

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

# Телекоммуникационные технологии

Отчет по лабораторной работе №5

Частотная и фазовая 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. Фазовая модуляция . . . . .	3
3.3.2. Угловая модуляция . . . . .	3
<b>4. Ход работы</b>	<b>4</b>
4.1. Генерация однотонового сигнала . . . . .	6
4.2. Частотная модуляция . . . . .	7
4.3. Фазовая модуляция . . . . .	8
4.4. Демодуляция ЧМ и ФМ . . . . .	9
<b>5. Выводы</b>	<b>11</b>

# 1. Цель работы

Изучение частотной и фазовой модуляции/демодуляции сигнала.

# 2. Постановка задачи

Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты, выполнить фазовую модуляцию/демодуляцию, частотную модуляцию/демодуляцию. Посмотреть, как модуляция влияет на спектр сигнала.

# 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. Фазовая модуляция

При фазовой модуляции (phase modulation – PM) значение фазового угла постоянной несущей частоты колебаний  $\omega_0$  пропорционально амплитуде модулирующего сигнала  $s(t)$ . Соответственно, уравнение ФМ–сигнала определяется выражением:

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t + ks(t)) \quad (1)$$

Изображение сигнала после фазовой модуляции приведено ниже на рисунке 3.3.1 :

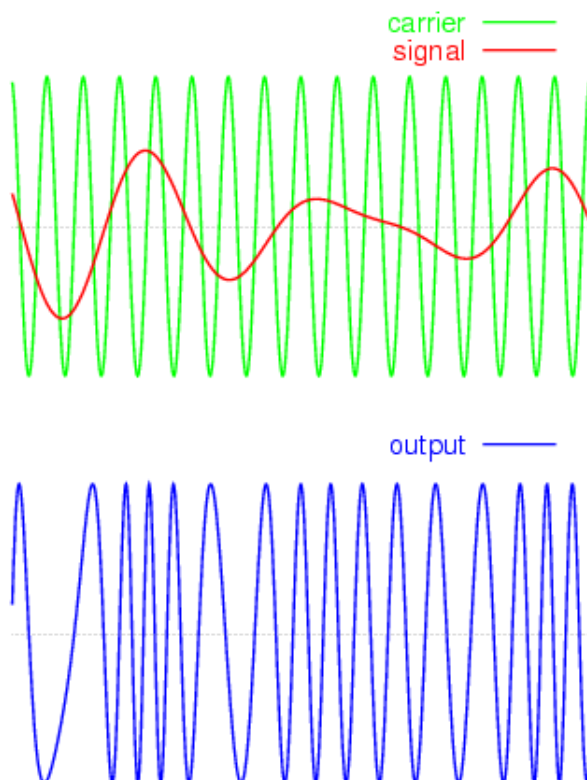


Рис. 3.3.1. Фазовая модуляция сигнала

#### 3.3.2. Угловая модуляция

При угловой модуляции в несущем гармоническом колебании  $u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$  значение амплитуды колебаний  $U_m$  остается постоянным, а информация  $s(t)$  переносится либо на частоту  $\omega$ , либо на фазовый угол  $\varphi$ . В обоих случаях текущее значение фазового угла гармонического колебания  $u(t)$  определяет аргумент  $\psi(t) = \omega t + \varphi$ , который называется *полной фазой* колебания. Частотная модуляция выполняется по закону:

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t + k \int_0^t s(t) dt) \quad (2)$$

Данный вид модуляции внешне совпадает с фазовой, на практике необходимо иметь априорную информацию о типе модуляции при решении задачи демодуляции.

## 4. Ход работы

Код программы представлен ниже - два листинга, относящихся к фазовой модуляции и один относящийся к частотной модуляции 1, 2, 3 :

Листинг 1: Код в МатЛаб

```
1
2 A_M = 1;
3 OMEGA = 1;
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 = 2.5;
25 s_AM = pmmod(s_M, OMEGA, omega0, phi0);
26
27 figure
28 hold on
29 plot(t, s_AM);
30 plot(t, s_M, '—', 'Color', 'red');
31 hold off
32
33 figure
34 specplot(s_AM, Fs);
35
36 f = pmdemod(s_AM, OMEGA, omega0, phi0);
37
38 figure
39 plot(t, f);
40
41 figure
42 specplot(f, OMEGA);
```

Листинг 2: Код в МатЛаб

```
1 Fs = 8e3;
2 T = 2;
3 t = 0:1/Fs:T;
4 F = 100; % Modulating sig. freq.
5 s_M = cos(2*pi*F*t);
6 figure
7 plot(t, s_M)
8 Fc = 1.5e3; % Carrier frequency
9 s_PM_1 = pmmod(s_M, Fc, Fs, 0.1);
```

```

10 s_PM_2 = pmmmod(s_M, Fc, Fs, 10);
11 figure;
12 subplot(1, 2, 1);
13 plot(t(1:200), s_PM_1(1:200));
14 ylim([-1.1 1.1]);
15 title('\beta=0.1');
16 subplot(1, 2, 2);
17 plot(t(1:200), s_PM_2(1:200));
18 ylim([-1.1 1.1]);
19 title('\beta=10');
20
21 N = floor(length(t)/2);
22 f = (0:N)/length(t) * Fs;
23 spec_PM_1 = fft(s_PM_1);
24 spec_PM_2 = fft(s_PM_2);
25 figure
26 subplot(1, 2, 1)
27 plot(f, abs(spec_PM_1(1:N+1)))
28 title('\beta=0.1')
29 subplot(1, 2, 2)
30 plot(f, abs(spec_PM_2(1:N+1)))
31 title('\beta=10')
32
33 f = pmdemod(s_PM_2, Fc, Fs, 10);
34
35 figure
36 plot(t, f);

```

В коде применены функции `pmmmod` и `pmdemod`. Далее приведен листинг кода частотной модуляции:

### Листинг 3: Код в МатЛаб

```

1 Fs = 8e3;
2 T = 33;
3 t = 0:1/Fs:T;
4 F_n = 0.15;
5 s_M = cos(2*pi*F_n*t);
6 figure
7 plot(t, s_M)
8 Fc = 2e3;
9 s_FM_1 = fmmmod(s_M, Fc, Fs, 0.1);
10 s_FM_2 = fmmmod(s_M, Fc, Fs, 1000);
11 % figure
12 % subplot(1, 2, 1)
13 % plot(t(1:200), s_FM_1(1:200))
14 % ylim([-1.1 1.1])
15 % title('\beta=0.1')
16 % subplot(1, 2, 2)
17 % plot(t(1:200), s_FM_2(1:200))
18 % ylim([-1.1 1.1])
19 % title('\beta=1000')
20
21 figure
22 plot(t, s_FM_1);
23
24
25 N = floor(length(t)/2);
26 f = (0:N)/length(t) * Fs;
27 spec_FM_1 = fft(s_FM_1);
28 spec_FM_2 = fft(s_FM_2);

```

```

29 figure
30 subplot(1, 2, 1)
31 plot(f, abs(spec_FM_1(1:N+1)))
32 title('\beta=0.1')
33 subplot(1, 2, 2)
34 plot(f, abs(spec_FM_2(1:N+1)))
35 title('\beta=1000')
36
37 f = fmdemod(s_FM_2, Fc, Fs, 1000);
38
39 figure
40 plot(t, f);
41
42 figure
43 specplot(f, F_n);

```

В коде применены функции `fmmod` и `fmdemod`.

#### 4.1. Генерация однотонового сигнала

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

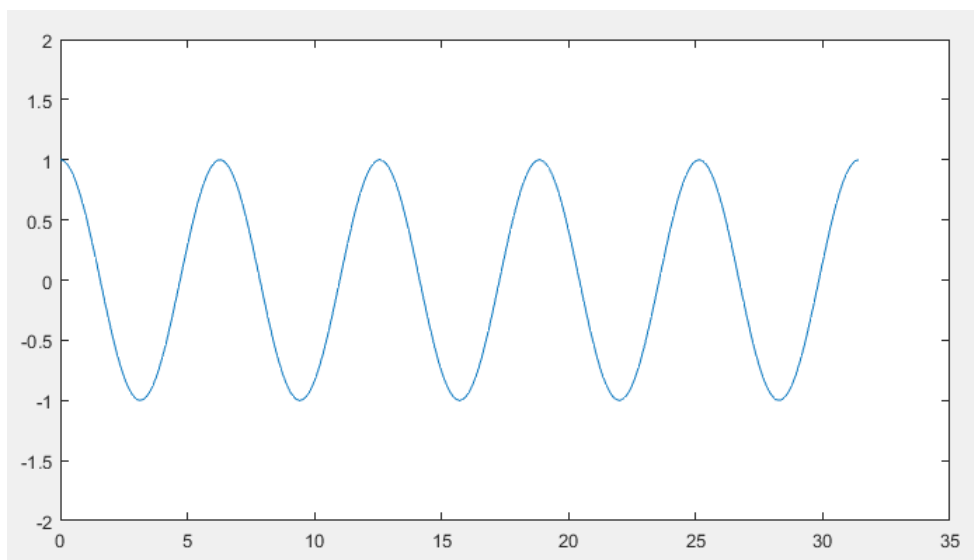


Рис. 4.1.1. Гармонический сигнал  $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

Для однотонового сигнала спектр выглядит следующим образом:

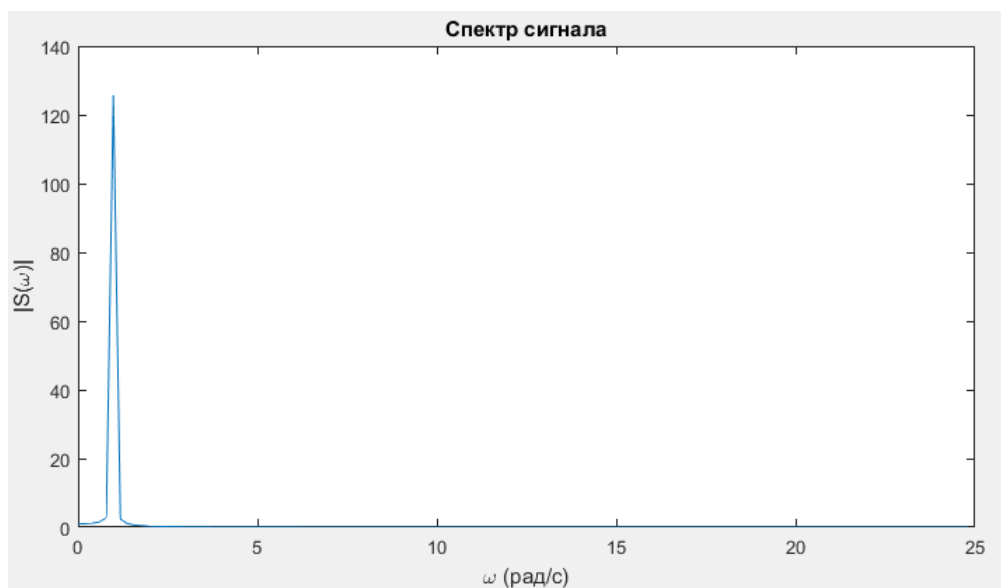


Рис. 4.1.2. Спектр гармонического сигнала  $s(t) = A * \cos(2 * \pi * f * t + \varphi)$

## 4.2. Частотная модуляция

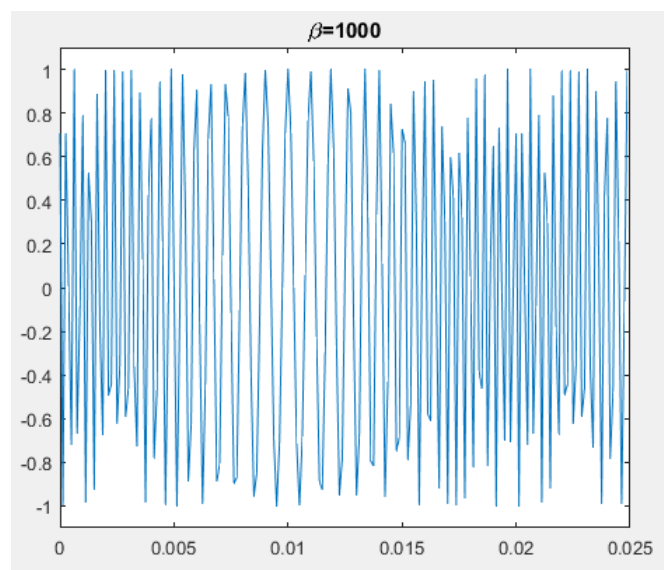


Рис. 4.2.1. Частотно-модулированный сигнал



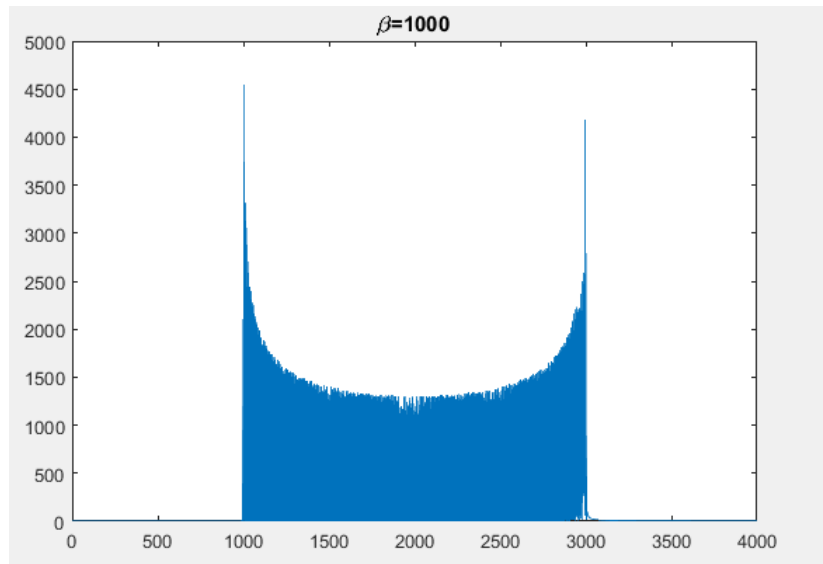


Рис. 4.2.2. Спектр частотно-модулированного сигнала

### 4.3. Фазовая модуляция

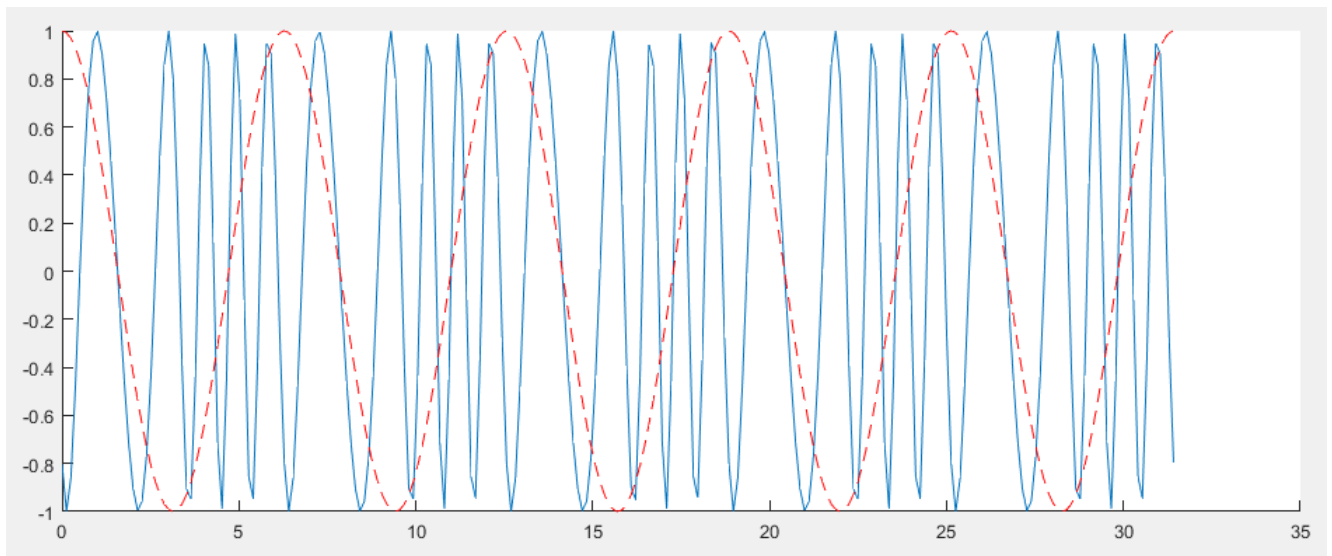


Рис. 4.3.1. Фазово-модулированный сигнал (с отображением несущей гармоники)

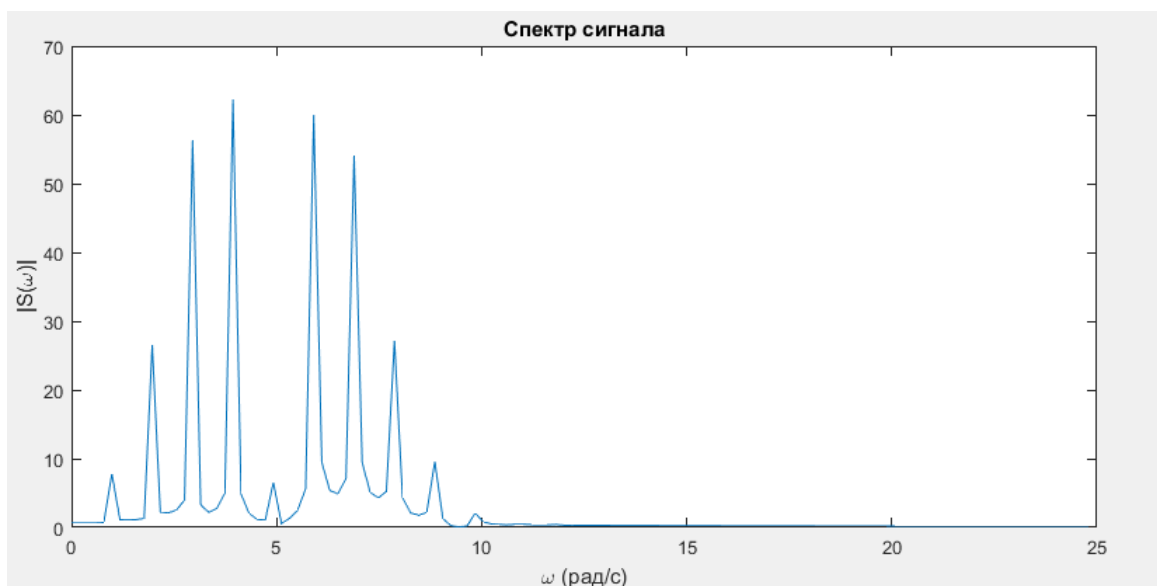


Рис. 4.3.2. Спектр фазово-модулированного сигнала

#### 4.4. Демодуляция ЧМ и ФМ

Произведем демодуляцию модулированных сигналов.

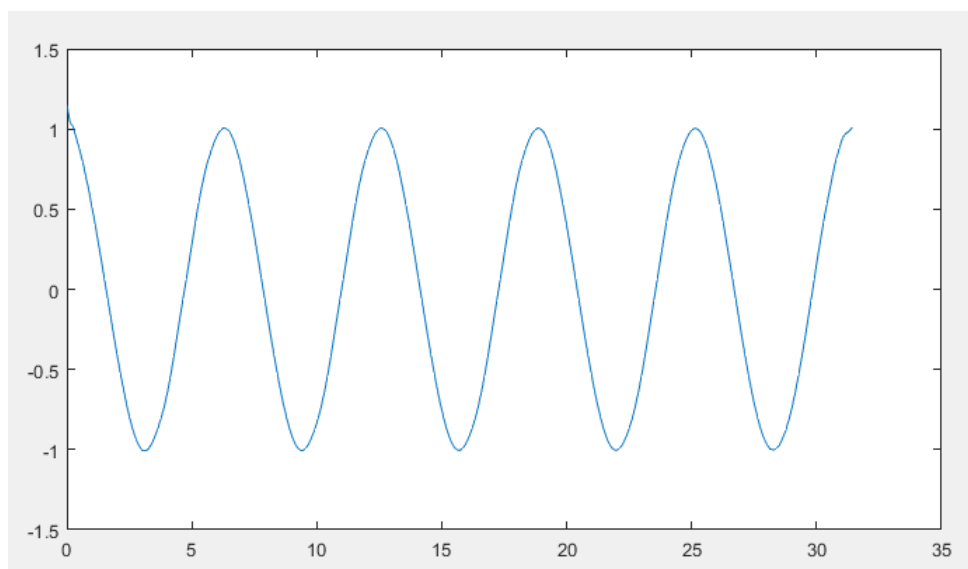


Рис. 4.4.1. Фазово-демодулированный сигнал

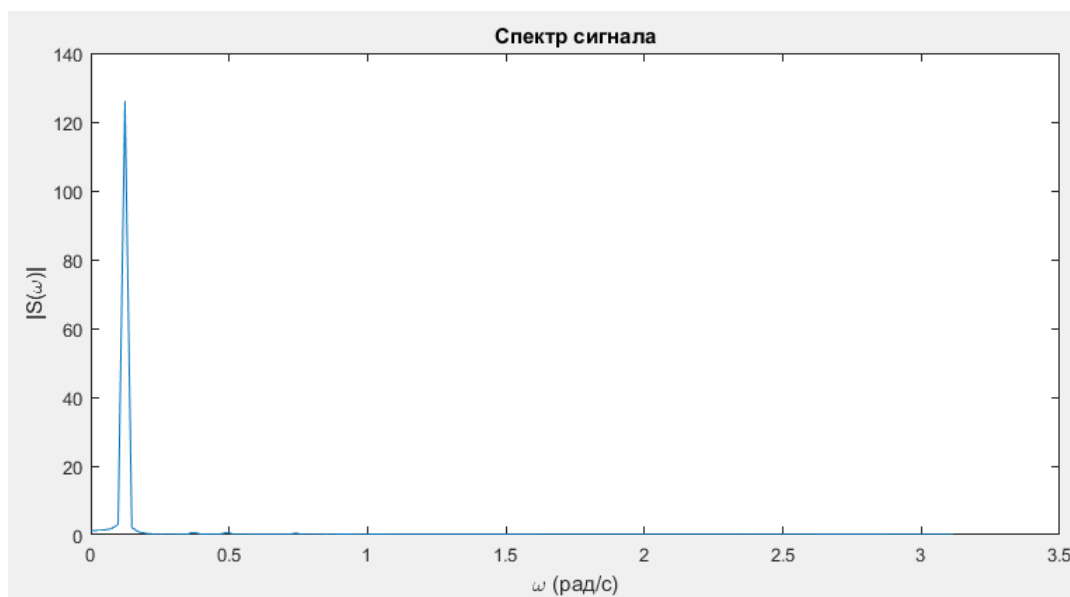


Рис. 4.4.2. Спектр фазово-демодулированного сигнала

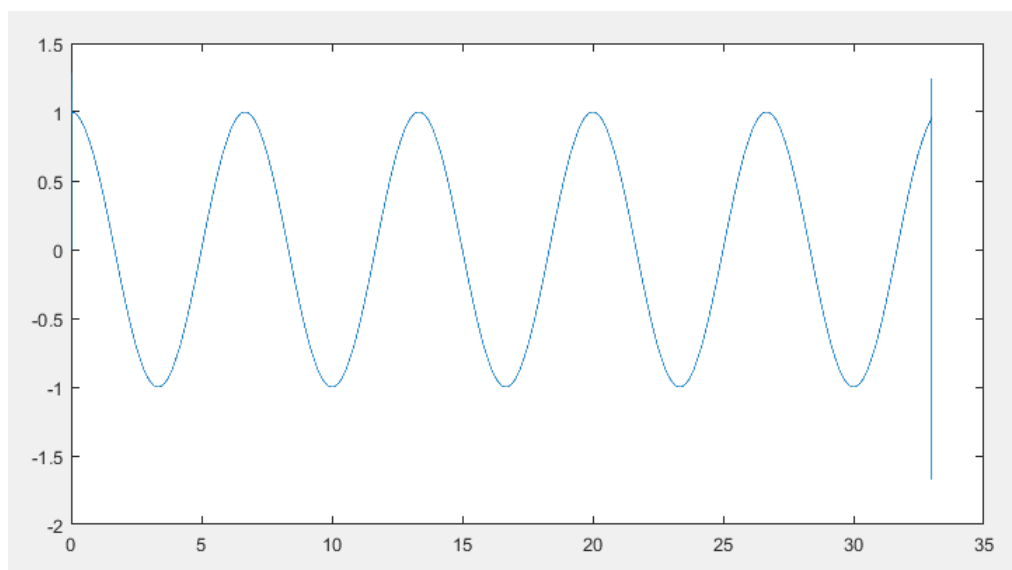


Рис. 4.4.3. Частотно-демодулированный сигнал

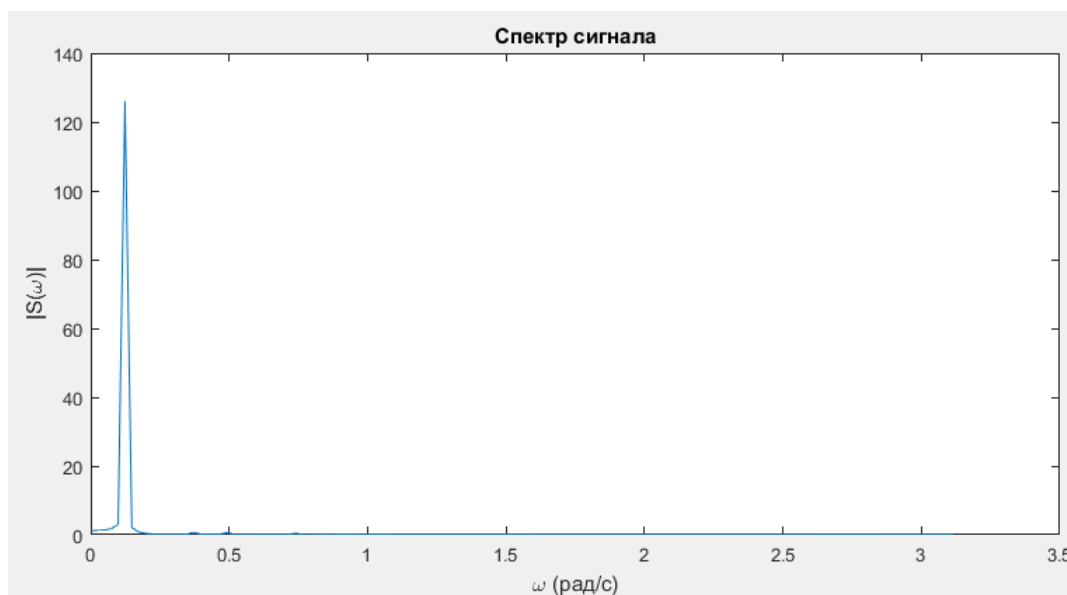


Рис. 4.4.4. Спектр частотно-демодулированного сигнала

В обоих случаях сигналы были восстановлены с высокой точностью.

## 5. Выводы

Исследованы типы аналоговой модуляции/демодуляции (фазовая, частотная). Построены спектры модулированных сигналов, их вид совпал с ожидаемым результатом для каждого типа модуляции.

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.