

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет  
Институт Информационных Технологий и Управления  
**Кафедра Компьютерных Систем и Программных Технологий**

Отчёт по лабораторной работе №5  
на тему  
**Частотная и фазовая модуляция**

**Работу выполнил**  
Студент группы 33501/1  
Иванов А.А.  
**Преподаватель**  
Богач Н.В.

# 1 Цель работы

Изучить частотную и фазовую модуляцию/демодуляцию сигнала.

## 2 Постановка задачи

1. Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты;
2. Выполнить фазовую модуляцию/демодуляцию сигнала по закону  $u(t) = U_m \cos(\omega t + ks(t))$ , 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

**Фазовая модуляция.** При фазовой модуляции значение фазового угла постоянной несущей частоты колебаний  $w_0$  пропорционально амплитуде модулирующего сигнала  $s(t)$ . Соответственно, уравнение ФМ-сигнала определяется выражением:

$$u(t) = U_m \cos(w_0 t + ks(t))$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности. При  $s(t) = 0$ , ФМ-сигнал является простым гармоническим колебанием. С увеличением значений  $s(t)$  полная фаза колебаний  $\psi(t) = w_0 t + ks(t)$  нарастает во времени быстрее и опережает линейное нарастание  $w_0 t$ . 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  $w_0 t$  немодулированного колебания также является максимальным и носит название *девиации фазы* (вверх  $\Delta\phi_B = ksmax(t)$ , или вниз  $\Delta\phi_H = ksmmin(t)$  с учетом знака экстремальных значений модулирующего сигнала).

**Частотная модуляция.** Частотная модуляция характеризуется линейной связью модулирующего сигнала с мгновенной частотой колебаний, при которой мгновенная частота колебаний образуется сложением частоты высокочастотного несущего колебания  $w_0$  со значением амплитуды модулирующего сигнала с определенным коэффициентом пропорциональности  $k$ :

$$w(t) = w_0 + ks(t)$$

Соответственно, полная фаза колебаний:

$$\psi(t) = w_0(t) + k \int_0^t s(t) dt + \phi_0$$

Уравнение ЧМ-сигнала:

$$u(t) = U_m \cos(w_0(t) + k \int_0^t s(t) dt + \phi_0)$$

Аналогично ФМ, для характеристики глубины частотной модуляции используются понятия *девиации частоты* вверх  $\Delta w_e = ksmax(t)$ , и вниз  $\Delta\phi_e = ksmmin(t)$ .

## 4 Ход работы

Сгенерируем низкочастотный однотоновый сигнал:

```
f = 50;  
Fs = f*10;  
t = 0:1/Fs:5;  
x = sin(2*pi*t);  
plot(t,x);
```

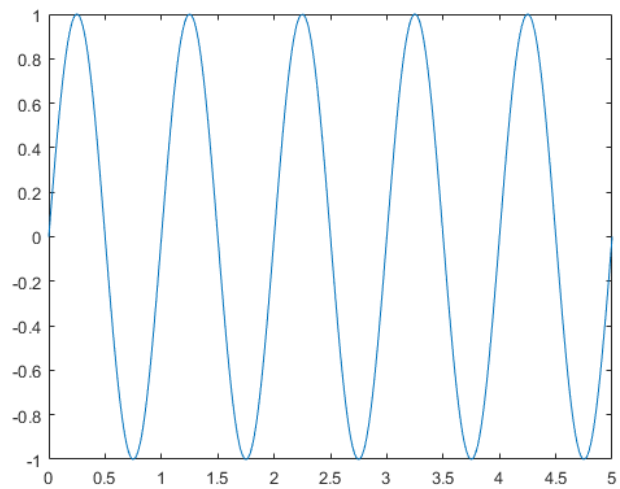


Рис. 1: Исходный сигнал

## 4.1 Фазовая модуляция/демодуляция

Выполним фазовую модуляцию сигнала по закону  $u(t) = U_m \cos(\omega t + ks(t))$ , используя встроенную функцию Matlab *pmmmod*, *pmdemod*;

```
phaseDev = pi/2;  
mod = pmmmod(x, fc, Fs, phaseDev);  
figure;  
plot(t, mod);  
N = length(t);  
fftL = 2^nextpow2(N);  
Y = abs(fft(mod, fftL));  
F=0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL  
figure;  
plot(F,Y(1:length(F)));
```

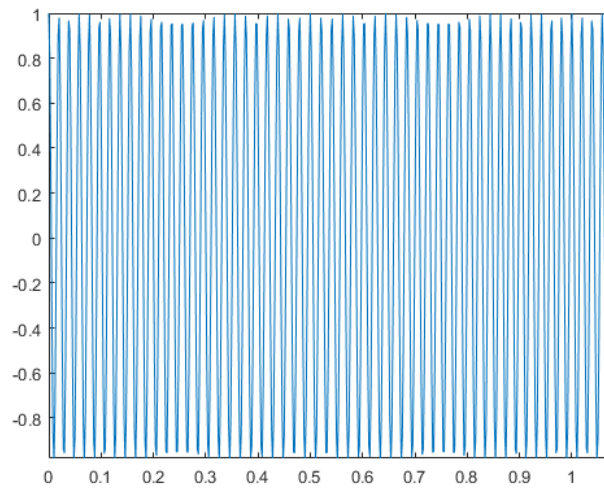


Рис. 2: Сигнал после фазовой модуляции

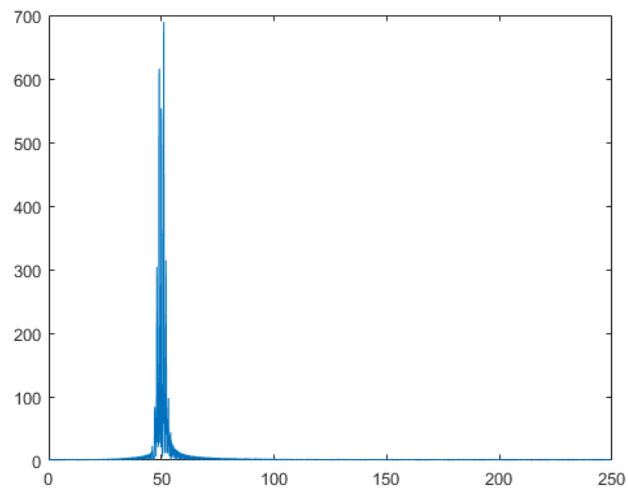


Рис. 3: Спектр сигнала после фазовой модуляции

Проведем демодуляцию:

```
sig = pmdemod(mod, fc, Fs, phaseDev);  
figure; plot(t ,sig);  
N = length(t);  
fftL = 2^nextpow2(N);  
Y = abs(fft(sig, fftL));  
F=0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;  
figure;  
plot(F, Y(1:length(F)));
```

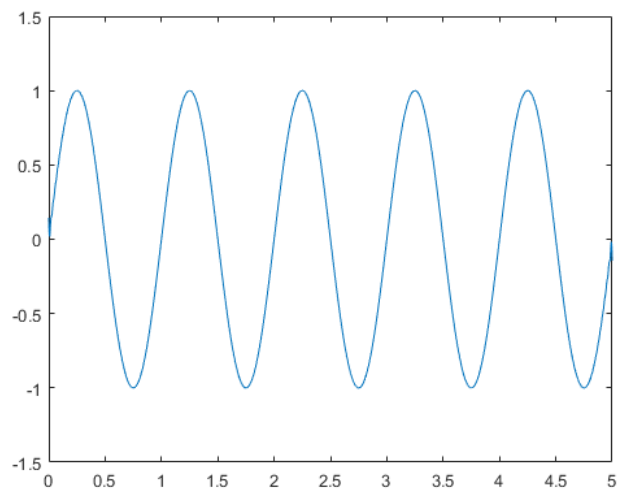


Рис. 4: Сигнал после фазовой демодуляции

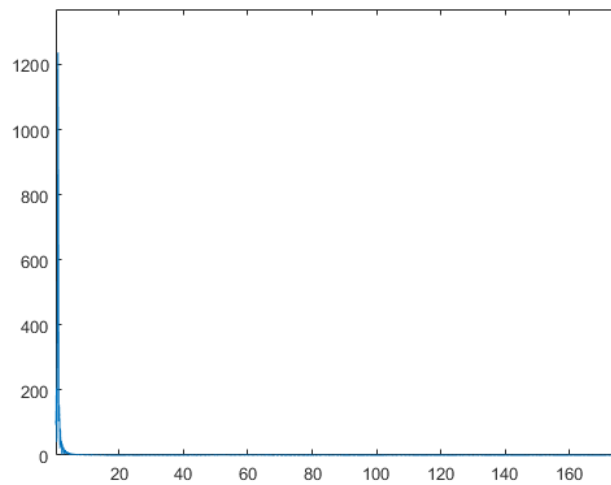


Рис. 5: Спектр сигнала после фазовой демодуляции

## 4.2 Частотная модуляция/демодуляция

Выполним частотную модуляцию по закону:

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

используя встроенные функции Matlab *fmod*, *fmdemod*;

```
freqDev = 15;  
mod = fmod(x, fc, Fs, freqDev);  
figure;  
plot(t, mod);  
N = length(t);  
fftL = 2^nextpow2(N);  
Y = abs(fft(mod, fftL));  
F = 0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;  
figure;  
plot(F, Y(1:length(F)));
```

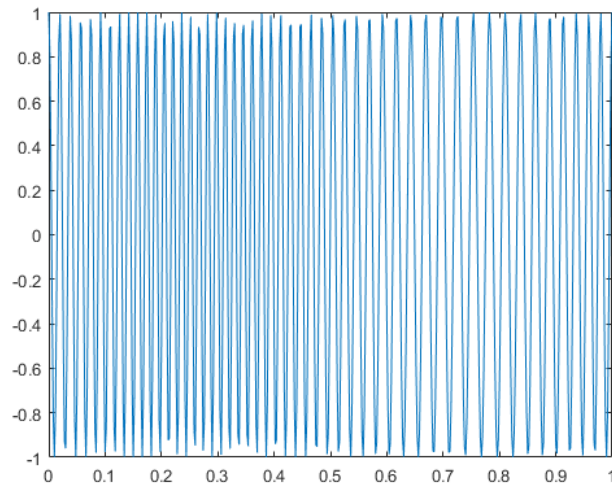


Рис. 6: Сигнал после частотной модуляции

Проведем демодуляцию:

```
sig = fmdemod(mod, fc, Fs, freqDev);  
figure;  
plot(t, sig);  
N = length(t);  
fftL = 2^nextpow2(N);  
Y = abs(fft(sig, fftL));  
F = 0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;  
figure;  
plot(F, Y(1:length(F)));
```

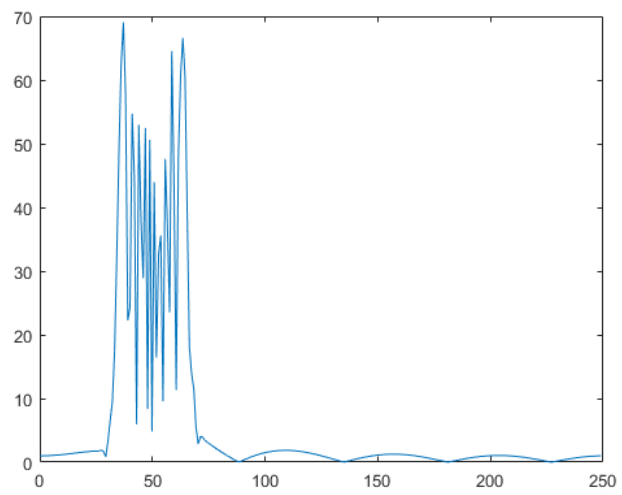


Рис. 7: Спектр сигнала после частотной модуляции

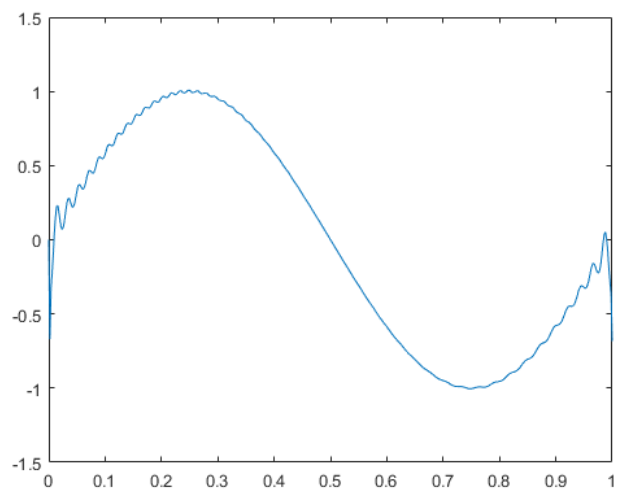


Рис. 8: Сигнал после частотной демодуляции

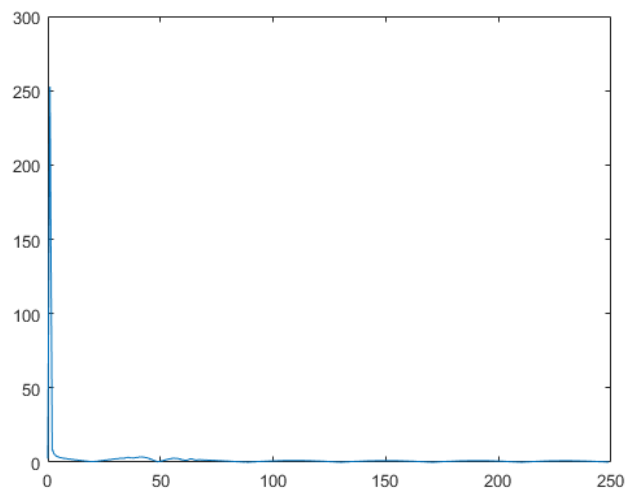


Рис. 9: Спектр сигнала после частотной демодуляции

## 5 Вывод

В ходе данной работы были получены навыки частотной и фазовой модуляции/демодуляции сигнала.

Для их демодуляции можно использовать схему ФАПЧ, которая сравнивает сигналы путём перемножения в ФД, где внешний сигнал и сигнал с выхода ГУН создают комбинационные частоты (т.е. суммарные и разностные частоты).

Надо отметить следующее: когда колебание промодулировано гармоническим сигналом, отличить частотную модуляцию от фазовой можно, только сравнив изменения мгновенной фазы модулированного колебания с законом изменения модулирующего сигнала.