

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

ИНСТИТУТ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И ПРОГРАММНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Отчет
по лабораторной работе №5
на тему: "Частотная и фазовая модуляция"

выполнила:
Шевченко А.С.
группа: 33501/1
преподаватель:
Богач Н.В.

Санкт-Петербург
2018

1. Цель работы

Изучение частотной и фазовой модуляции/демодуляции сигнала.

2. Постановка задачи

1. Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты.
2. Выполнить фазовую модуляцию/демодуляцию сигнала по закону $u(t) = (U_m \cos(\Omega t + k s(t)))$, используя встроенную функцию MatLab *pmmod*, *pmdemod*.
3. Получить спектр модулированного сигнала.
4. Выполнить частотную модуляцию/демодуляцию по закону

$$u(t) = U_m \cos(\phi_0 t + k \int_0^t s(t) dt + \phi_0)$$

используя встроенные функции MatLab *fmmod*, *fmdemod*.

3. Теоретическая часть: частотная и фазовая модуляция (по пособию Н.В. Богач и др.)

3.1 Частотная модуляция

Частотная модуляция характеризуется линейной связью модулирующего сигнала с мгновенной частотой колебаний, при которой мгновенная частота колебаний образуется сложением частоты высокочастотного несущего колебания ω_0 со значением амплитуды модулирующего сигнала с определенным коэффициентом пропорциональности k :

$$\omega(t) = \omega_0 + k s(t).$$

Соответственно, полная фаза колебаний:

$$\psi(t) = \omega_0(t) + k \int_{-\infty}^t s(t) dt$$

или

$$\psi(t) = \omega_0(t) + k \int_0^t s(t) dt + \varphi_0$$

Уравнение ЧМ-сигнала:

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0(t) + k \int_0^t s(t) dt + \varphi_0)$$

Для характеристики глубины частотной модуляции используются понятия **девиации частоты вверх** $\Delta\omega_e = k s_{max}(t)$, и **вниз** $\Delta\varphi_e = k s_{min}(t)$.

3.2 Фазовая модуляция

При фазовой модуляции значение фазового угла постоянной несущей частоты колебаний ω_0 пропорционально амплитуде модулирующего сигнала $s(t)$.

Соответственно, уравнение ФМ-сигнала определяется выражением:

$$u(t) = U_m \cos[\omega_0 t + k s(t)],$$

где k – коэффициент пропорциональности.

При $s(t) = 0$, ФМ-сигнал является простым гармоническим колебанием. С увеличением значений $s(t)$

полная фаза колебаний $\psi(t) = \omega_0 t + ks(t)$ нарастает во времени быстрее и опережает линейное нарастание $\omega_0 t$. Соответственно, при уменьшении значений $s(t)$ скорость роста полной фазы во времени падает. В моменты экстремальных значений $s(t)$ абсолютное значение фазового сдвига $\Delta\psi$ между ФМ-сигналом и значением $\omega_0 t$ немодулированного колебания также является максимальным и носит название девиации фазы (вверх $\Delta\varphi_B = ks_{max}(t)$, или вниз $\Delta\varphi_H = ks_{min}(t)$ с учетом знака экстремальных значений модулирующего сигнала).

4. Ход работы

Код, выполняющий задачи текущей лабораторной работы, представлен на рисунке ниже. Первые тридцать строк связаны с уже привычной нам генерацией синусоидального сигнала и получением его спектра. Далее идет частотная модуляция, реализуемая функцией *fmmod* и демодуляция - функция *fmdemod*, частота несущей F_c и параметр девиации *dev* в данном опыте равны 16 Гц и 10 Гц соответственно.

Строки с 50 и до конца файла посвящены получению спектров модулированного и демодулированного сигналов.

```

1 - close all
2
3 - N = 1024; %otscheti
4 - F0 = 1; %chastota
5 - Fs = 512; %chastota discretizatsii
6 - A = 1; % amplituda
7 - T = 10; %dlitel'nost signala
8 - t = 0:1/Fs:T;
9 - df = Fs/N;
10
11 - y = A*sin(2*pi*F0*t);
12
13 %stroim ishodny signal
14 figure;
15 plot(t, y)
16 xlabel('t');
17 ylabel('y(t)');
18 title('Sine Signal');
19 ylim([-A-1 A+1]),grid
20
21 %spectr ishodnogo signala
22 f = 0:df:Fs/2 - df; %massiv chastot spectra
23 X = abs(fft(y, N)); %amplitudi preobrazovania furie
24 figure;
25 plot(f, X(1:length(f))), grid
26 title('Amplitude Spectrum of Sine Signal');
27 xlabel('Frequency (Hz)')
28 ylabel('|Y(f)|')
29
30 %modulatsia
31 Fc = 16;
32 dev = 10;
33 y_fm = fmod(y, Fc, Fs, dev);
34 figure;
35 plot(t, y_fm)
36 xlabel('t');
37 ylabel('y(t)');
38 title('Modulated Signal');
39 ylim([-A-1 A+1]),grid
40
41 %demodulatsia
42 y_fm_dmod = fmdemod(y_fm, Fc, Fs, dev);
43 figure;
44 plot(t, y_fm_dmod)
45 xlabel('t');
46 ylabel('y(t)');
47 title('Demodulated Signal');
48 ylim([-A-1 A+1]),grid
49
50 %spectr modulirovannogo signala
51 X_fm = abs(fft(y_fm, N)); %amplitudi preobrazovania furie
52 figure;
53 plot(f, X_fm(1:length(f))), grid
54 title('Amplitude Spectrum of Modulated Signal');
55 xlabel('Frequency (Hz)')
56 ylabel('|Y(f)|')
57
58 %spectr demodulirovannogo signala
59 X_fm_dmod = abs(fft(y_fm_dmod, N)); %amplitudi preobrazovania furie
60 figure;
61 plot(f, X_fm_dmod(1:length(f))), grid
62 title('Amplitude Spectrum of Demodulated Signal');
63 xlabel('Frequency (Hz)')
64 ylabel('|Y(f)|')

```

Рис. 1: Код, реализующий частотную модуляцию

Итак, результаты работы приведенного выше скрипта будут представлены на последующих рисунках.

Модулирующий сигнал и его спектр:

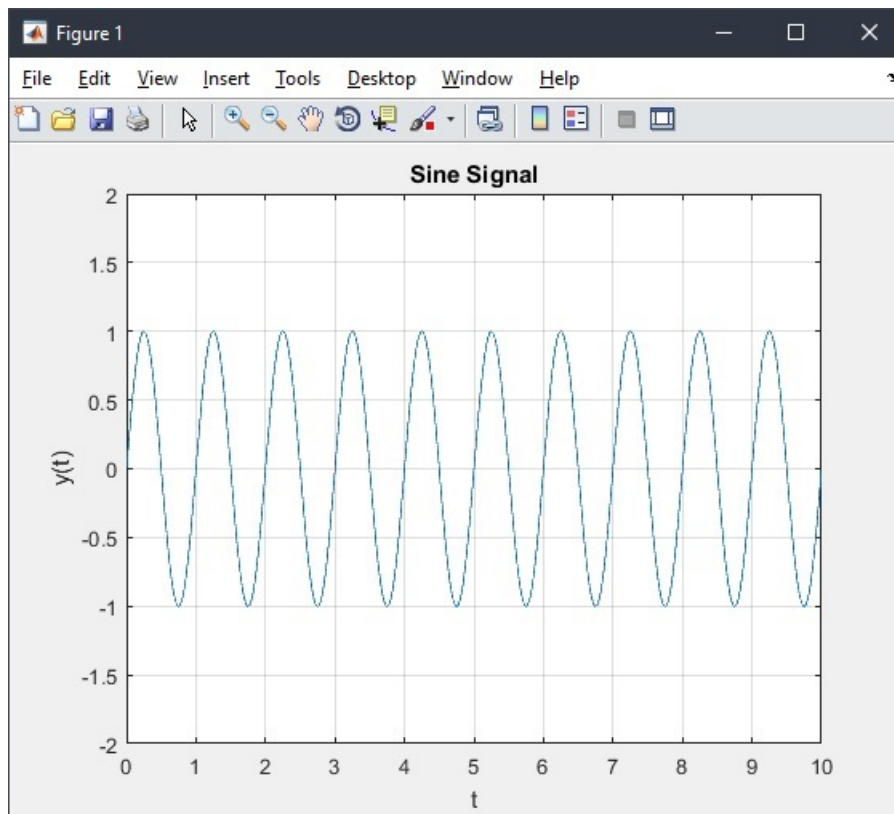


Рис. 2: Модулирующий сигнал

Примечание: модулирующий сигнал имеет частоту 1 Гц, поэтому спектр на нашем графике очень близок к вертикальной оси.

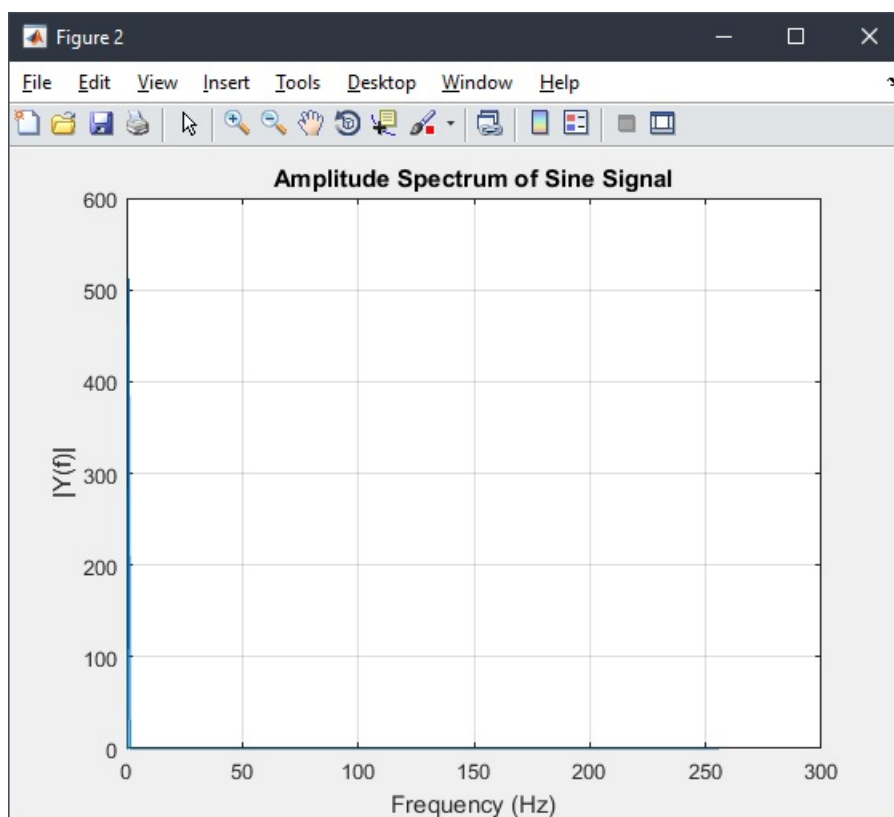


Рис. 3: Спектр модулирующего сигнала

Сигнал после частотной модуляции выглядит следующим образом:

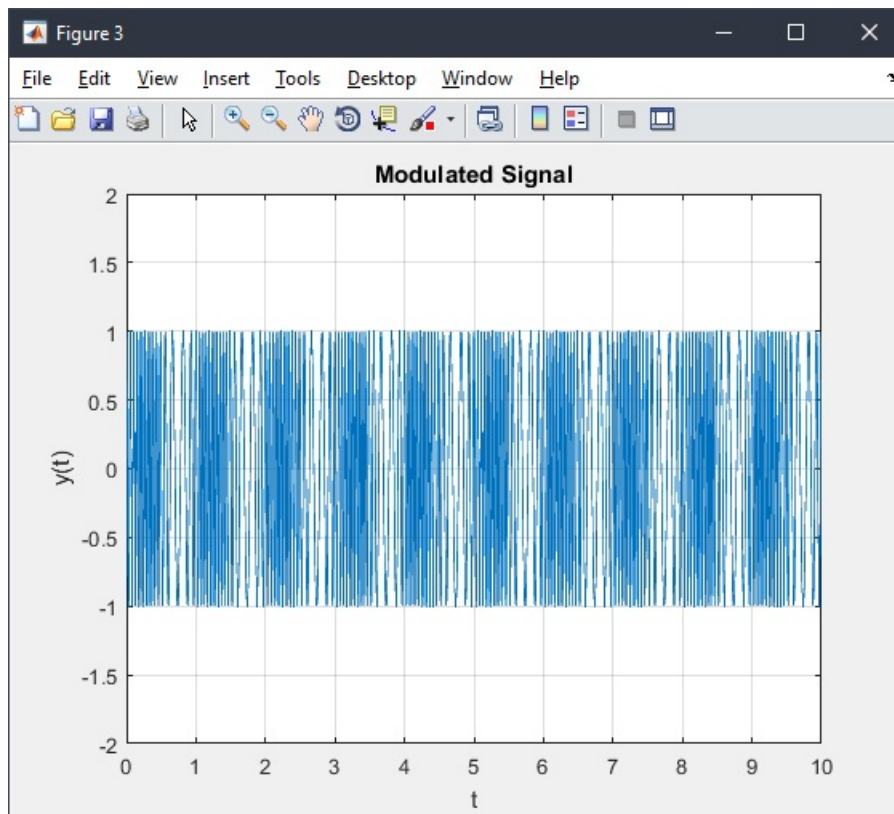


Рис. 4: Сигнал после частотной модуляции

На диаграмме хорошо видны изменения частоты. Теперь посмотрим на спектр модулированного сигнала:

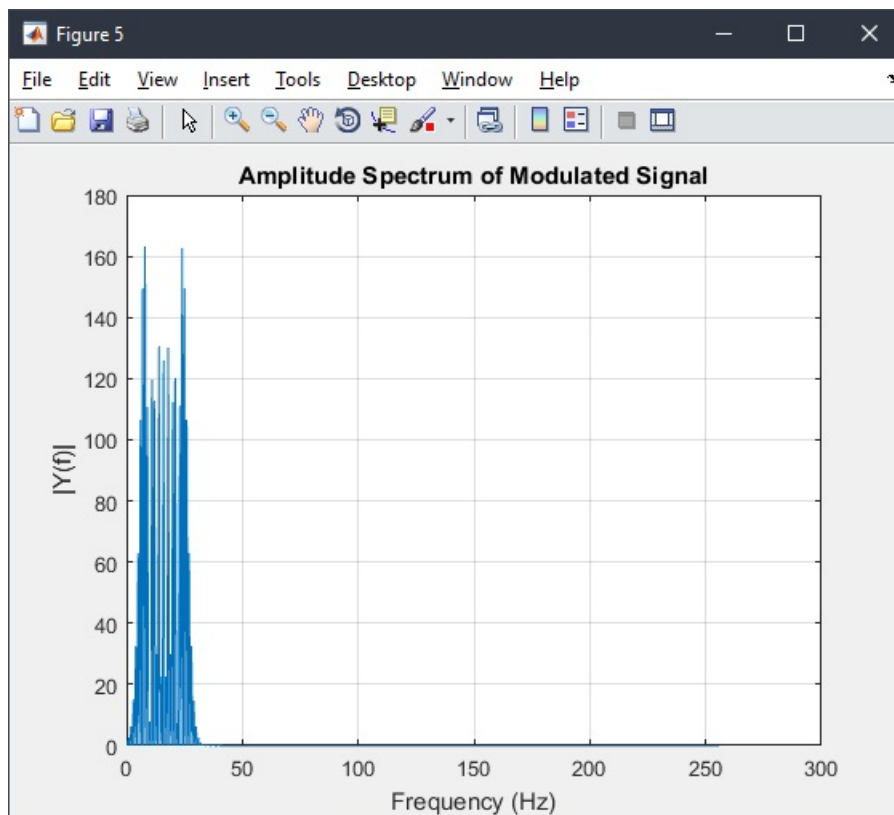


Рис. 5: Спектр частотно модулированного сигнала

После демодуляции сигнал полностью восстанавливается, а его спектр совпадает с исходным.

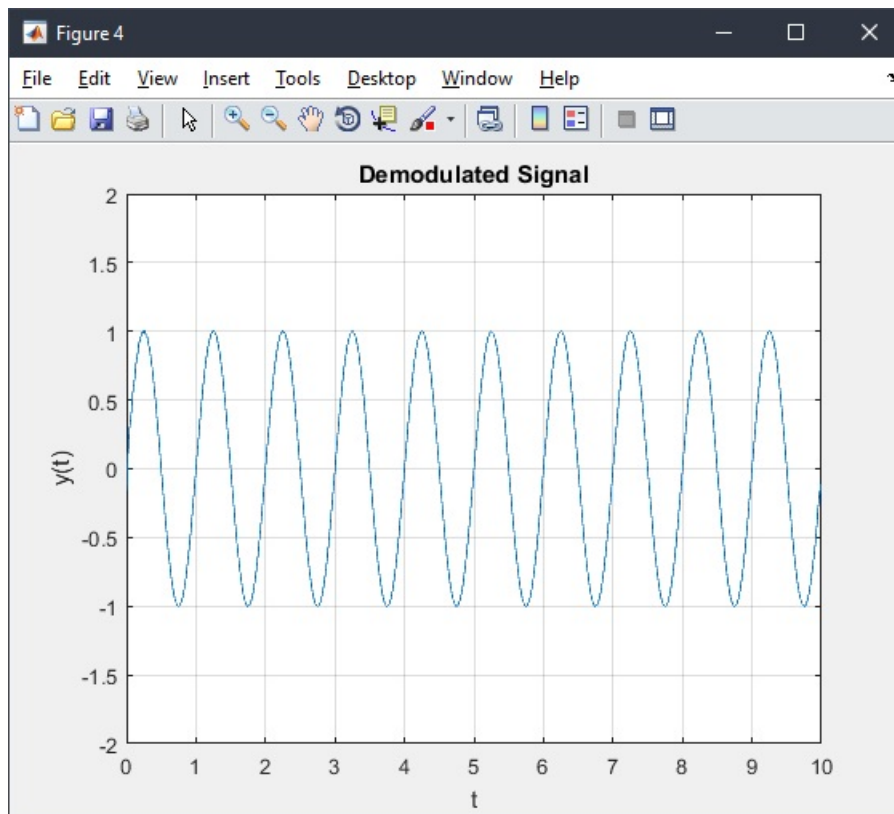


Рис. 6: Сигнал после демодуляции

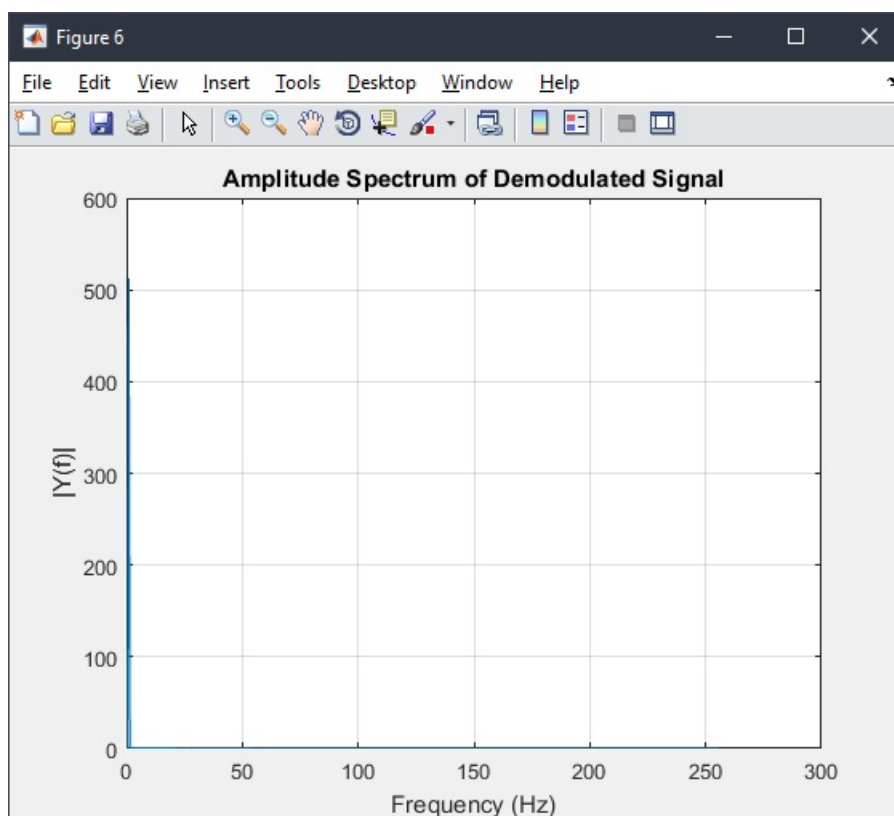


Рис. 7: Спектр демодулированного сигнала

Теперь рассмотрим фазовую модуляцию. Код программы для этой задачи приведен ниже, он отличается от предыдущего функциями модуляции и демодуляции - здесь применяется *pmmod*, *pmdemod*.

```

1 - close all
2
3 - N = 1024; %otscheti
4 - F0 = 1; %chastota
5 - Fs = 512; %chastota discretizatsii
6 - A = 1; % amplituda
7 - T = 10; %dlitelnost signala
8 - t = 0:1/Fs:T;
9 - df = Fs/N;
10
11 - y = A*sin(2*pi*F0*t);
12
13 %stroim ishodny signal
14 - figure;
15 - plot(t, y)
16 - xlabel('t');
17 - ylabel('y(t)');
18 - title('Sine Signal');
19 - ylim([-A-1 A+1]),grid
20
21 %spectr ishodnogo signala
22 - f = 0:df:Fs/2 - df; %massiv chastot spectra
23 - X = abs(fft(y, N)); %amplitudi preobrazovania furie
24 - figure;
25 - plot(f, X(1:length(f))), grid
26 - title('Amplitude Spectrum of Sine Signal');
27 - xlabel('Frequency (Hz)')
28 - ylabel('|Y(f)|')
29
30 %modulatsia signala
31 - Fc = 16;
32 - dev = pi/2;
33 - y_pm = pmmod(y, Fc, Fs, dev);
34 - figure;
35 - plot(t, y_pm)
36 - xlabel('t');
37 - ylabel('y(t)');
38 - title('Modulated Signal');
39 - ylim([-A-1 A+1]),grid
40
41 %demodulatsia
42 - y_pm_dmod = pmdemod(y_pm, Fc, Fs, dev);
43 - figure;
44 - plot(t, y_pm_dmod)
45 - xlabel('t');
46 - ylabel('y(t)');
47 - title('Demodulated Signal');
48 - ylim([-A-1 A+1]),grid
49
50 %spectr modulirovannogo signala
51 - X_pm = abs(fft(y_fm, N)); %amplitudi preobrazovania furie
52 - figure;
53 - plot(f, X_pm(1:length(f))), grid
54 - title('Amplitude Spectrum of Modulated Signal');
55 - xlabel('Frequency (Hz)')
56 - ylabel('|Y(f)|')
57
58 %spectr demodulirovannogo signala
59 - X_pm_dmod = abs(fft(y_pm_dmod, N)); %amplitudi preobrazovania furie
60 - figure;
61 - plot(f, X_pm_dmod(1:length(f))), grid
62 - title('Amplitude Spectrum of Demodulated Signal');
63 - xlabel('Frequency (Hz)')
64 - ylabel('|Y(f)|')

```

Рис. 8: Код, реализующий фазовую модуляцию

Модулирующий сигнал тот же:

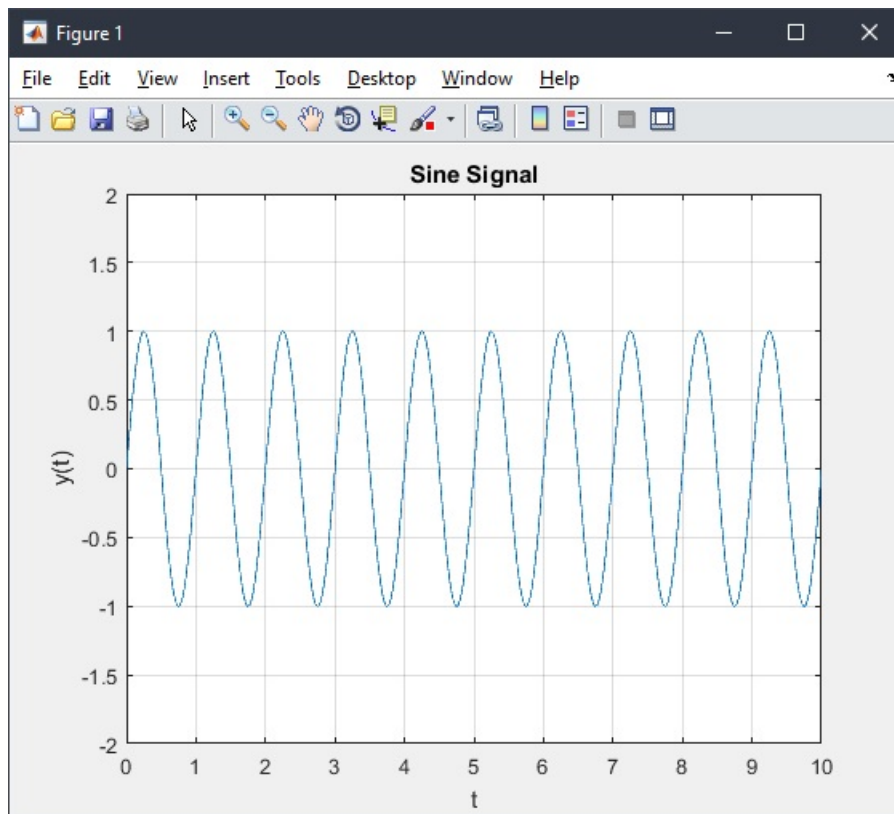


Рис. 9: Модулирующий сигнал

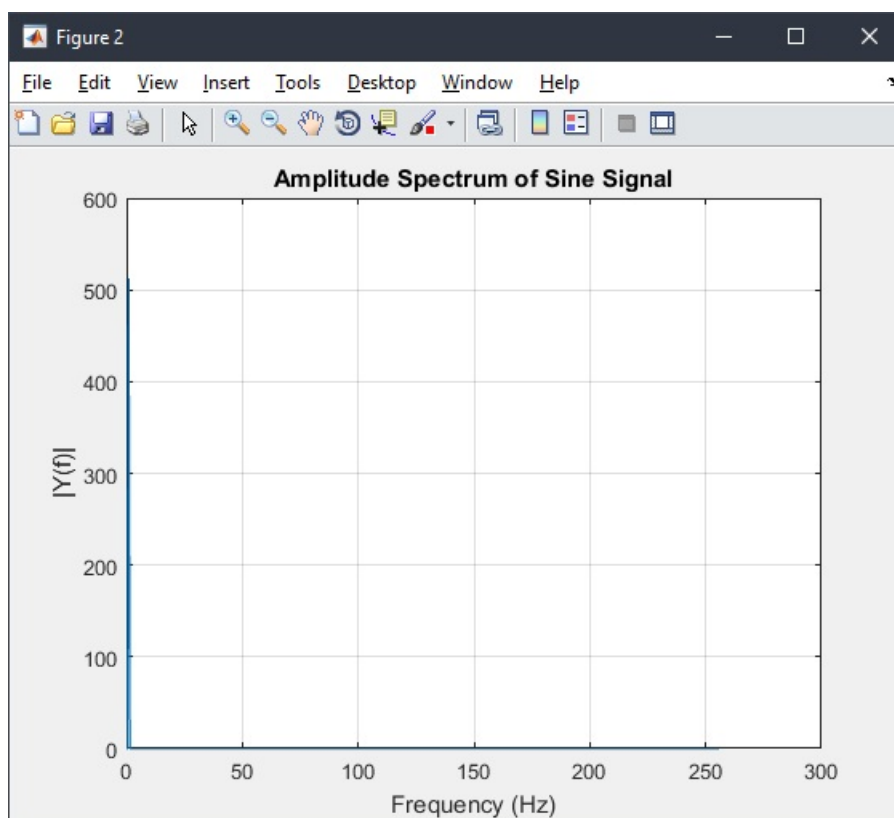


Рис. 10: Спектр модулирующего сигнала

Сигнал после модуляции:

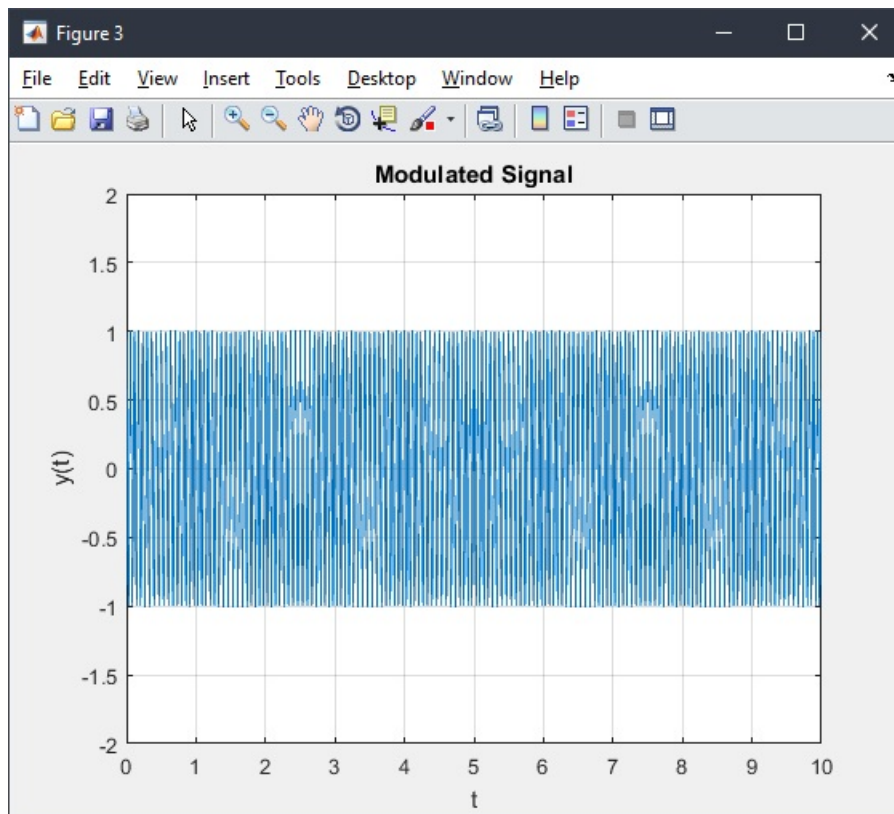


Рис. 11: Сигнал после фазовой модуляции

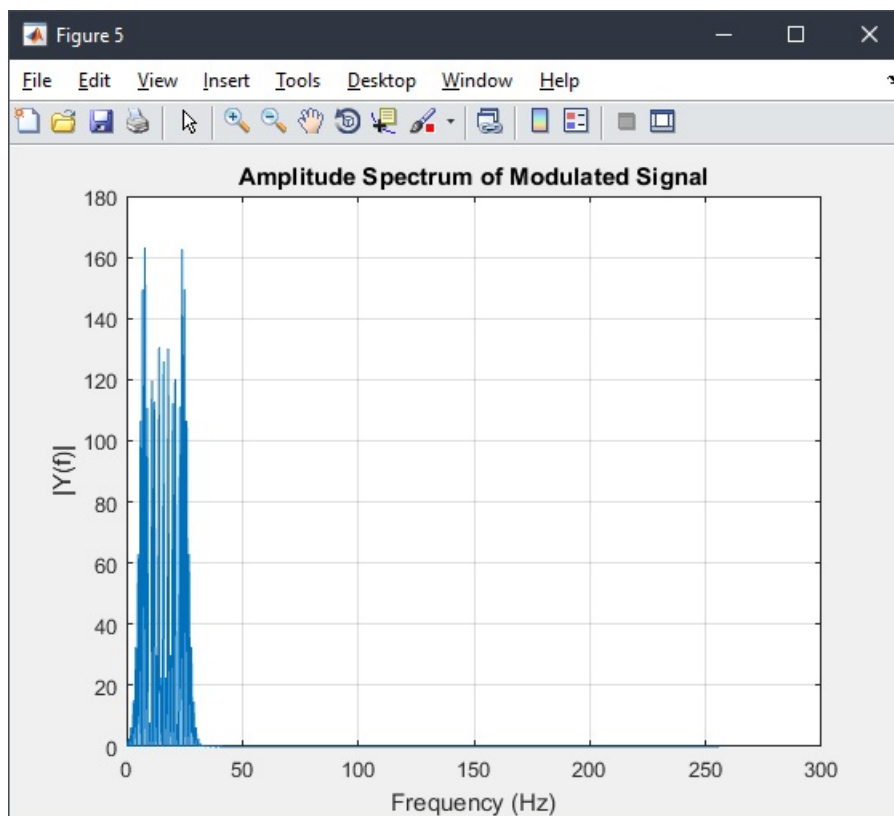


Рис. 12: Спектр сигнала после фазовой модуляции

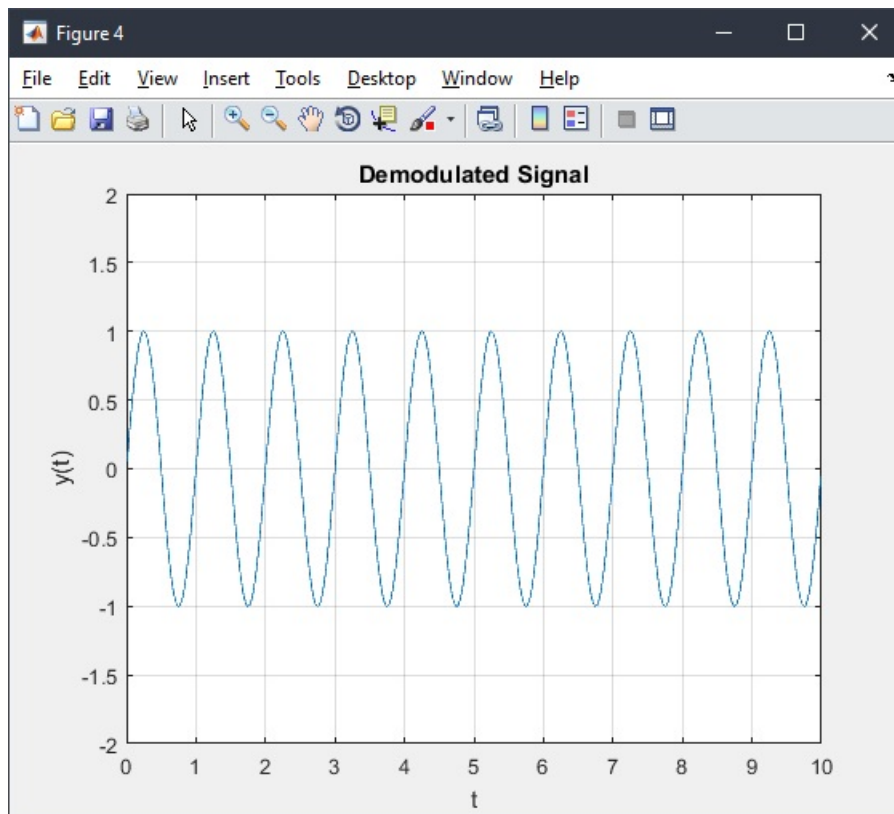


Рис. 13: Демодулированный сигнал

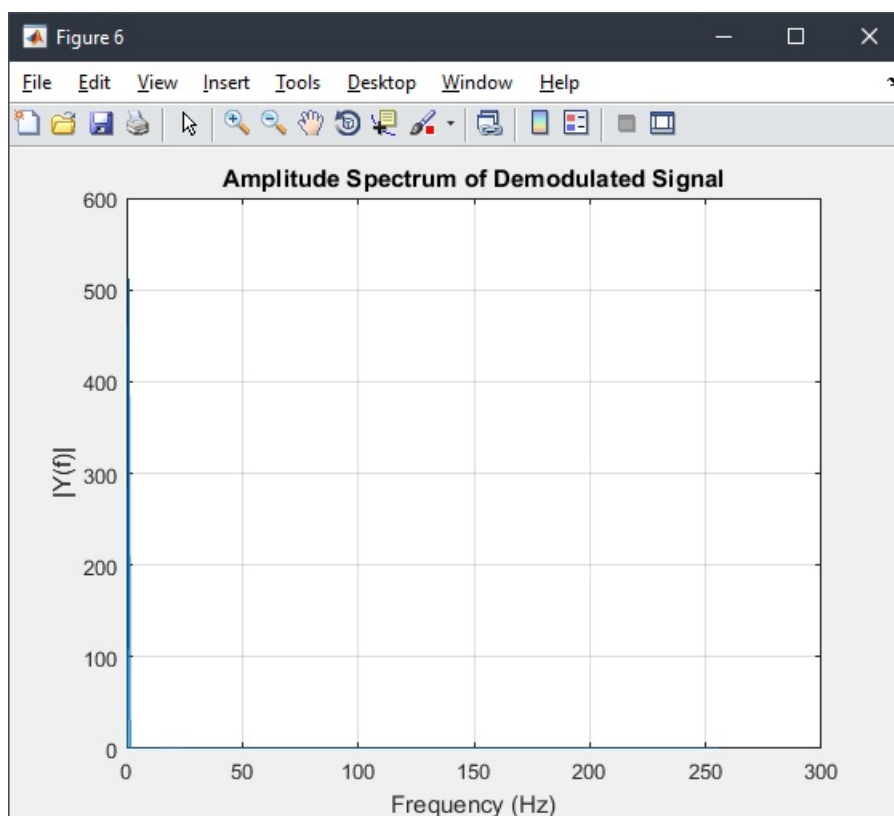


Рис. 14: Спектр демодулированного сигнала

5. Выводы

Таким образом, мы рассмотрели два метода модуляции: фазовую и частотную.

Частотная модуляция - это вид аналоговой модуляции, при которой, частота несущей изменяется по за-

кону модулирующего низкочастотного сигнала. Амплитуда при этом остается постоянной. Такая модуляция очень широко используется в радиовещании. Один из основных достоинств ЧМ - помехоустойчивость.

При фазовой модуляции фаза несущей изменяется прямо пропорционально информационному сигналу. Этот вид модуляции используется гораздо реже ввиду своей низкой помехозащищенности.