

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

ИНСТИТУТ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И ПРОГРАММНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

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

выполнил:
Кыльчик И.В.
группа: 33501/1
преподаватель:
Богач Н.В.

Санкт-Петербург
2018

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 $u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$ для различных значений глубины модуляции M . Используйте встроенную функцию MatLab *ammod*
3. Получить спектр модулированного сигнала.
4. Выполнить модуляцию с подавлением несущей $u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$. Получить спектр.
5. Выполнить однополосную модуляцию:

$$u(t) = U_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) + \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^N M_n (\cos(\omega_0 + \Omega_n)t + \phi_0 + \Phi_n)$$

положив $n=1$

6. Выполнить синхронное детектирование и получить исходный однополосный сигнал.
7. Рассчитать КПД модуляции.

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

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, 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 каналаобразующего 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*.

Наиболее распространенной формой несущих сигналов являются гармонические колебания:

$$u(t) = U \cos(\omega t + \varphi),$$

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) или *фазовую* (ФМ) *модуляцию* 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 *однотональной* 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 $\cos(x)\cos(y) = (1/2)[\cos(x+y) + \cos(x-y)]$, 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

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

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:

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

где k – коэффициент пропорциональности. При $s(t) = 0$, ФМ-сигнал является простым гармоническим колебанием. С увеличением значений $s(t)$ полная фаза колебаний $\psi(t) = \omega_0 t + ks(t)$ нарастает во времени быстрее и опережает линейное нарастание $\omega_0 t$. Соответственно, при уменьшении значений $s(t)$ скорость роста полной фазы во времени спадает. 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).

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 :

$$\omega(t) = \omega_0 + ks(t).$$

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:

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

Аналогично ФМ, для характеристики глубины частотной модуляции используются понятия *девиации частоты вверх* $\Delta\omega_e = ks_{max}(t)$, и *вниз* $\Delta\varphi_e = ks_{min}(t)$.

4. Ход работы

Сгенерируем однотоновый сигнал низкой частоты.

```
fc = 12;
Fs = fc * 8;
t = 0:1/Fs:5;
x = sin(2*pi*t);
plot(t, x);
```

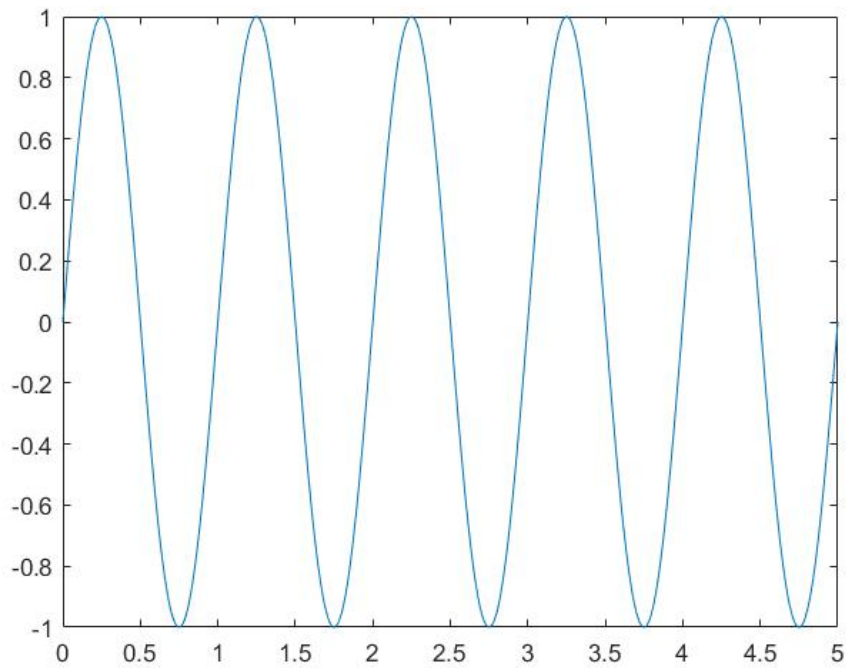


Рис. 1: Исходный однотоновый сигнал низкой частоты

Выполним амплитудную модуляцию (АМ) сигнала по закону $u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$ для различных значений глубины модуляции M .

%% 2. Perform amplitude modulation with the aid of ammod

`ini_phase = 0;`

`M = 1;`

`mod = ammod(x, fc, Fs, ini_phase, M);`

figure;

plot(t, mod);

%Will obtain the spectrum of the modulated signal

`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)));

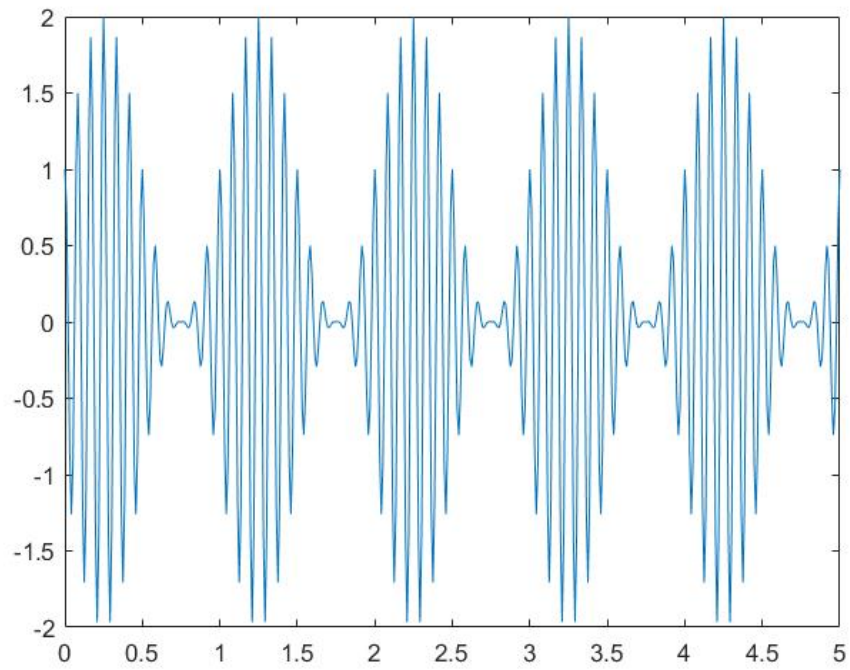


Рис. 2: Моделированный сигнал при $M = 1$

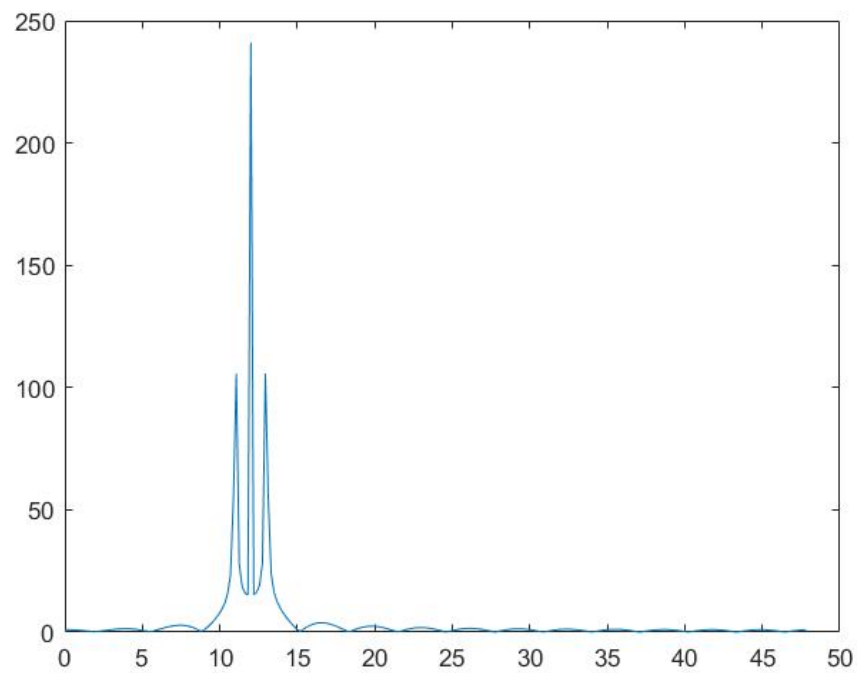


Рис. 3: Спектр моделированного сигнала $M = 1$

```
%change M
ini_phase = 0;
M = 0.5;
mod = ammod(x, fc, Fs, ini_phase, M);
```

```

figure;
plot(t, mod);

%Will obtain the spectrum of the modulated signal
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)));

```

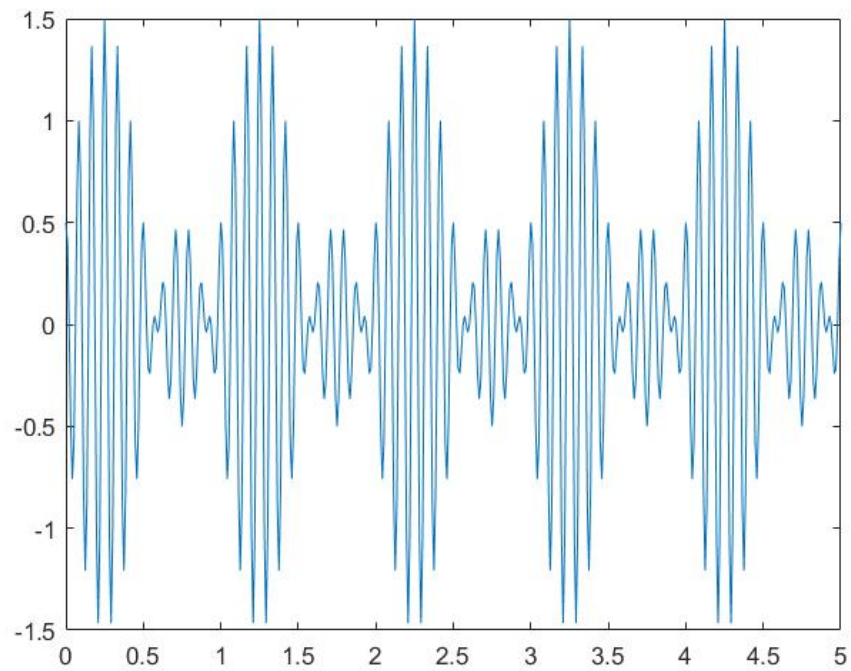


Рис. 4: Моделированный сигнал при $M = 0.5$

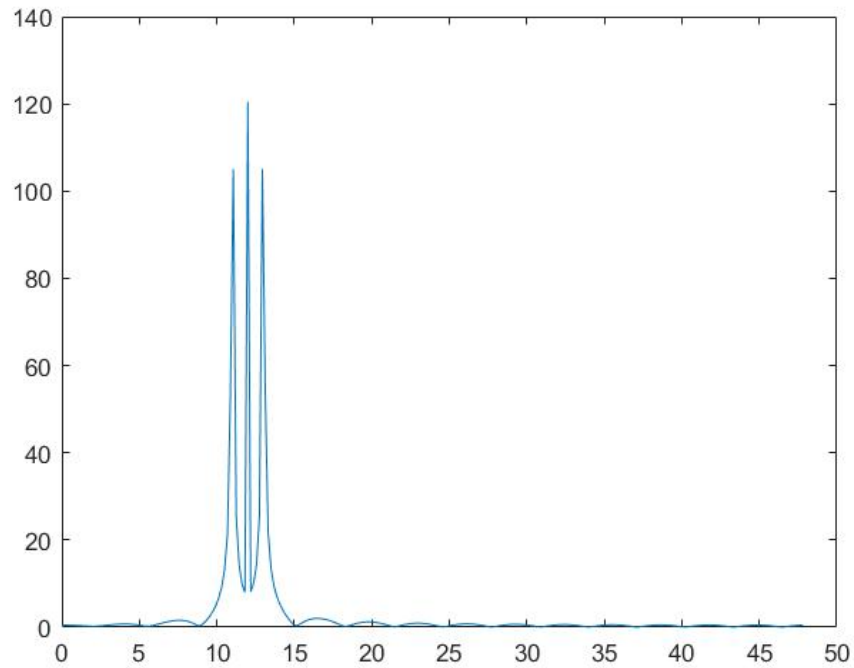


Рис. 5: Спектр моделированного сигнала $M = 0.5$

```
%change M
ini_phase = 0;
M = 1.5;
mod = ammod(x, fc, Fs, ini_phase, M);
figure;
plot(t, mod);

%Will obtain the spectrum of the modulated signal
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)));
```

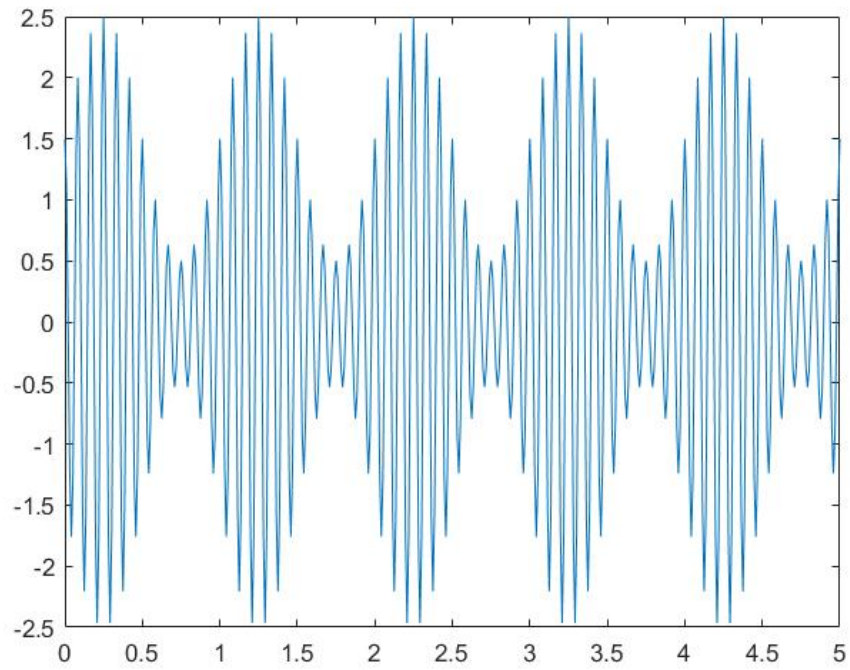



Рис. 6: Моделированный сигнал при $M = 1.5$

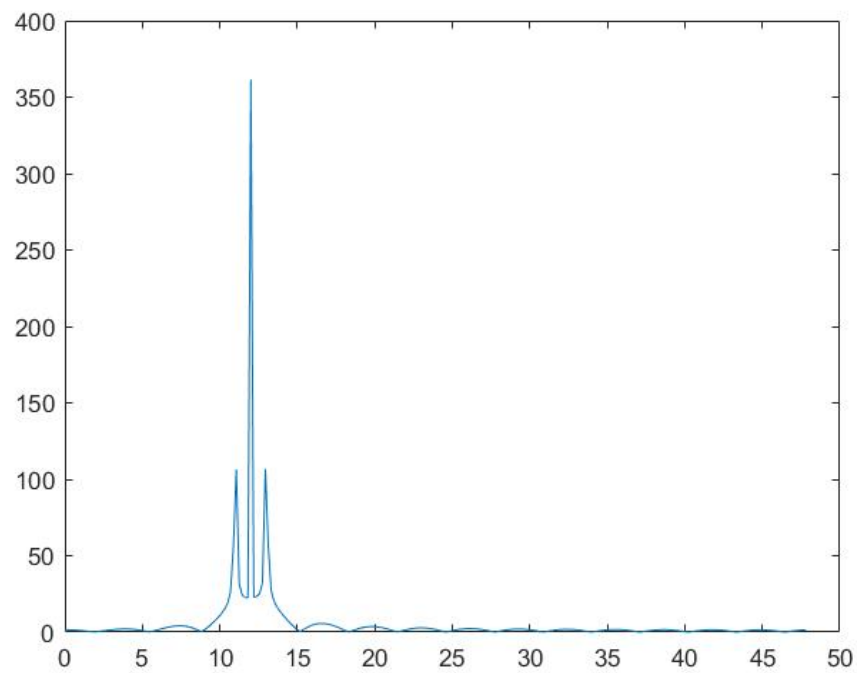


Рис. 7: Спектр моделированного сигнала $M = 1.5$

Выполним модуляцию с подавлением несущей $u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$.

```

ini_phase = 0;
mod = ammod(x, fc, Fs, ini_phase);
figure;

```

```
plot(t, mod);
```

```
%Will obtain the spectrum of the modulated signal
```

```
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)));
```

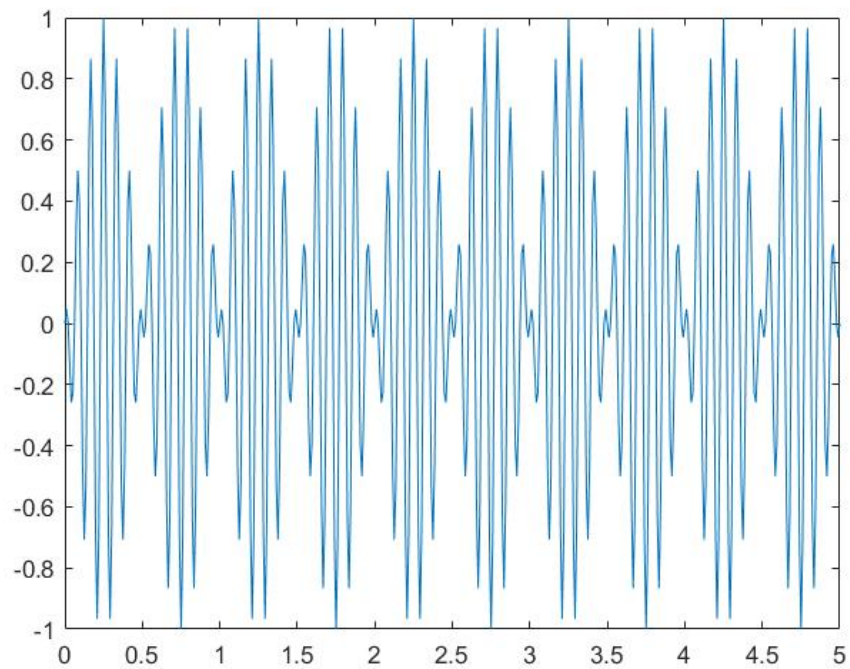


Рис. 8: Моделированный сигнал с подавлением несущей

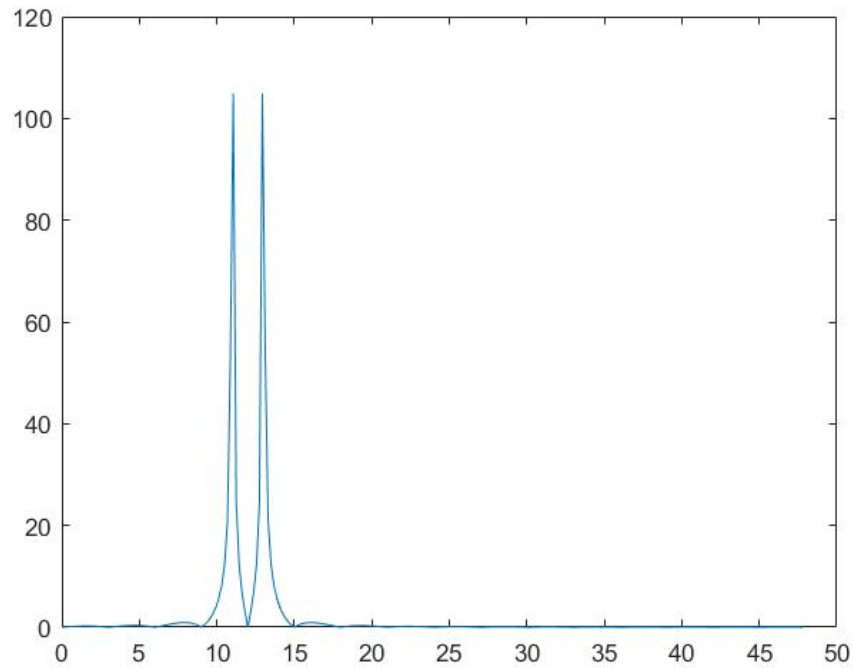


Рис. 9: Спектр моделированного сигнала с подавлением несущей

Выполним однополосную модуляцию:

$$u(t) = U_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) + \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^N M_n (\cos(\omega_0 + \Omega_n)t + \phi_0 + \Phi_n)$$

положив $n=1$.

```
Fs = fc*64;
t = 0:1/Fs:5;
x = sin(2*pi*t);
mod = ssbmod(x, fc, Fs);
figure;
plot(t, mod);
```

%Will obtain the spectrum of the modulated signal

```
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)));
```

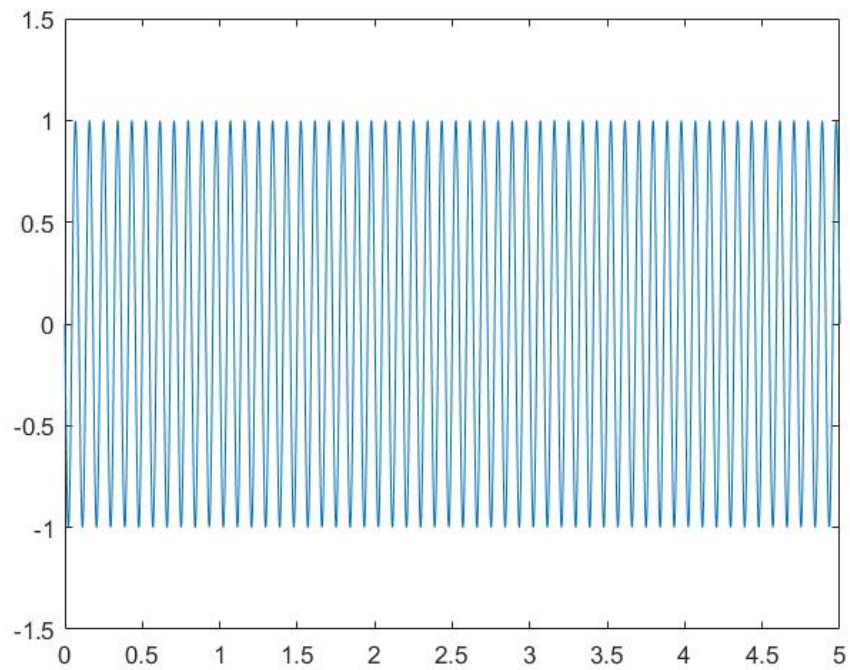


Рис. 10: Сигнал после однополосной модуляции

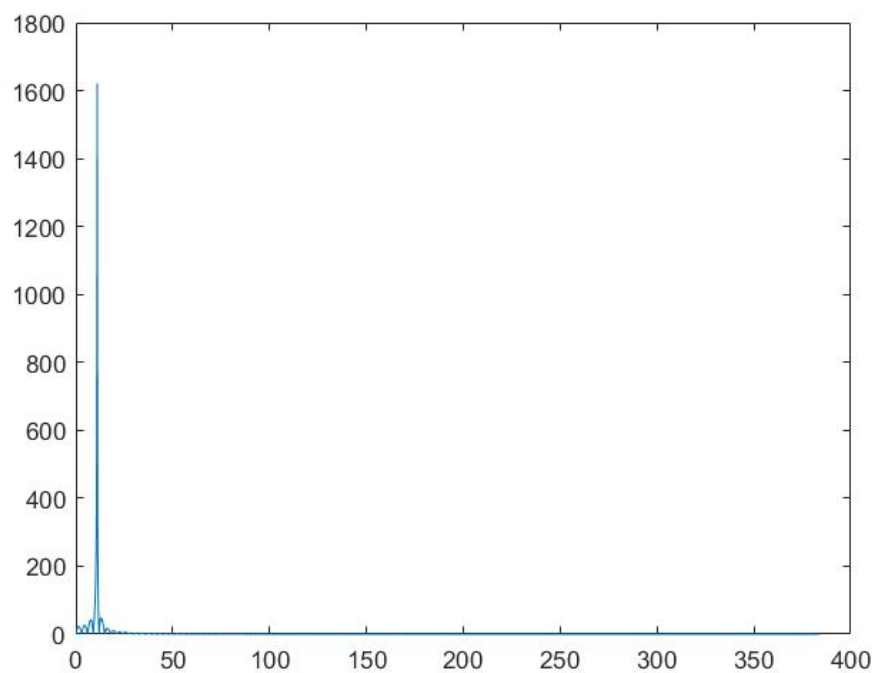


Рис. 11: Спектр сигнала после однополосной модуляции

Выполним синхронное детектирование и получим исходный однополосный сигнал.

```
sig = ssbdemod(mod, fc , Fs);  
figure;  
plot(t, sig);
```

```

%Will obtain the spectrum of the modulated signal
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)));

```

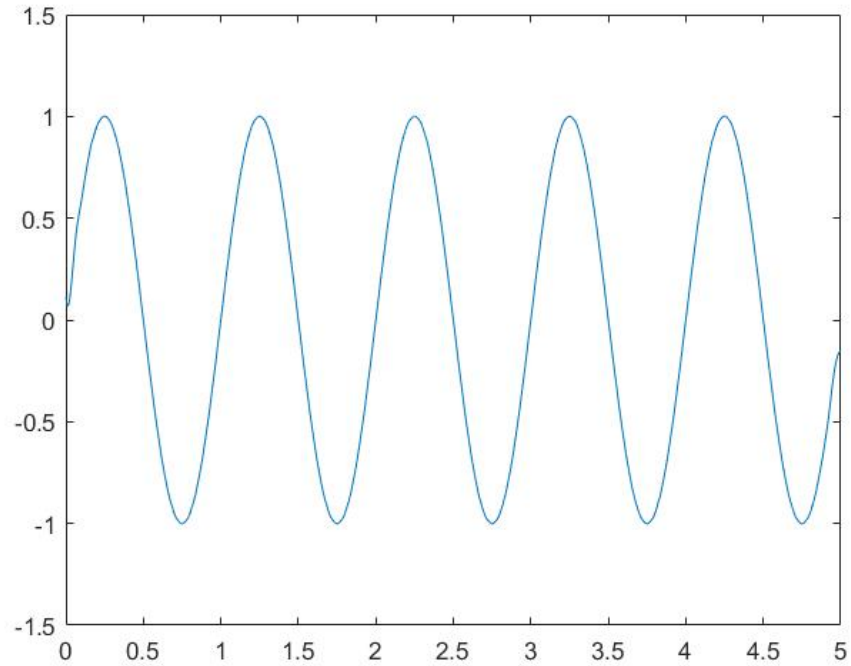


Рис. 12: Сигнал после синхронного детектирования

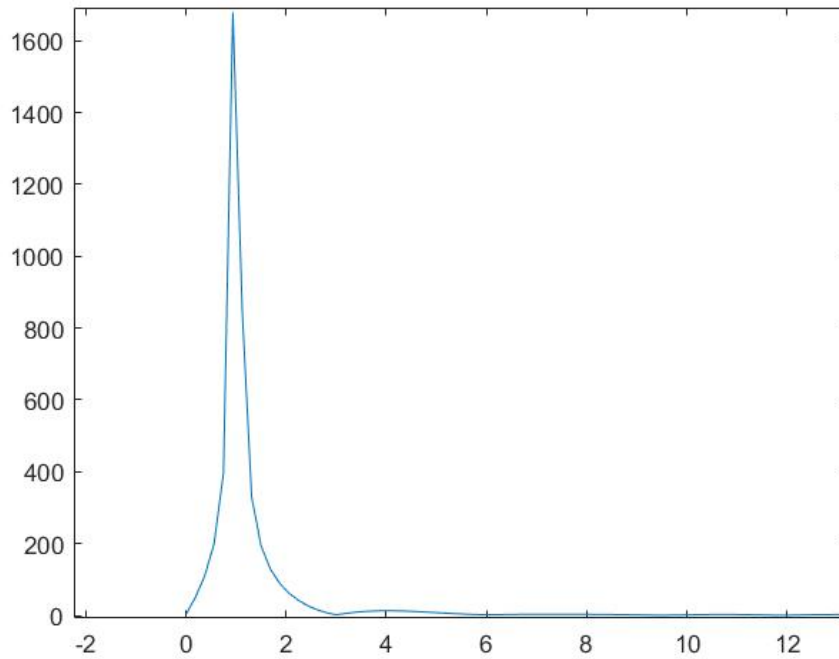


Рис. 13: Спектр сигнала после синхронного детектирования

Рассчитаем КПД модуляции при различных M .

1. $M = 1$

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

2. $M = 0.5$

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

3. $M = 1.5$

$$\eta_{AM} = \frac{M^2}{M^2 + 2} = \frac{2.25}{4.25} = 52.9\%$$

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

%% 2. Perform phase modulation with the aid of pmmod

`phase_dev = pi/2;`

`mod = pmmod(x, fc, Fs, phase_dev);`

`figure;`

`plot(t, mod);`

%Will obtain the spectrum of the modulated signal

`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)));`

%% 3. Perform phase demodulation with the aid of pmdemod

```

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

%Will obtain the spectrum of the modulated signal
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)));

```

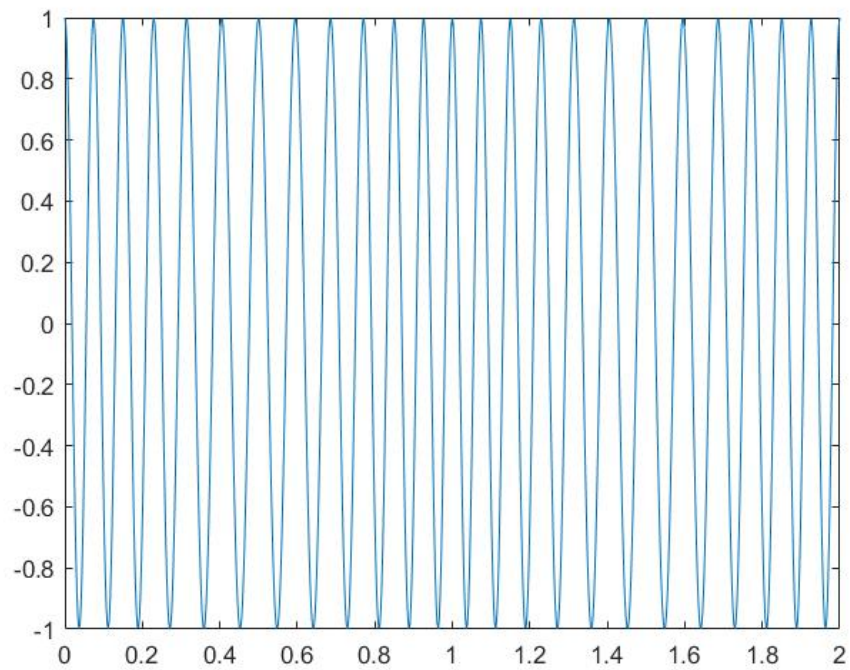


Рис. 14: Сигнал после фазовой модуляции

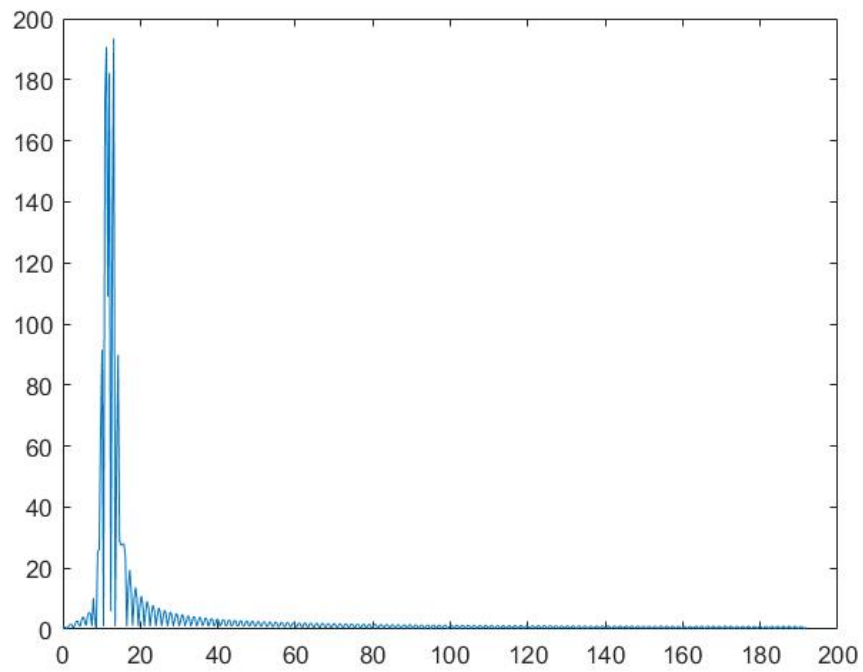


Рис. 15: Спектр сигнала после фазовой модуляции

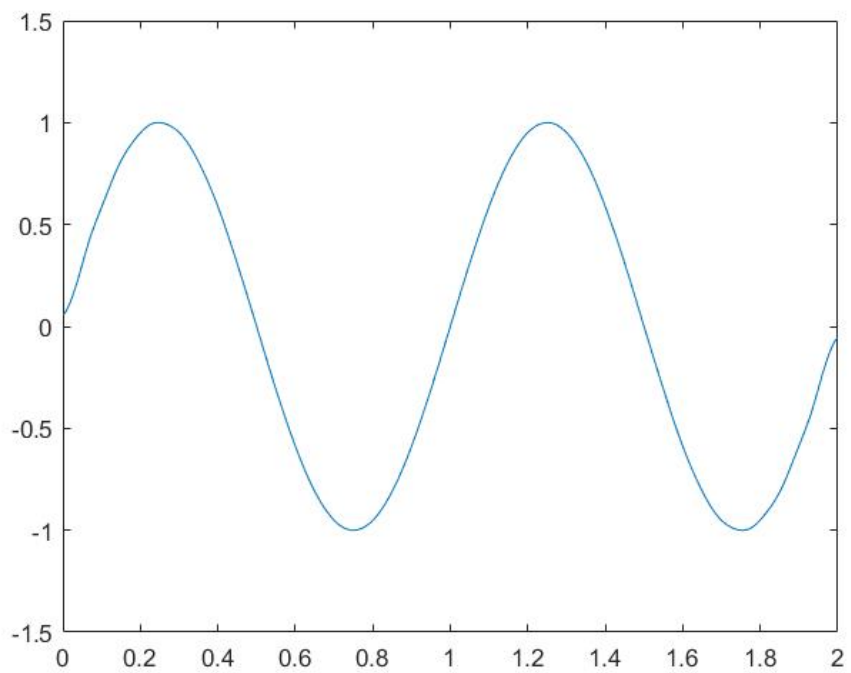


Рис. 16: Сигнал после фазовой демодуляции

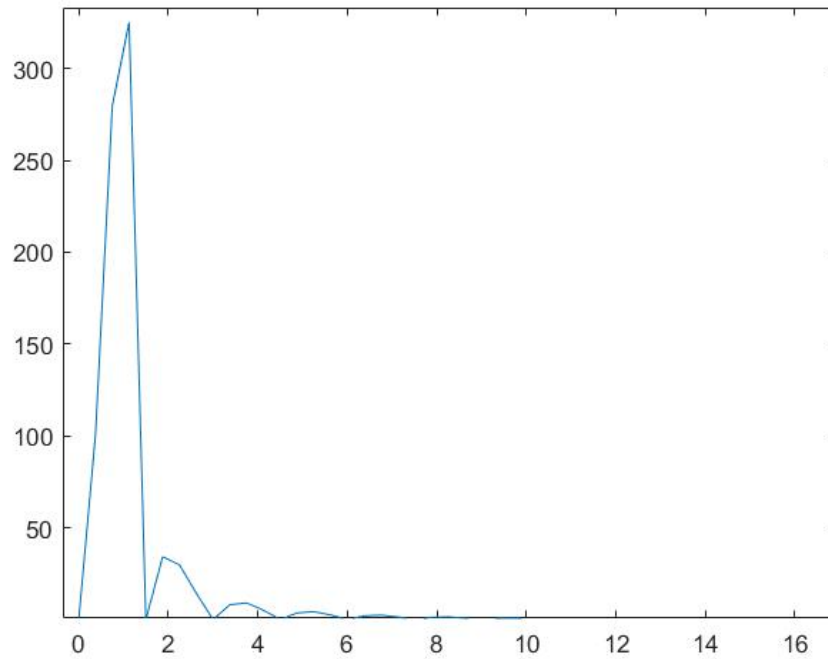


Рис. 17: Спектр сигнала после фазовой демодуляции

Выполним частотную модуляцию/демодуляцию по закону

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

```

%% 2. Perform frequency modulation with the aid of fmmod
freq_dev = 10;
mod = fmmod(x, fc, Fs, freq_dev);
figure;
plot(t, mod);

%Will obtain the spectrum of the modulated signal
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)));
%% 3. Perform frequency demodulation with the aid of fmdemod
sig = fmdemod(mod, fc, Fs, freq_dev);
figure;
plot(t, sig);

%Will obtain the spectrum of the modulated signal
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)));
```

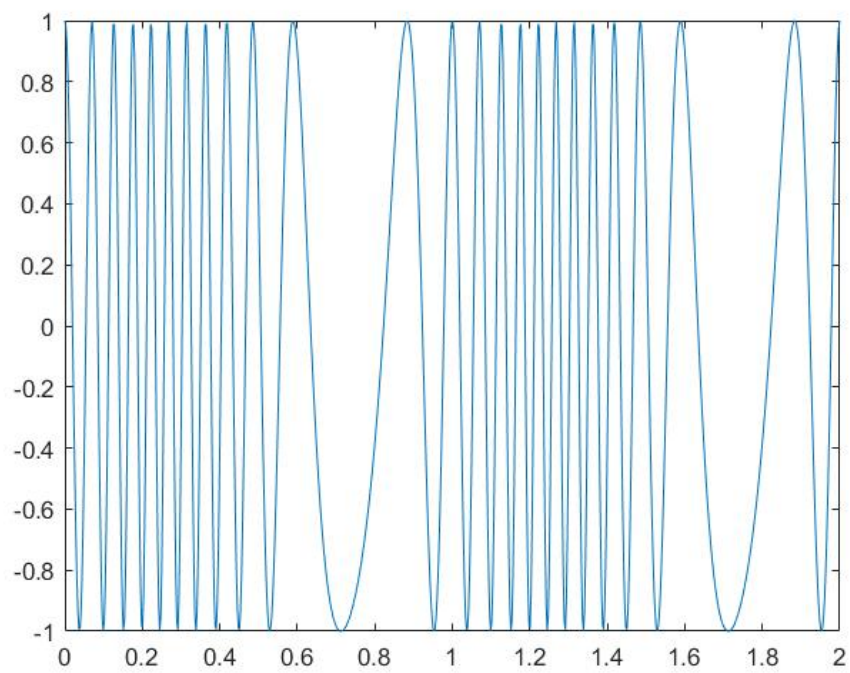


Рис. 18: Сигнал после частотной модуляции

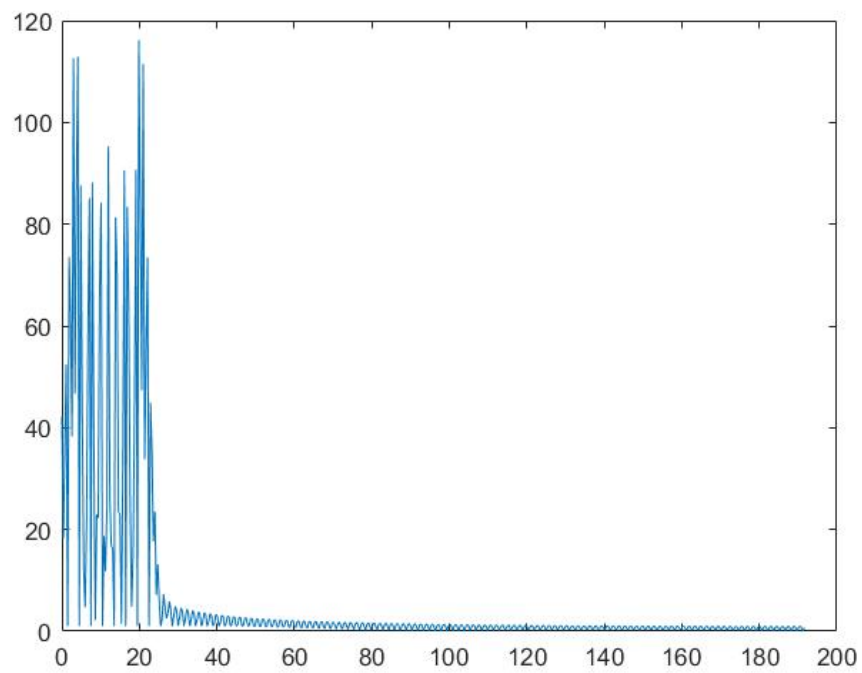


Рис. 19: Спектр сигнала после частотной модуляции

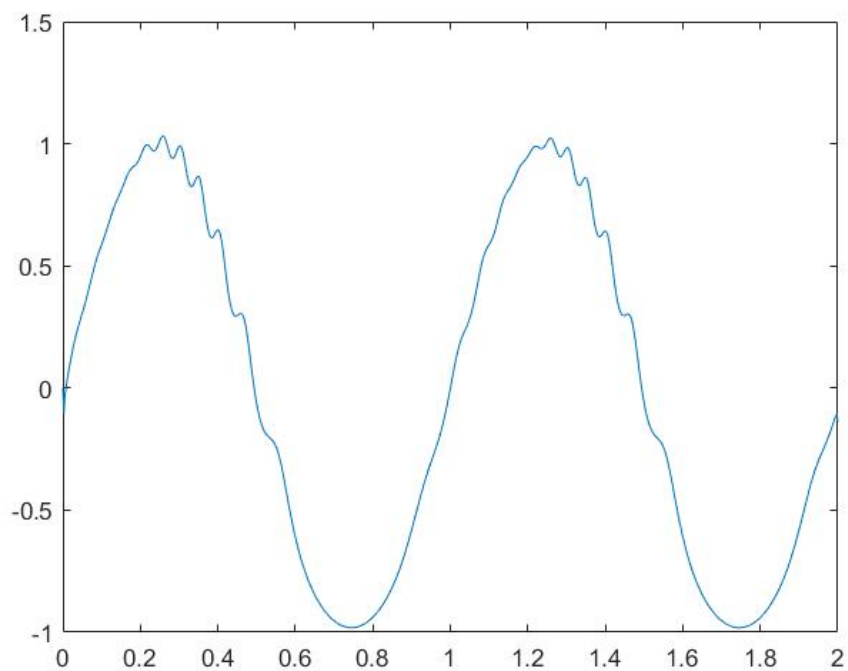


Рис. 20: Сигнал после частотной демодуляции

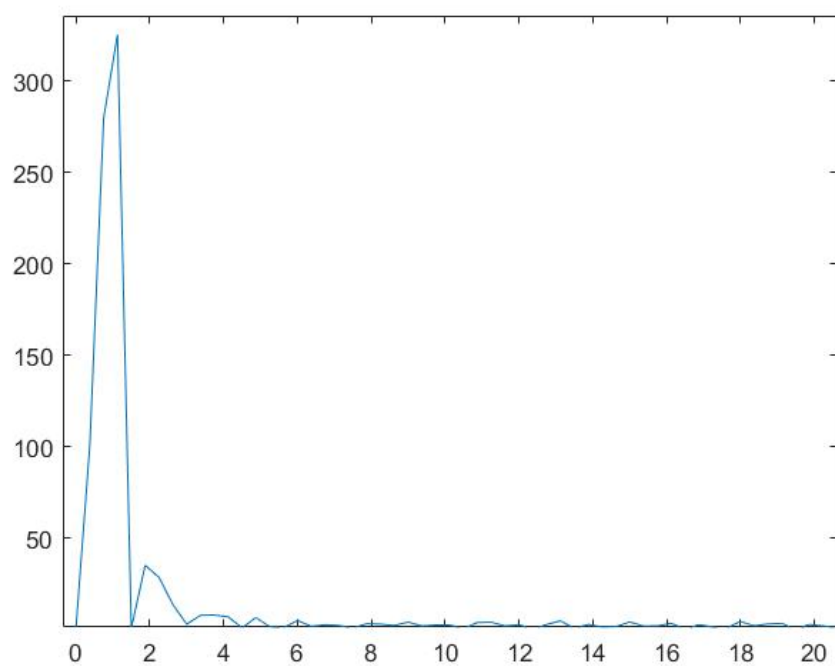


Рис. 21: Спектр сигнала после частотной демодуляции

Проведем аналогичные опыты в Simulink. Построим схему для амплитудной модуляции.

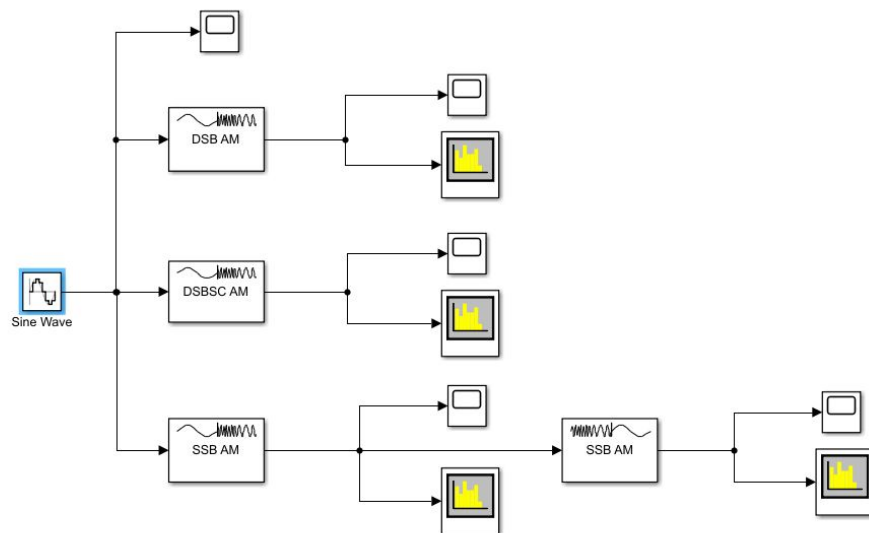


Рис. 22: Схема в Simulink для амплитудной модуляции

Частота синусоидального сигнала, как и в опыте в Matlab, равно 1 Гц. Каждый блок модуляции имеет несущую частоту равную 12 Гц.

Результаты амплитудной модуляции:

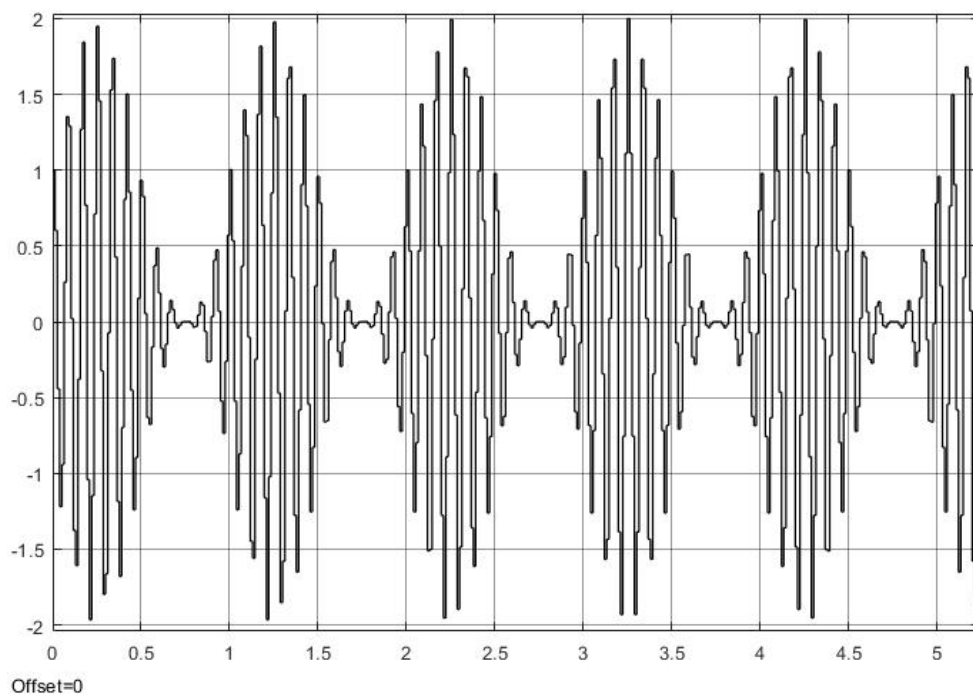


Рис. 23: Сигнал после амплитудной модуляции в Simulink

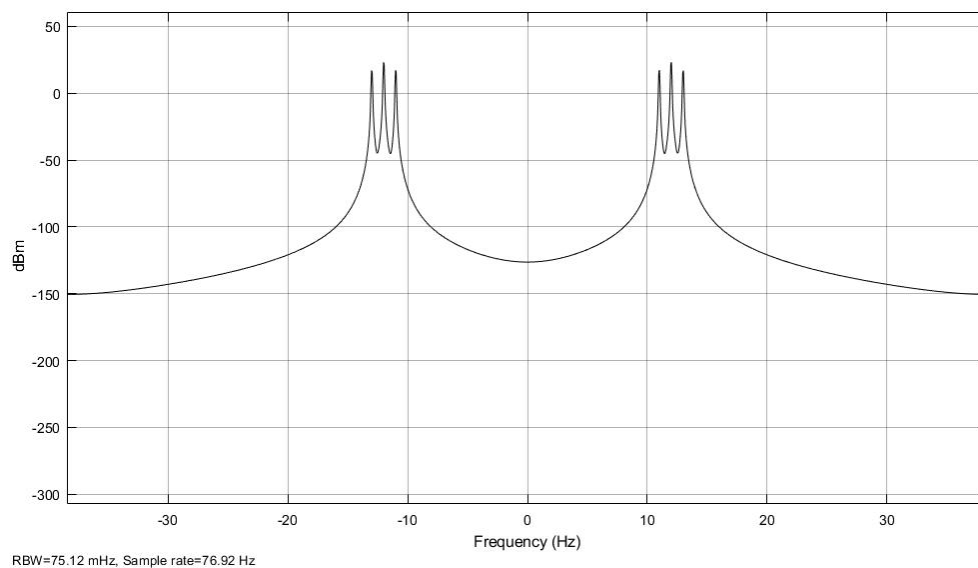


Рис. 24: Спектр сигнала после амплитудной модуляции в Simulink

Результаты амплитудной модуляции с подавлением несущей:

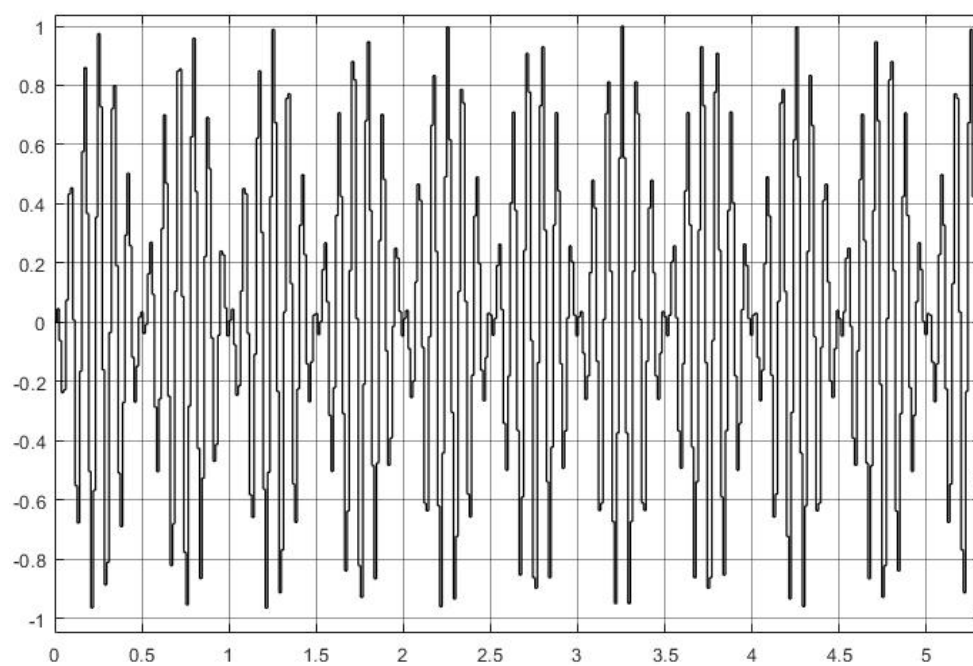


Рис. 25: Сигнал после амплитудной модуляции с подавлением несущей в Simulink

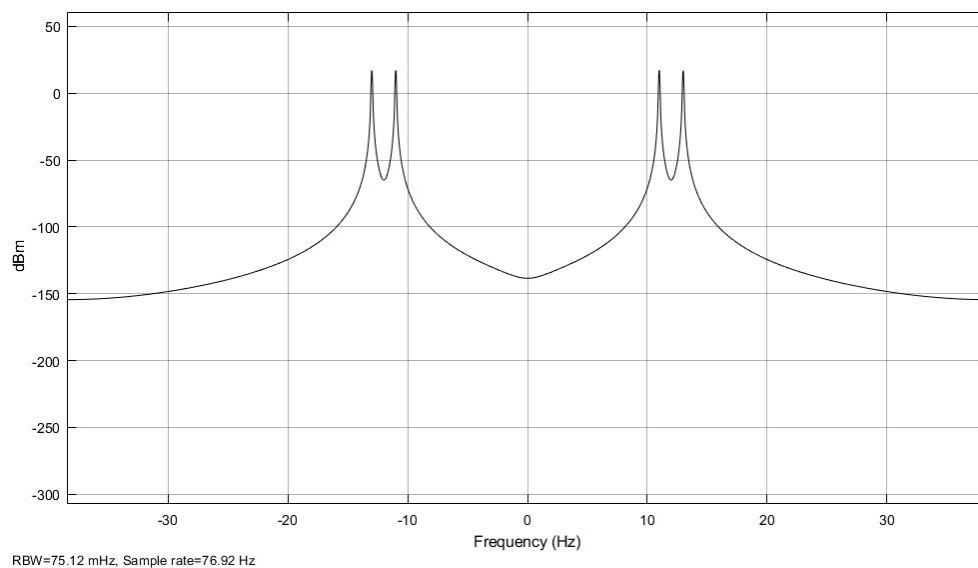


Рис. 26: Спектр сигнала после амплитудной модуляции с подавлением несущей в Simulink

Результаты однополосной амплитудной модуляции:

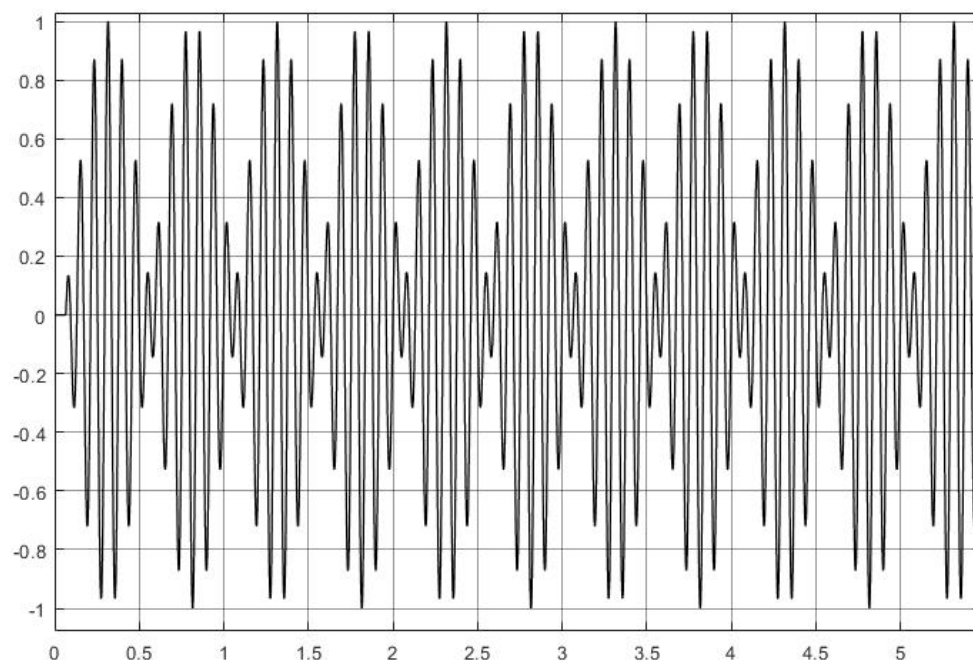


Рис. 27: Сигнал после однополосной амплитудной модуляции в Simulink

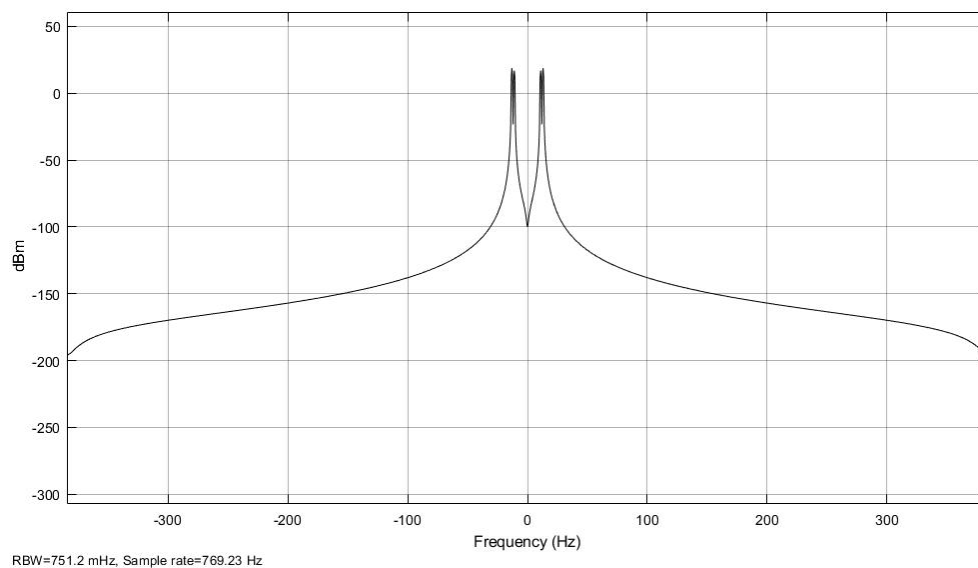


Рис. 28: Спектр сигнала после однополосной амплитудной модуляции в Simulink

Результаты синхронного детектирования:

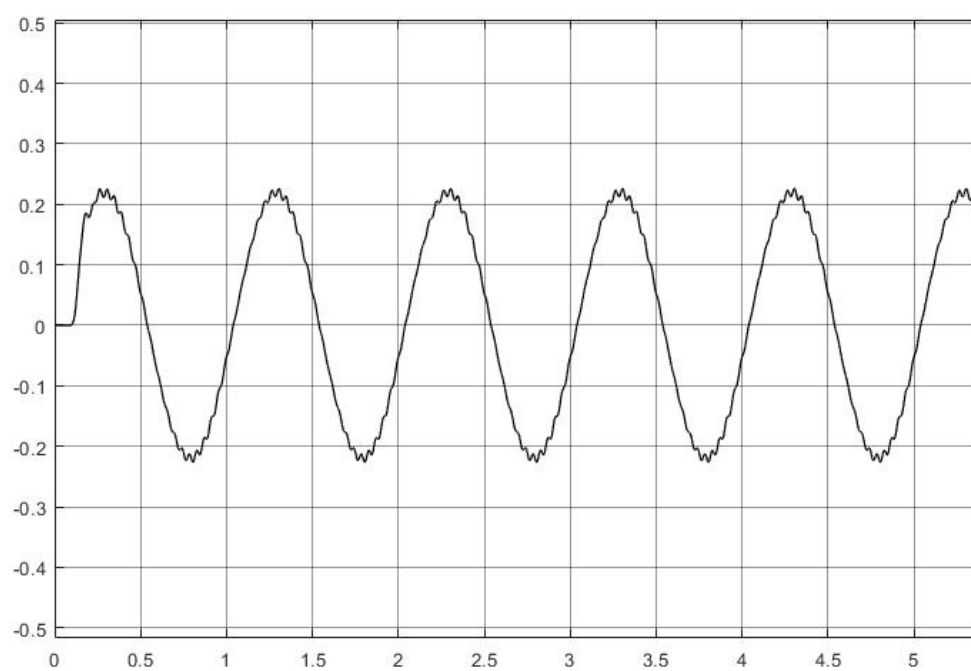


Рис. 29: Сигнал после синхронного детектирования в Simulink

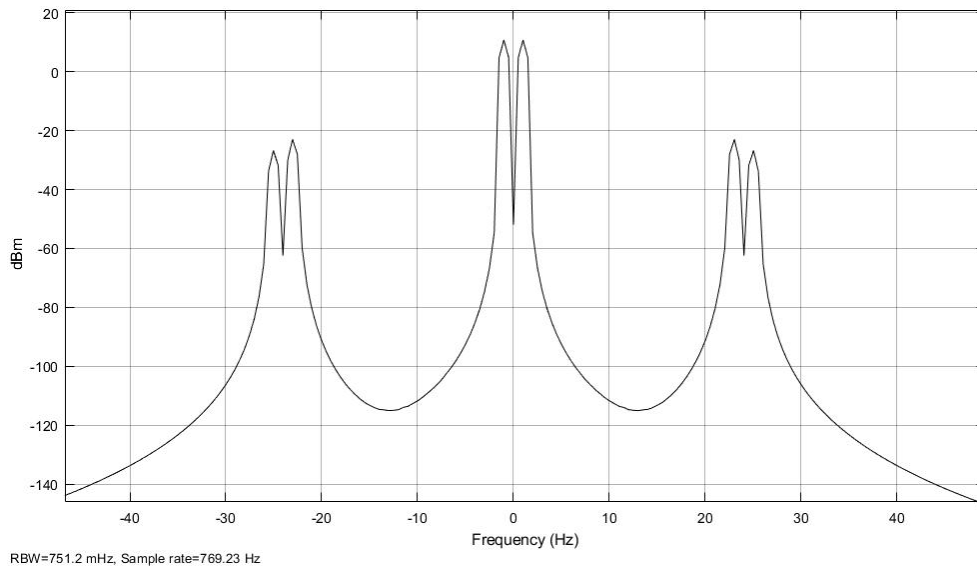


Рис. 30: Спектр сигнала после синхронного детектирования в Simulink

Все результаты совпали с теми, что мы получили в Matlab.

5. Вывод

В данной лабораторной работе мы изучили методы аналоговой модуляции, в частности амплитудную, частотную и фазовую модуляции.

Амплитудная модуляция одна из самых простых при которой мы изменяем амплитуду сигнала, оставляя неизменными частоту и фазу. Данный вид модуляции применяется редко, т.к. имеет низкий КПД равный 33%, а в реальных системах и того меньше.

Частотная модуляция — вид аналоговой модуляции, при котором информационный сигнал управляет частотой несущего колебания. По сравнению с амплитудной модуляцией здесь амплитуда остаётся постоянной. ЧМ 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.

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.