

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

Отчёт по лабораторной работе №4,5
на тему
Аналоговая модуляция. Частотная и фазовая модуляция

Работу выполнила
Студент группы 33501/1
Романов Н.В.
Преподаватель
Богач Н.В.

1 Цель работы

Изучить амплитудную модуляцию/демодуляцию сигнала. Изучить частотную и фазовую модуляцию/демодуляцию сигнала.

2 Постановка задачи

1. Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты;
2. Выполнить амплитудную модуляцию (АМ) сигнала по закону $u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(w_0 t + \phi_0)$ для различных значений глубины модуляции M . Используйте встроенную функцию Matlab *ammod*;
3. Получить спектр модулированного сигнала;
4. Выполнить модуляцию с подавлением несущей $u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(w_0 t + \phi_0)$. Получить спектр;
5. Выполнить одностороннюю модуляцию:

$$u(t) = U_m \cos(\Omega t) \cos(w_0 t + \phi_0) + \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^N M_n (\cos(w_0 + \Omega_n)t + \phi_0 + \Phi_n)$$

положив $n=1$;

6. Выполнить синхронное детектирование и получить исходный односторонний сигнал;
7. Рассчитать КПД модуляции:

$$\mu_{AM} = \frac{U_m^2 M^2}{4P_U} = \frac{M^2}{M^2 + 2}$$

8. Выполнить фазовую модуляцию/демодуляцию сигнала по закону $u(t) = U_m \cos(\omega t + ks(t))$, используя встроенную функцию Matlab *pmmod*, *pmdemod*;
9. Получить спектр модулированного сигнала;
10. 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

Модуляция аналоговых сигналов. Сигналы от любых источников информации передаются по линиям связи к приемникам. 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, 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*.

Наиболее распространенной формой несущих сигналов являются гармонические колебания:

$$u(t) = U \cos(\omega t + \phi)$$

которые имеют три свободных параметра: U , ω и ϕ . В зависимости от того, на какой из данных параметров переносится информация, различают *амплитудную* (АМ), *частотную* (ЧМ) и *фазовую* (ФМ) модуляции несущего сигнала.

Амплитудная модуляция/демодуляция. При АМ выполняется перенос информации $s(t)$ на $U(t)$ при постоянных значениях параметров несущей частоты ω и ϕ . АМ-сигнал представляет собой произведение информационной огибающей $U(t)$ и гармонического колебания ее заполнения с более высокими частотами:

$$U(t) = U_m(1 + M s(t))$$

где U_m – постоянная амплитуда несущего колебания при отсутствии входного (модулирующего) сигнала $s(t)$, M – глубина АМ. Значение M должно находиться в пределах от 0 до 1 для всех гармоник модулирующего сигнала.

Простейшая форма модулированного сигнала создается при однотоновой амплитудной модуляции – модуляции несущего сигнала гармоническим колебанием с одной частотой Ω :

$$u(t) = U_m(1 + M \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t)$$

Значения начальной фазы углов примем равными нулю. Поскольку $\cos(x)\cos(y) = \frac{1}{2}(\cos(x+y) + \cos(x-y))$, из предыдущего выражения получаем:

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t) + \frac{U_m M}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t] + \frac{U_m M}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t]$$

Данное соотношение называется основной теоремой модуляции: модулирующее колебание с частотой Ω перемещается в область частоты ω_0 и расщепляется на два колебания, симметричные относительно частоты ω_0 , с частотами соответственно $\omega_0 + \Omega$ верхняя боковая частота, и $\omega_0 - \Omega$ нижняя боковая частота.

Коэффициент полезного действия данного типа модуляции определяется отношением мощности боковых частот к общей средней мощности модулированного сигнала:

$$\mu_{AM} = \frac{U_m^2 M^2}{4 P_U} = \frac{M^2}{M^2 + 2}$$

Отсюда следует, что при $M=1$ КПД амплитудной модуляции составляет только 33%, а на практике обычно меньше 20%.

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 $\psi(t) = \omega_0 t + k s(t)$ 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 $\Delta\phi_B = k s_{max}(t)$, или вниз $\Delta\phi_H = k s_{min}(t)$ 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 ω_0 со значением амплитуды модулирующего сигнала с определенным коэффициентом пропорциональности k :

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

Соответственно, полная фаза колебаний:

$$\psi(t) = \omega_0 t + k \int_0^t s(t) dt + \phi_0$$

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 $\Delta w_e = k s_{max}(t)$, и вниз $\Delta \phi_e = k s_{min}(t)$.

4 Ход работы

4.1 MatLab

Сгенерируем однотоновый сигнал низкой частоты.

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

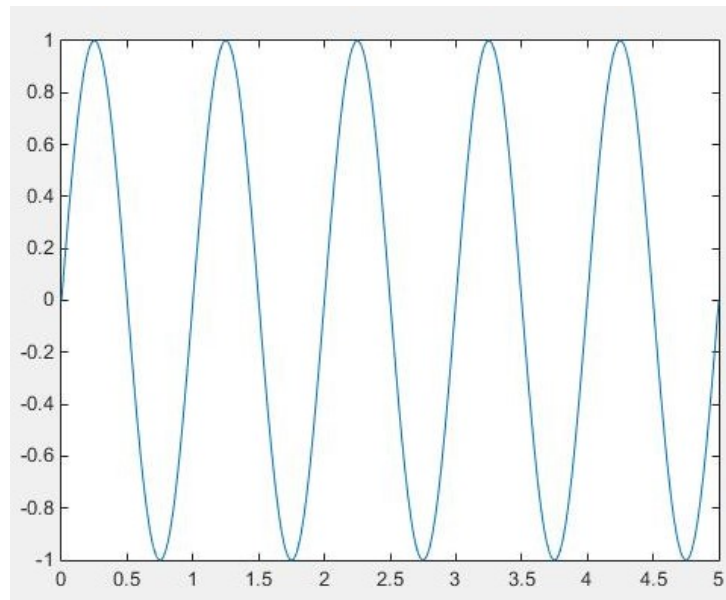


Рис. 1: Исходный однотоновый сигнал

Выполним амплитудную модуляцию (АМ) сигнала по закону $u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(w_0 t + \phi_0)$ для различных значений глубины модуляции М.

```
iniPhase = 0;
M = 1;
mod = ammod(x, fc, Fs, iniPhase, M);
figure;
plot(t,mod);

N = length(t);
fftL = 2^nextrpow2(N);
Y = abs (fft(mod, fftL));
F=0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;
figure;
plot (F,Y(1:length(F)));
```

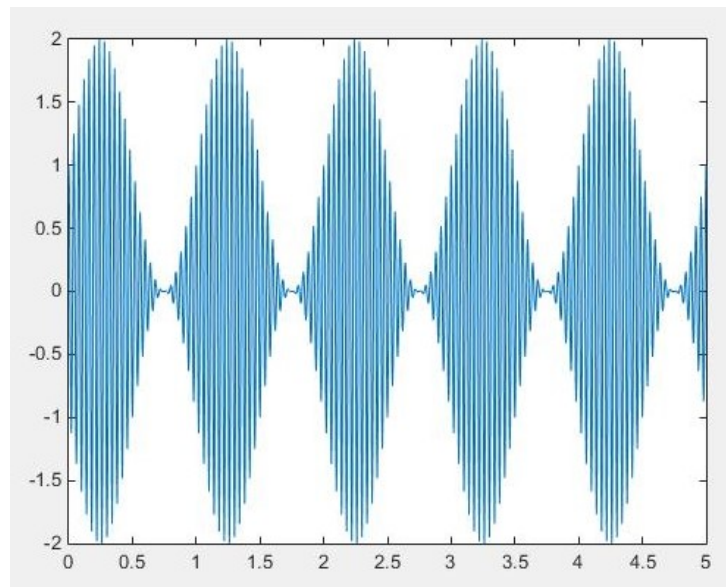


Рис. 2: Смоделированный сигнал при M=1

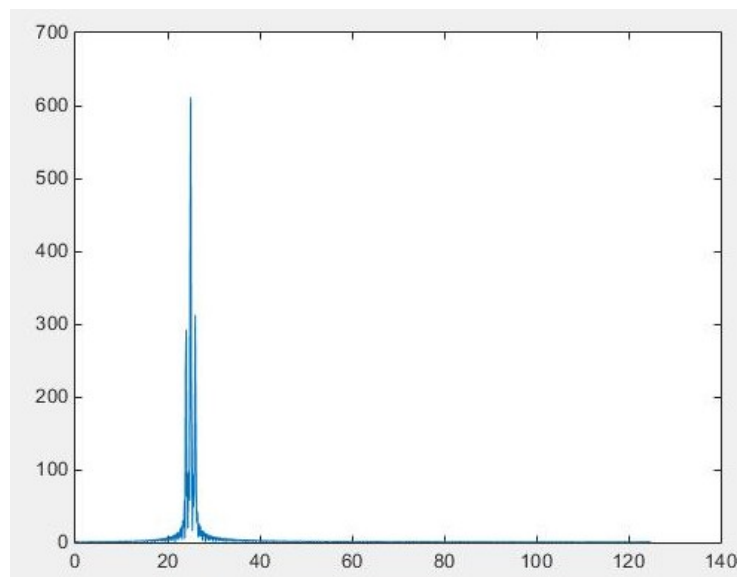


Рис. 3: Спектр смоделированного сигнал при M=1

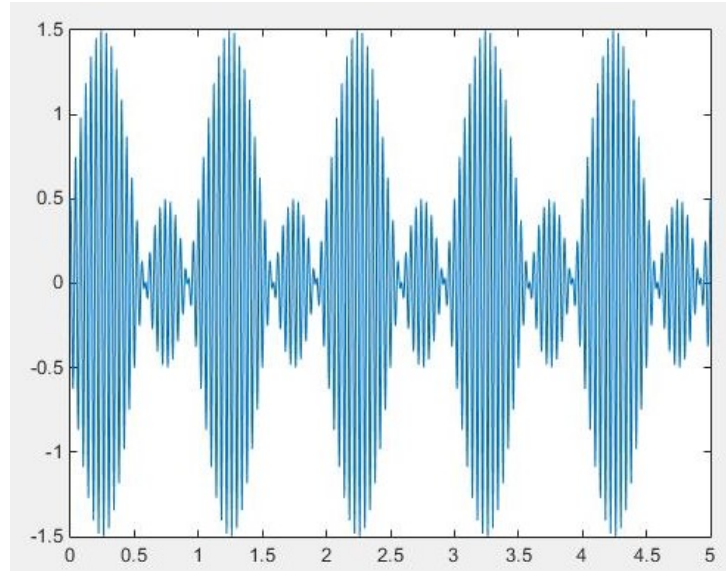


Рис. 4: Смоделированный сигнал при $M=0.25$

Выполним модуляцию с подавлением несущей $u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(w_0 t + \phi_0)$.

```

iniPhase = 0;
mod = ammod(x, fc, Fs, iniPhase);
figure;
plot(t, mod);

N = length(t);
fftL = 2^nexpow2(N);
Y = abs(fft(mod, fftL));
F = 0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));

```

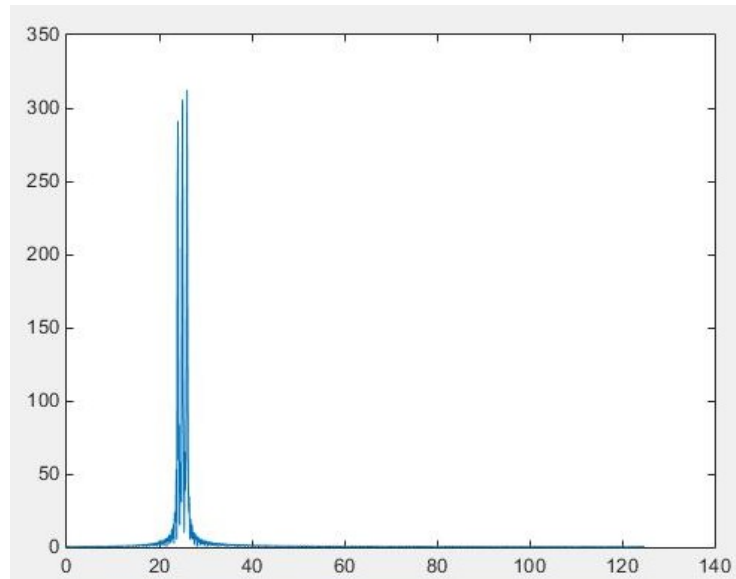


Рис. 5: Спектр смоделированного сигнала при $M=0.25$

Выполним однополосную модуляцию:

$$u(t) = U_m \cos(\Omega t) \cos(w_0 t + \phi_0) + \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^N M_n (\cos(w_0 + \Omega_n)t + \phi_0 + \Phi_n)$$

положив $n=1$;

```
Fs = fc*128;
t = 0:1/Fs:2.5;
x = sin(2*pi*t);
mod = ssbmod(x, fc, Fs);
figure;
plot(t, mod);
```

```
N = length(t);
fftL = 2^n*expow2(N);
Y = abs(fft(mod, fftL));
F=0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));
```

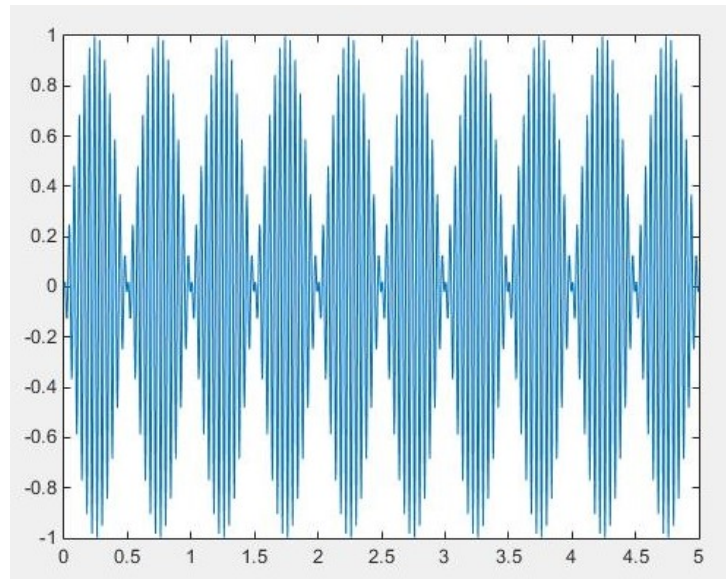


Рис. 6: Смоделированный сигнал с подавлением несущей

```

    Выполним синхронное детектирование и получим исходный однополосный сигнал;
    sig = ssbdemod(mod, fc, Fs);
figure;
plot(t, sig);

    N = length(t);
    fftL = 2^n*expow2(N);
    Y = abs(fft(sig, fftL));
    F=0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;
figure;
plot(F,Y(1:length(F)));

```

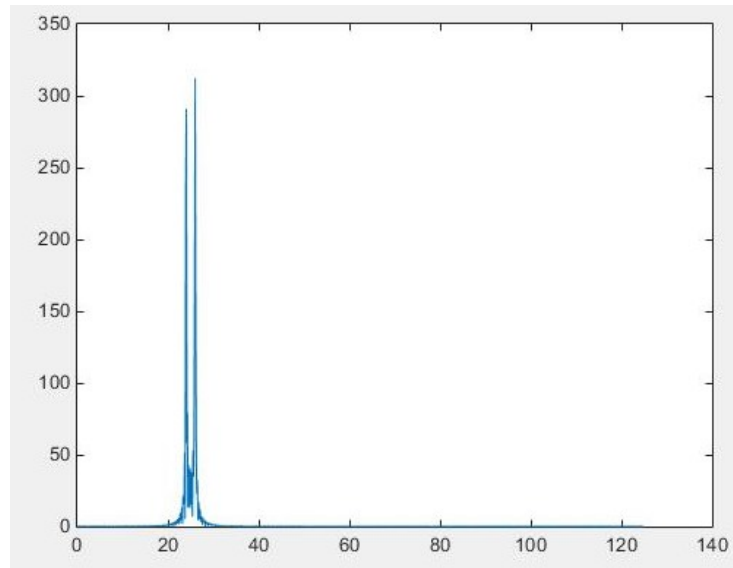



Рис. 7: Спектр смоделированного сигнала с подавлением несущей

Рассчитаем КПД модуляции при различных M :

1. $M=1$

$$\mu_{AM} = \frac{M^2}{M^2+2} = \frac{1}{3} = 33\%$$

2. $M=0.5$

$$\mu_{AM} = \frac{M^2}{M^2+2} = \frac{0.25}{2.25} = 11.1\%$$

3. $M=2$

$$\mu_{AM} = \frac{M^2}{M^2+2} = \frac{4}{6} = 66.6\%$$

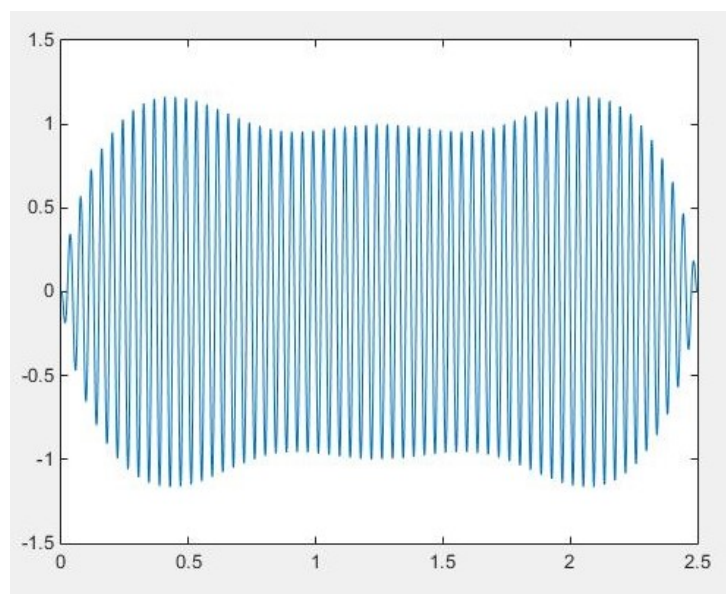


Рис. 8: Сигнал после однополосной модуляции

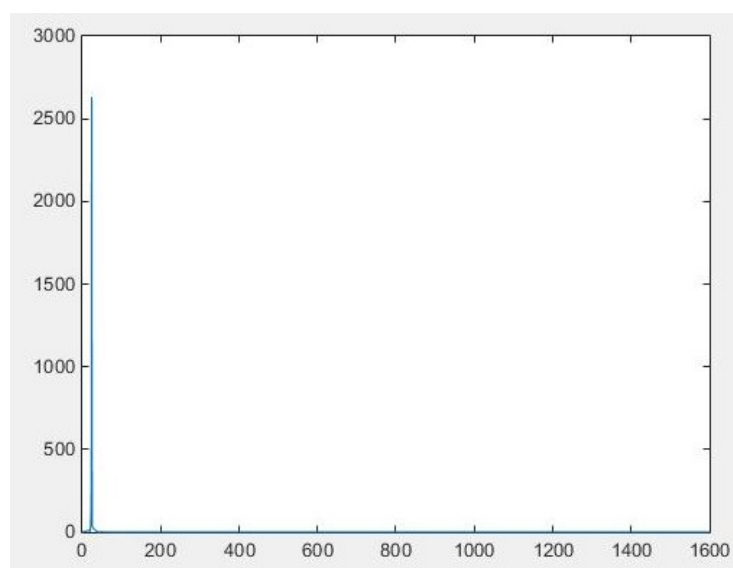


Рис. 9: Спектр сигнала после однополосной модуляции

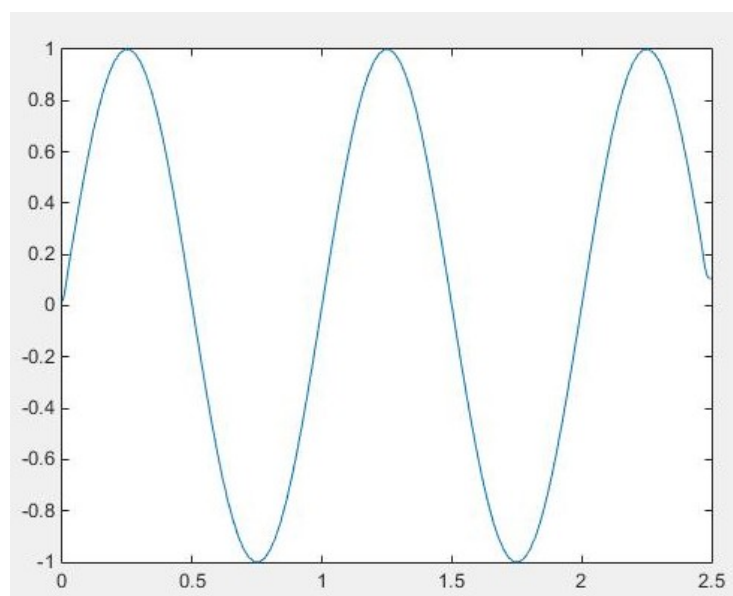


Рис. 10: Сигнал после синхронного детектирования

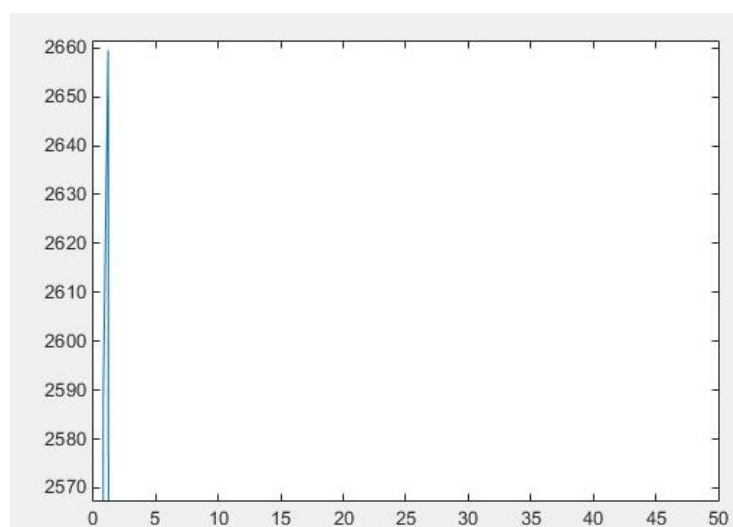


Рис. 11: Спектр сигнала после синхронного детектирования

Выполним фазовую модуляцию/демодуляцию сигнала по закону $u(t) = U_m \cos(\omega t + ks(t))$

```
phaseDev = pi/2;
mod = pmmmod(x, fc, Fs, phaseDev);
figure;
plot(t, mod);

N = length(t);
fftL = 2^n*expow2(N);
Y = abs(fft(mod, fftL));
F=0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;
figure;
plot(F,Y(1:length(F)));

sig = pmdemod(mod, fc, Fs, phaseDev);
figure;
plot(t ,sig);

N = length(t);
fftL = 2^n*expow2(N);
Y = abs(fft(sig, fftL));
F=0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));
```

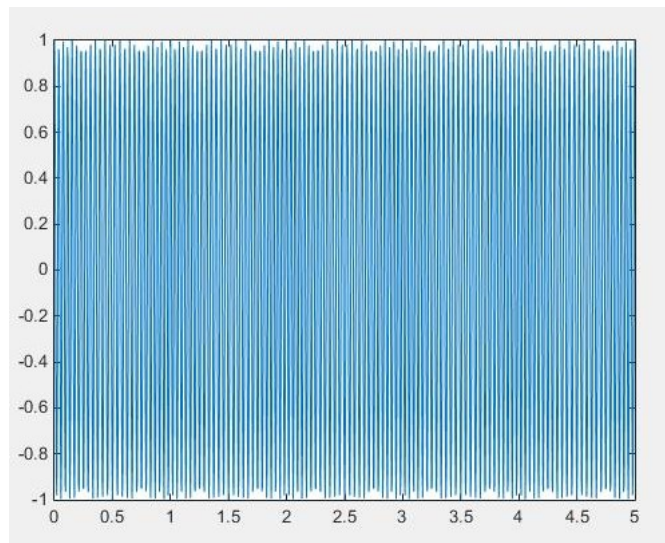


Рис. 12: Сигнал после фазовой модуляции

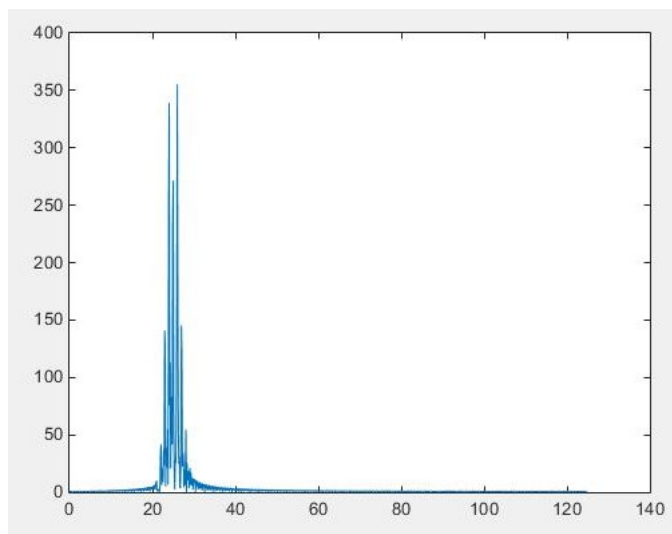


Рис. 13: Спектр сигнала после фазовой модуляции

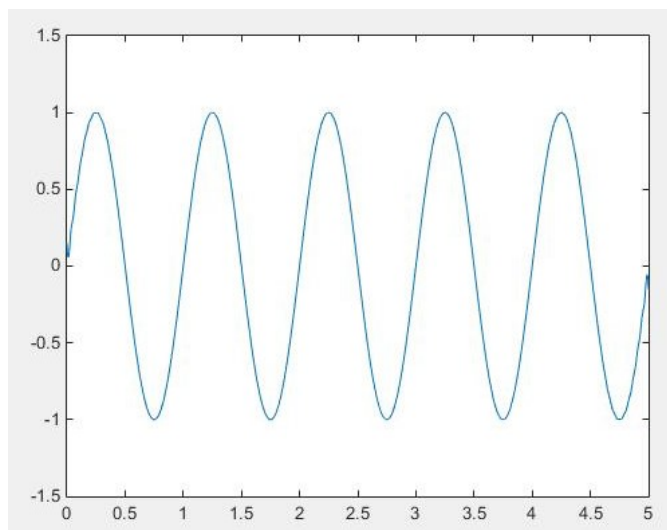


Рис. 14: Сигнал после фазовой демодуляции

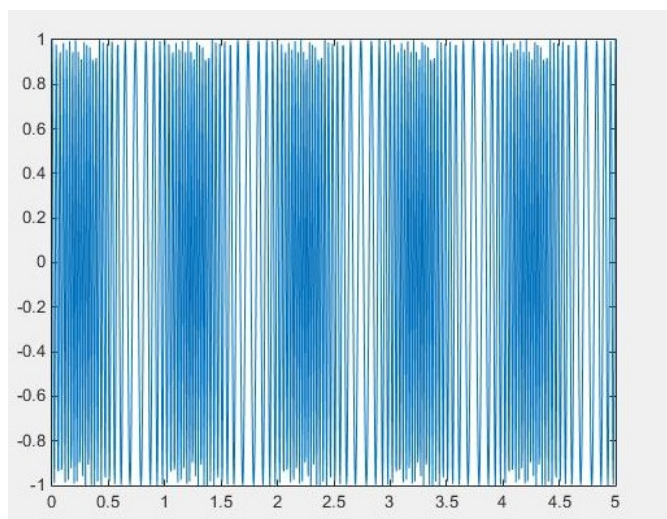


Рис. 15: Спектр сигнала после фазовой демодуляции

Выполнить частотную модуляцию/демодуляцию по закону:

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

```

freqDev = 15;
mod = fmmod(x, fc, Fs, freqDev);
figure;
plot(t, mod);

N = length(t);
fftL = 2^nextrpow2(N);
Y = abs(fft(mod, fftL));
F=0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));

sig = fmdemod(mod, fc, Fs, freqDev);
figure;
plot(t, sig);

N = length(t);
fftL = 2^nextrpow2(N);
Y = abs(fft(sig, fftL));
F=0:Fs/fftL:Fs/2-1/fftL;
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));

```

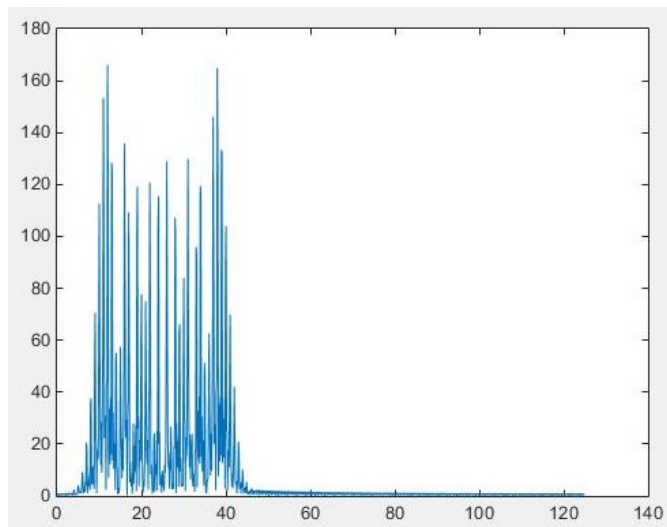


Рис. 16: Сигнал после частотной модуляции

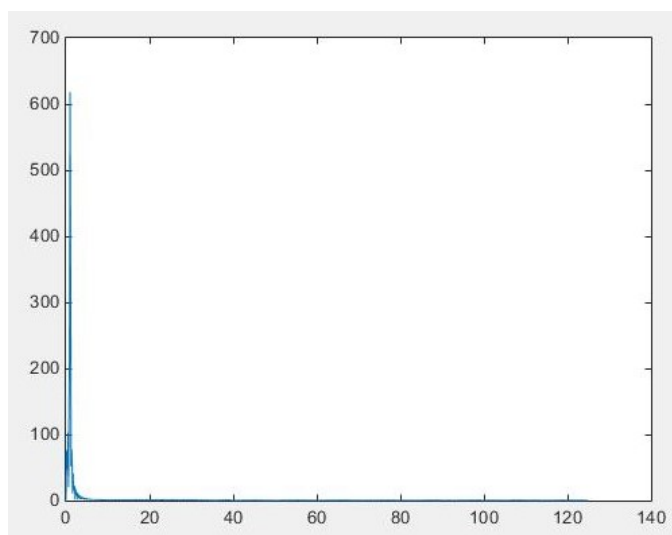


Рис. 17: Спектр сигнала после частотной модуляции

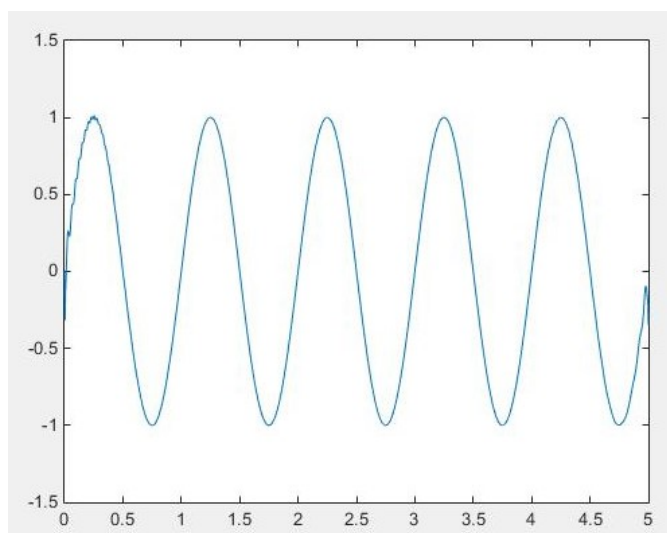


Рис. 18: Сигнал после частотной демодуляции

5 Вывод

В ходе данной лабораторной работы мы изучили методы аналоговой модуляции, в частности амплитудную, частотную и фазовую модуляции. Амплитудная модуляция в чистом виде, практически, никогда не используется сейчас. Одна из причин состоит в том, что КПД данного вида модуляции достаточно низки. Даже при применении глубокой модуляции, КПД будет равным примерно 33%. Однако при применении глубокой модуляции возникает провал огибающей кривой, ввиду чего такой сигнал нельзя корректно демодулировать, поэтому глубокую модуляцию не используют. Таким образом, реальный КПД амплитудной модуляции составляет менее 25-20%. Частотная модуляция — вид аналоговой модуляции, при котором информационный сигнал управляет частотой несущего колебания с постоянной амплитудой. Она применяется для высококачественной передачи звукового (низкочастотного) сигнала в радиовещании, для звукового сопровождения телевизионных программ и т.д. Фазовая модуляция — вид модуляции, при которой фаза несущего колебания изменяется прямо пропорционально информационному сигналу. По характеристикам фазовая модуляция близка к частотной модуляции. В случае синусоидального модулирующего (информационного) сигнала, результаты частотной и фазовой модуляции совпадают. При использовании фазовой модуляции мы получаем набор частот, следовательно имеем достаточно широкий спектр сигнала, чем, например, у амплитудной модуляции, а значит имеем и более высокую помехоустойчивость.