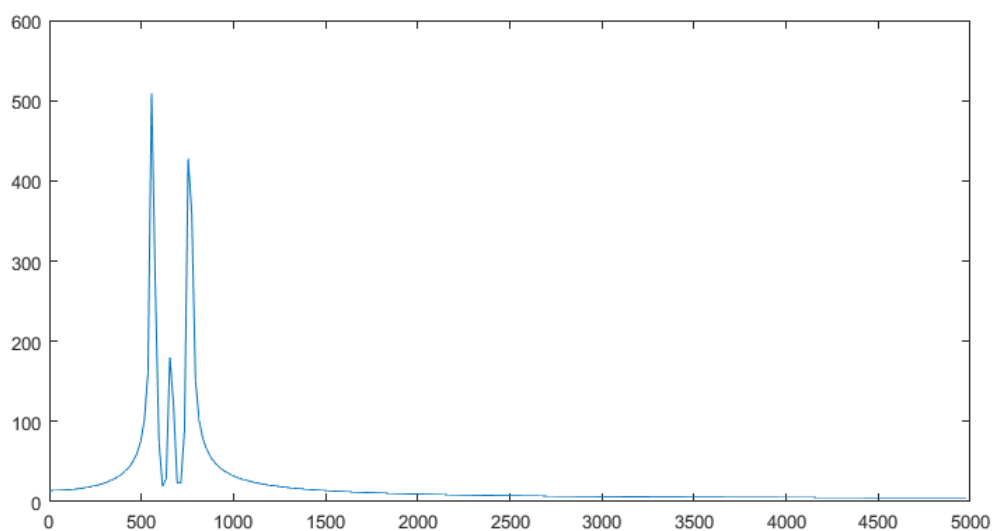


Рис. 4.2.6. Спектр АМ сигнала ($M = 5$)

Итог: $M > 1$ - перемодуляция, $M < 1$ - модуляция без совмещений полупериодов гармонического сигнала огибающей.

4.3. Амплитудная модуляция с подавлением несущей

Для подавления несущей используем узкополосную фильтрацию сигнала на частоте информационного. Сигнал с АМ-ПН на Рис. 4.3.1:

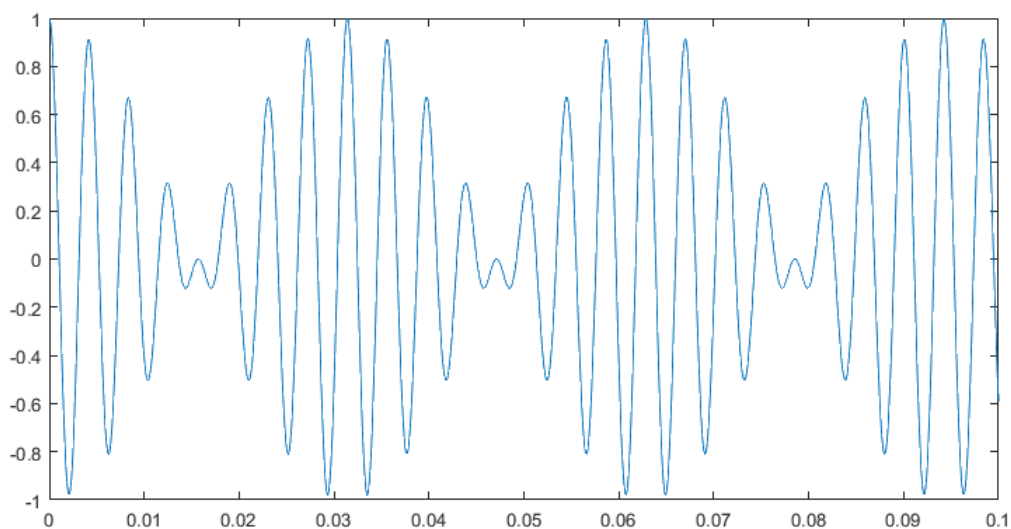


Рис. 4.3.1. Сигнал с АМ-ПН

После подавления несущей можно сказать, что основная мощность сигнала фильтруется, данный сигнал не демодулируется.

Для устранения проблемы необходимо частично фильтровать несущую - сохранить амплитуду гармоники ненулевой, но более низкой, чем у информационной составляющей.

4.4. Однополосная амплитудная модуляция

Убираем дублирующую боковую полосу спектра с помощью ФНЧ. Сигнал представлен на Рис. 4.4.1:

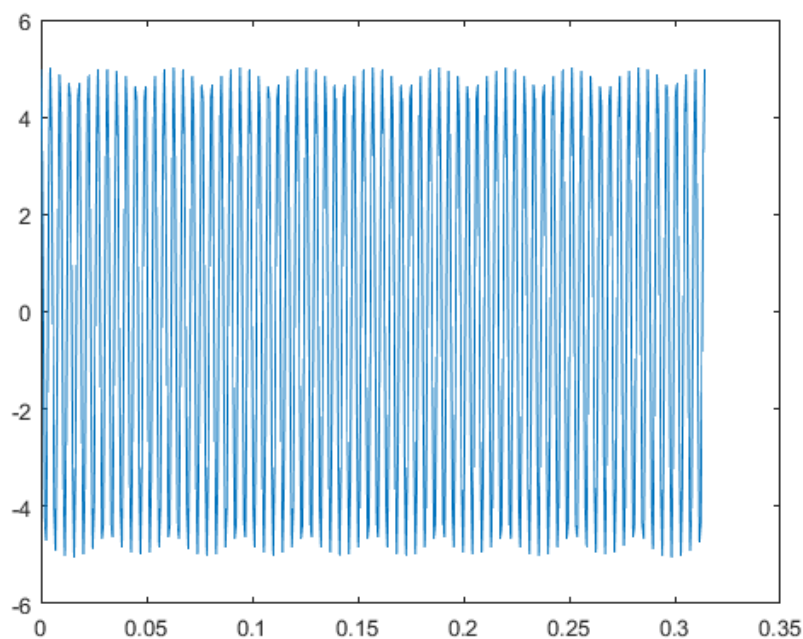


Рис. 4.4.1. Сигнал с АМ-ОП

4.5. Спектры АМ-ПН и АМ-ОП

На Рис. 4.5.1, спектры сигналов после АМ-ПН и АМ-ОП.

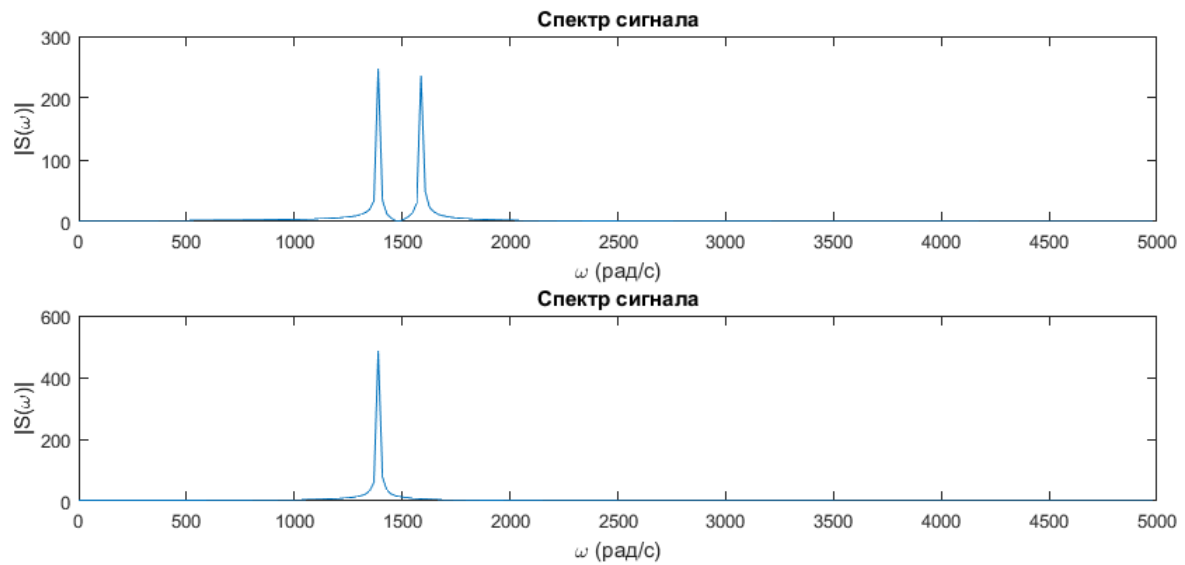


Рис. 4.5.1. Спектры сигнала с АМ-ПН и АМ-ОП

- 1). Первый Рис. - две полосы, без несущей (АМ-ПН).
- 2). Спектр, содержащий одну полосу (АМ-ОП).

4.6. Демодуляция с помощью синхронного детектирования

Демодуляцию сигналов с разными коэффициентами модуляции.

$M = 0.5$.

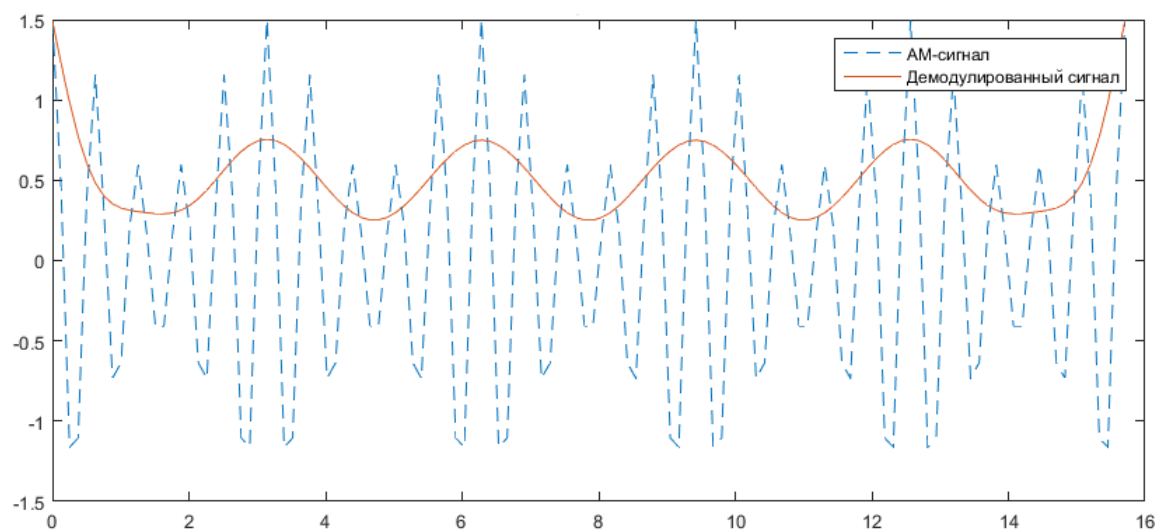


Рис. 4.6.1. АМ сигнал ($M = 0.5$)

Изменим M на 2.

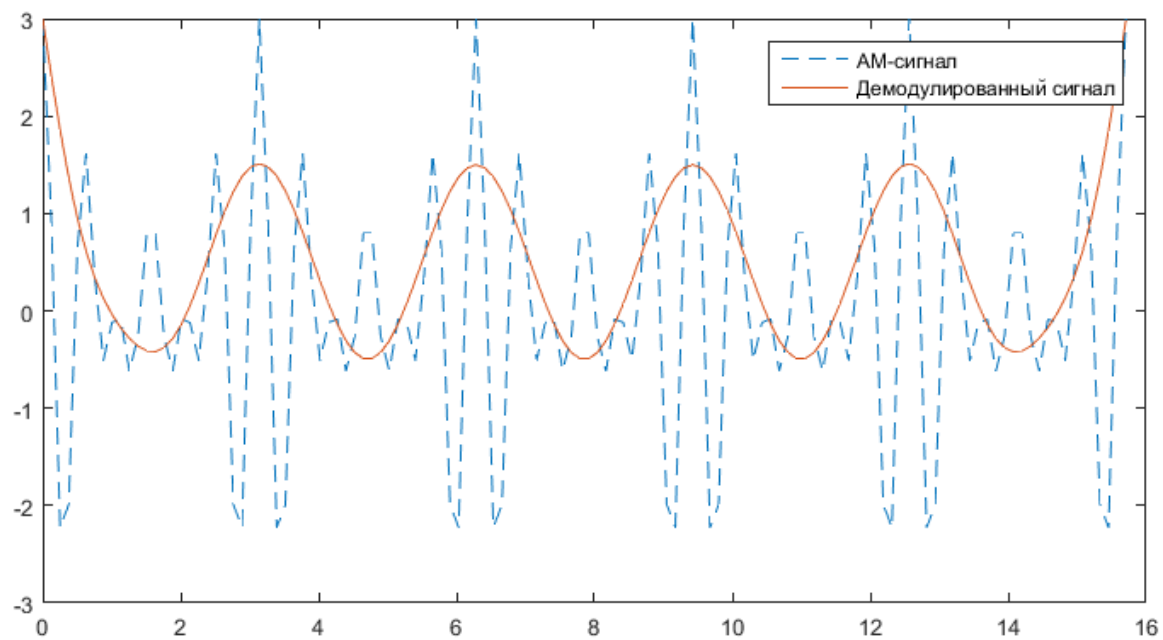


Рис. 4.6.2. АМ сигнал ($M = 2$)

Изменим M на 5.

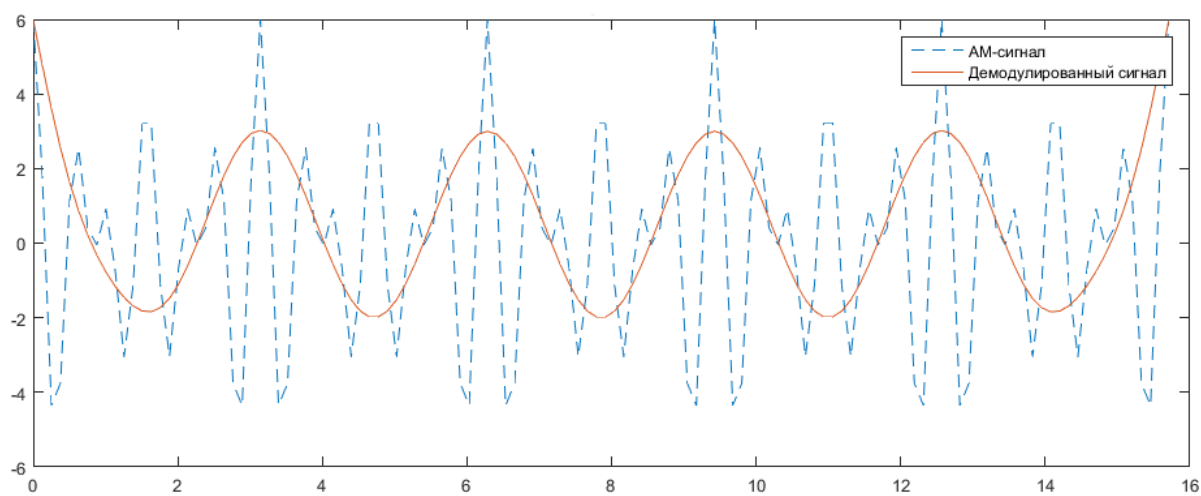


Рис. 4.6.3. АМ сигнал ($M = 5$)

Чем больше коэффициент модуляции, тем незначительнее искажения сигнала при демодуляции.

Спектр демодулированного сигнала при $M = 2$.

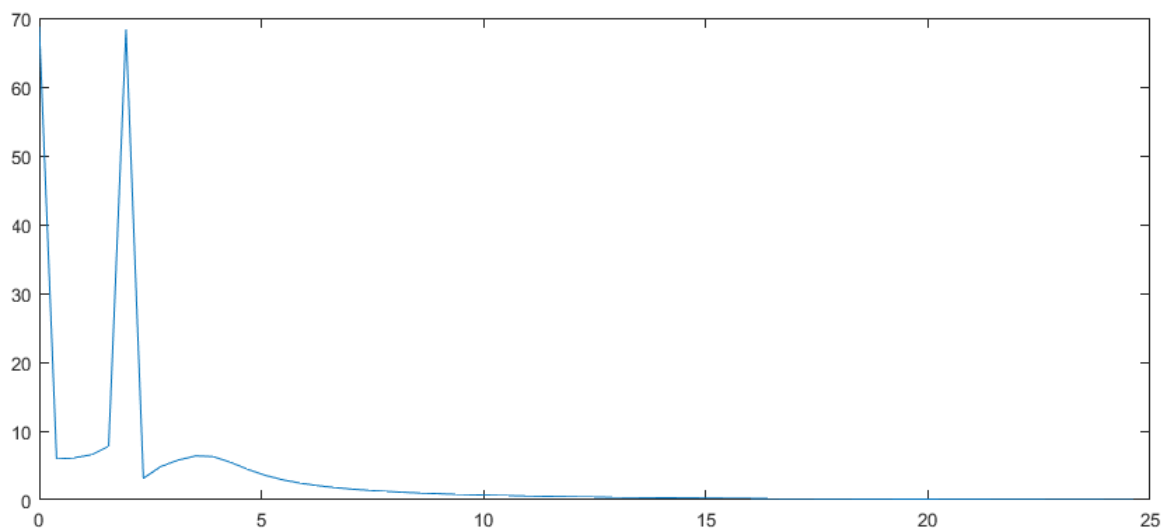


Рис. 4.6.4. Спектр демодулированного сигнала ($M = 2$)

При применении полосового фильтра можно выделить искомый сигнал (совпадающий с исходным).

При $M = 5$ имеем:

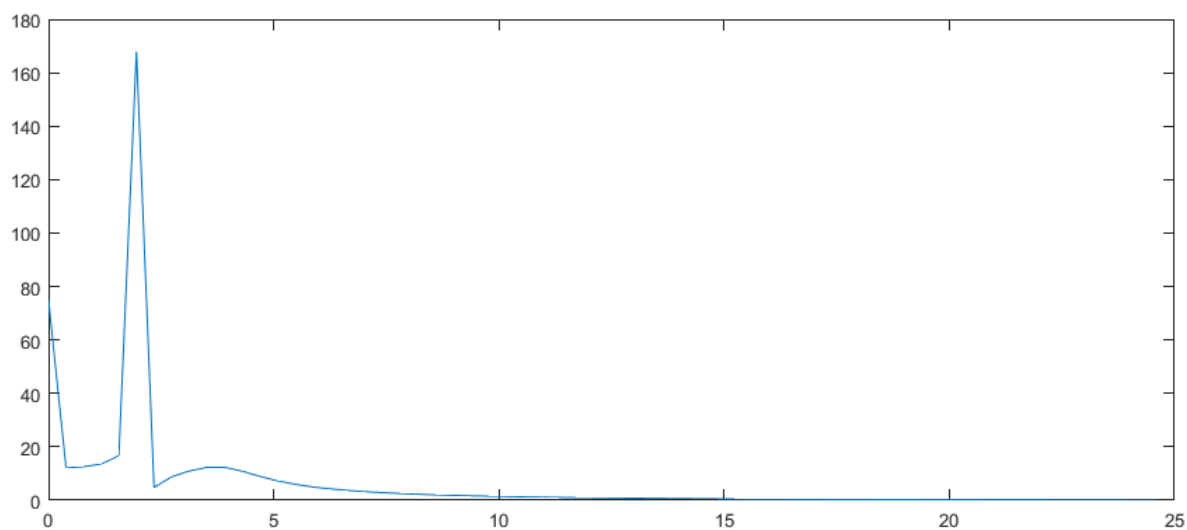


Рис. 4.6.5. Спектр демодулированного сигнала ($M = 5$)

Низкочастотная составляющая значительно меньше по амплитуде, чем информационная. Высокочастотные искажения незначительны, чем при $M = 2$.

4.7. КПД модуляции

На Рис. 4.7.1 приведена зависимость КПД модуляции от амплитуды модулирующего сигнала.

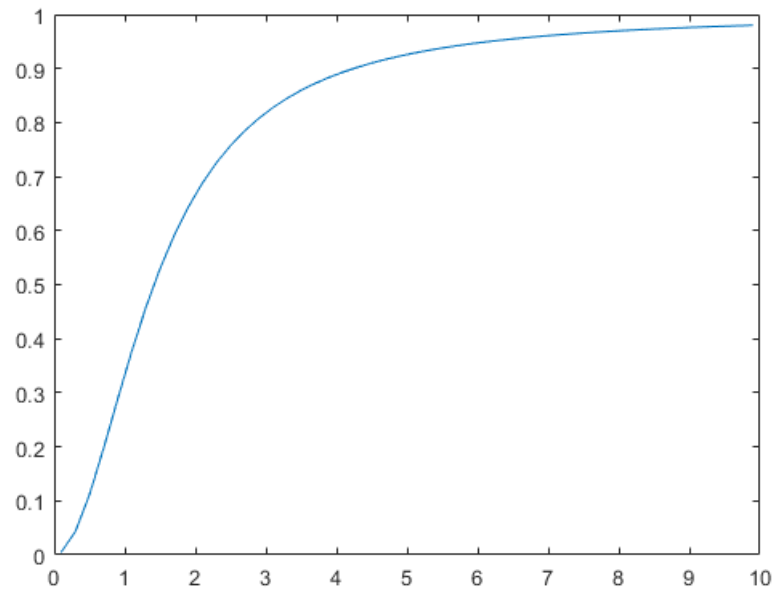


Рис. 4.7.1. Зависимость КПД модуляции от амплитуды модулирующего сигнала (от коэф. модуляции)

4.8. Частотная модуляция

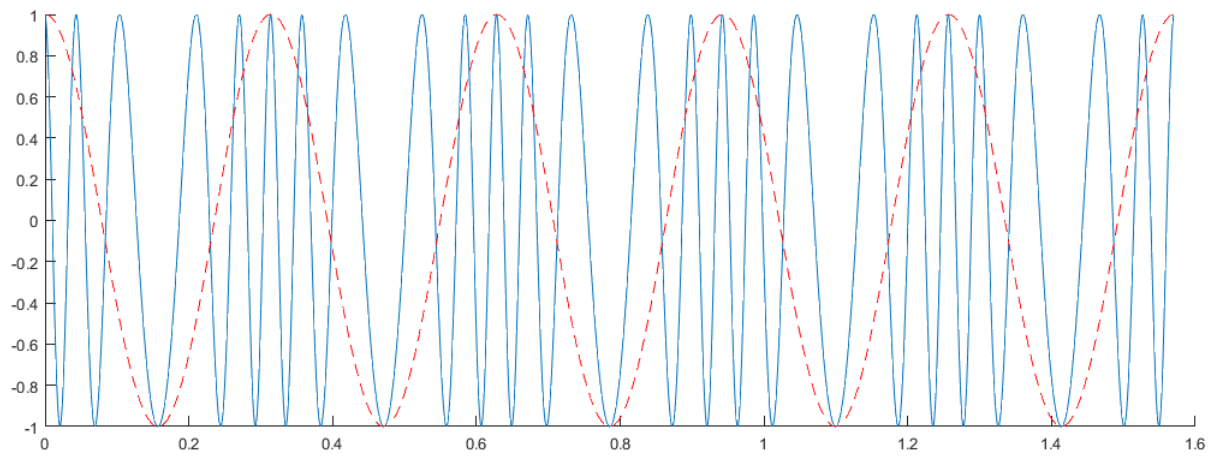


Рис. 4.8.1. Частотно-модулированный сигнал (с отображением несущей гармоники)

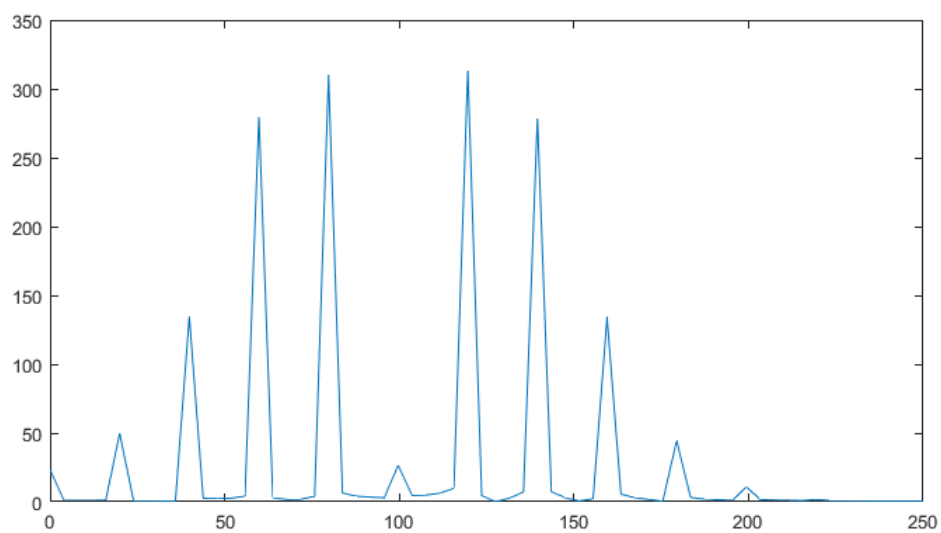


Рис. 4.8.2. Спектр частотно-модулированного сигнала

4.9. Фазовая модуляция

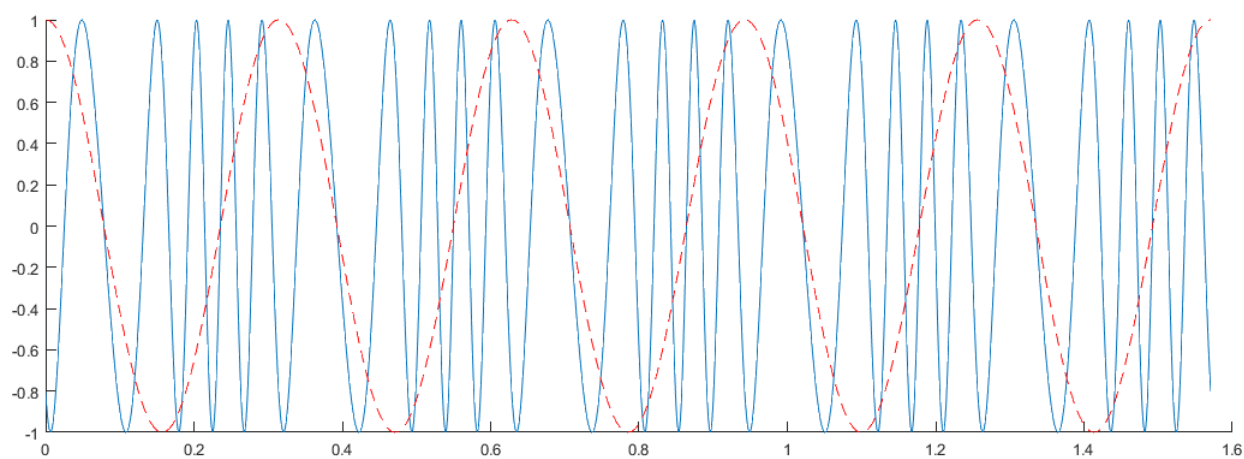


Рис. 4.9.1. Фазово-модулированный сигнал (с отображением несущей гармоники)

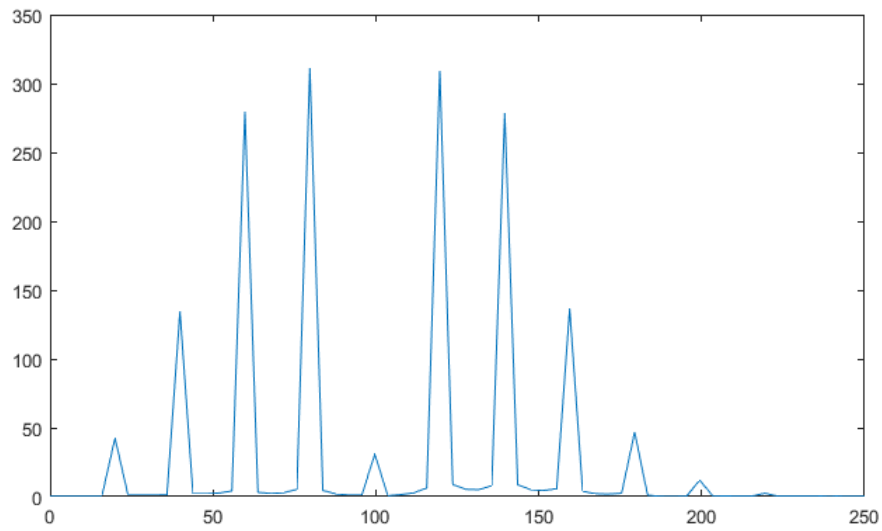


Рис. 4.9.2. Спектр фазово-модулированного сигнала

4.10. Демодуляция частотной модуляции и фазовой модуляции

Произведем демодуляцию модулированных сигналов.

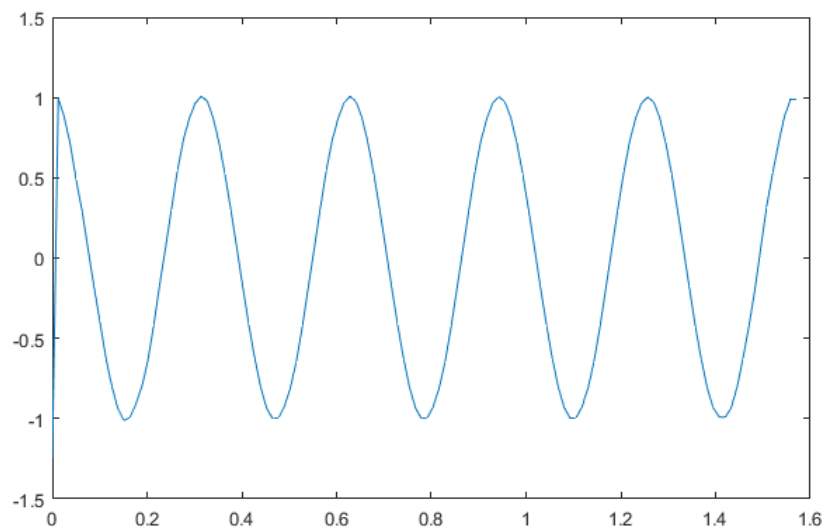


Рис. 4.10.1. Фазово-демодулированный сигнал

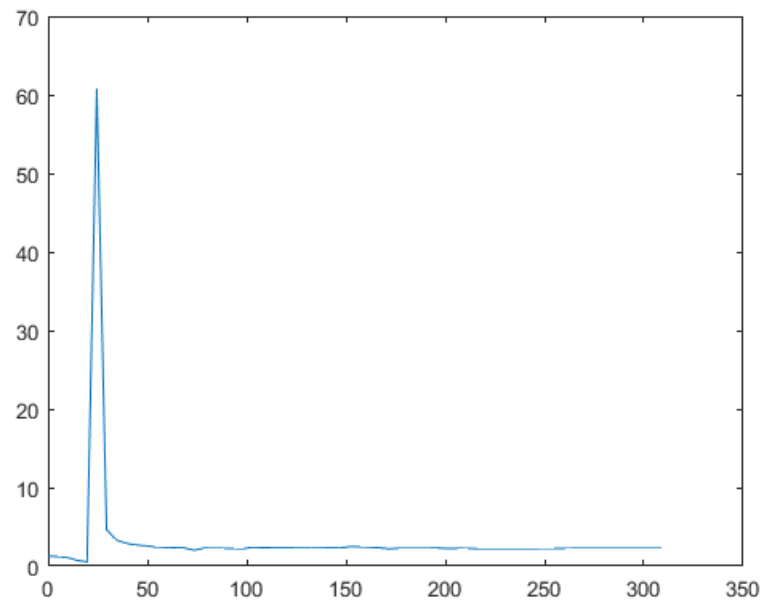


Рис. 4.10.2. Спектр фазово-демодулированного сигнала

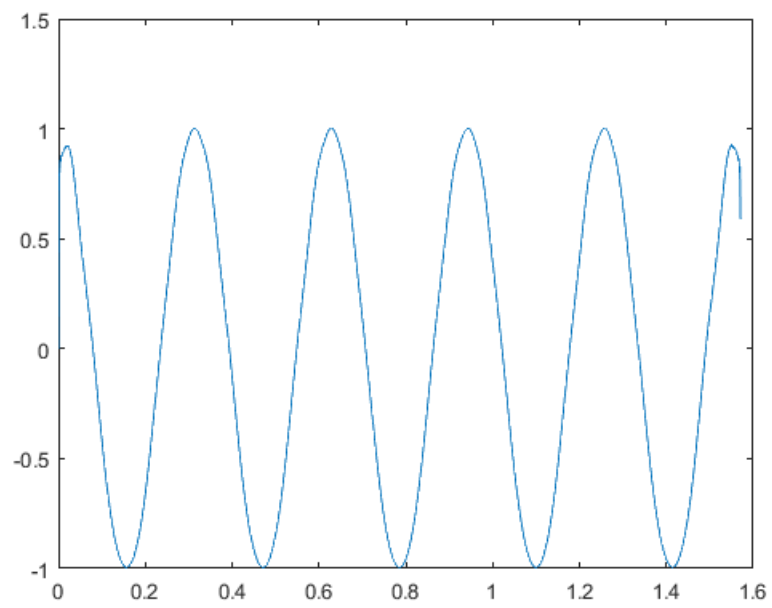


Рис. 4.10.3. Частотно-демодулированный сигнал

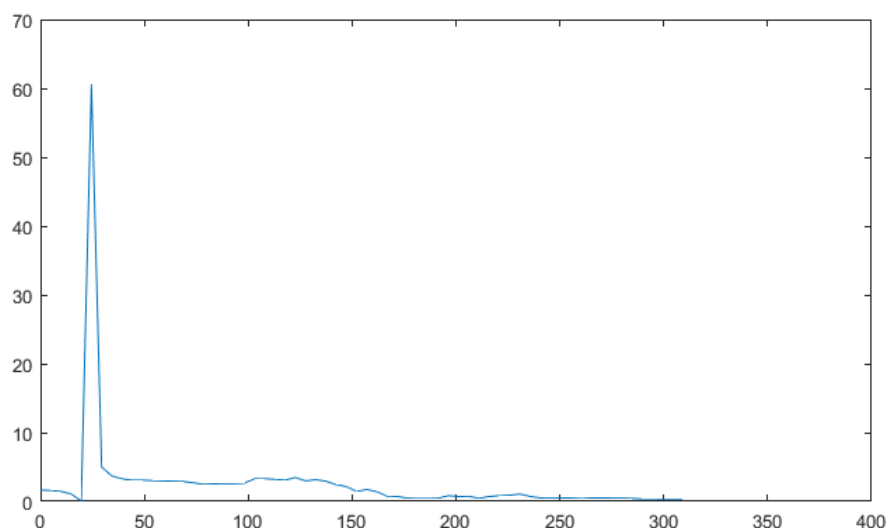


Рис. 4.10.4. Спектр частотно-демодулированного сигнала

В обоих случаях сигналы были восстановлены.

5. Выводы

В данной работе были исследованы типы аналоговой модуляции (амплитудная (с подавлением несущей и однополосная), фазовая и частотная модуляция/демодуляция), способ демодуляции с помощью синхронного детектирования, также определена зависимость КПД модуляции от коэффициента модуляции. Построены спектры модулированных сигналов.

Аналоговая амплитудная модуляция находит применение в системах телевизионного вещания, в системах звукового радиовещания и радиосвязи на длинных и средних волнах (одним из явных недостатков АМ является низкий КПД).

Частотная модуляция применяется для высококачественной передачи звукового (низкочастотного) сигнала в радиовещании (в диапазоне УКВ), для звукового сопровождения телевизионных программ, передачи сигналов цветности в телевизионном стандарте SECAM, видеозаписи на магнитную ленту, музыкальных синтезаторах.