

Санкт-Петербургский государственный технический
университет
Институт компьютерных наук и технологий
Кафедра компьютерных систем и программных технологий

Отчет по лабораторной работе №4,5
Аналоговая модуляция
Частотная и фазовая модуляция
Телекоммуникационные технологии

Кузьмин Н.А. 33501/1
Богач Н.В.

Санкт-Петербург 2018

Содержание

1	Цель	3
2	Постановка задачи	3
3	Ход работы	4
3.1	Генерация сигнала	4
3.2	Амплитудная модуляция	4
3.3	Модуляция с подавлением несущей	9
3.4	Однополосная модуляция	11
3.5	Расчет КПД модуляции	13
3.6	Фазовая модуляция/демодуляция	14
3.7	Частотная модуляция/демодуляция	16
4	Вывод	18

1 Цель

Изучение амплитудной модуляции/демодуляции сигнала. Изучение частотной и фазовой модуляции/демодуляции 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.

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

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

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t + k \int_0^t s(t) dt + \phi_0)$$

используя встроенные функции MatLab `fmmod`, `fmdemod`

3 Ход работы

3.1 Генерация сигнала

Для начала сгенерируем однотональный сигнал низкой частоты ($f=0.5$ Гц)

```
A = 1; % амплитуда
f = 0.5; % частота
fc = 10; % несущая частота
Ph = 0; % фаза
Kdiscr = 100; % отношение частоты дискретизации к частоте несущей
Fd = f*Kdiscr; % частота дискретизации
Td = 1/Fd; % период дискретизации
t = 0:Td:1/f*5; % время
N = length(t);
y = A*sin(2*pi*f*t + Ph);
plot(t, y);
xlabel('Время');
ylabel('Y(t)');

% амплитудная модуляция
%M = 0.5
ini_phase = 0;
M = 0.5;
mod = ammod(y, fc, 2*fc, ini_phase, M);
figure
plot(t, mod);
```

Рис. 1: Код Matlab для генерации тестового сигнала

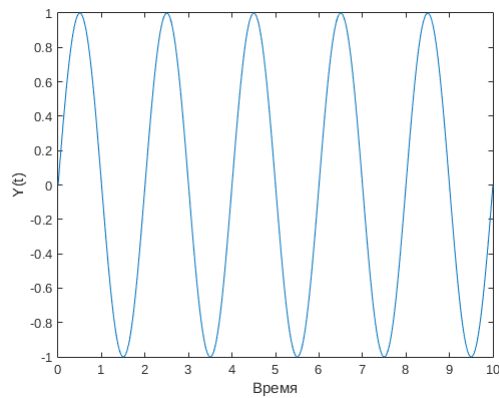


Рис. 2: Полученный сигнал

3.2 Амплитудная модуляция

Выполним амплитудную модуляцию сигнала при различных значениях глубины модуляции M и вычислим его спектр. Для этого используем функцию `ammod`.

```

%M = 0.5
ini_phase = 0;
M = 0.5;|
mod = ammod(y, fc, 2*fc, ini_phase, M);
figure
plot(t, mod);
%получение спектра
fftL = 2^nextpow2(N);
Y = abs(fft(mod,fftL));           % Амплитуды преобразования Фурье сигнала
Y = 2*Y./N;                       % Нормировка спектра по амплитуде
Y(1) = Y(1)/2;                     % Нормировка постоянной составляющей в спектре
F=0:(2*fc)/fftL:(2*fc)/2-1/fftL;  % Массив частот вычисляемого спектра Фурье
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));
xlabel('f, Гц');
ylabel('|Y(f)|');
%M = 1
ini_phase = 0;
M = 1;
mod = ammod(y, fc, 2*fc, ini_phase, M);
figure
plot(t, mod);

```

Рис. 3: Код Matlab для выполнения амплитудной модуляции при $M=0.5$

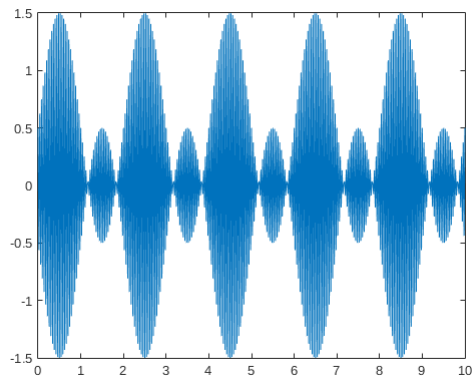


Рис. 4: Модулированный сигнал при $M=0.5$

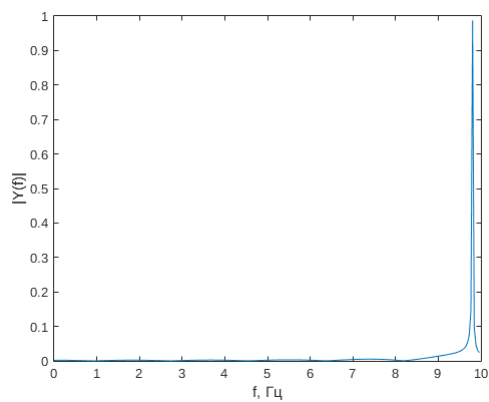


Рис. 5: Спектр модулированного сигнала при $M=0.5$

```
%M = 1
ini_phase = 0;
M = 1;
mod = ammod(y, fc, 2*fc, ini_phase, M);
figure
plot(t, mod);
%получение спектра
fftL = 2^nextpow2(N);
Y = abs(fft(mod,fftL));           % Амплитуды преобразования Фурье сигнала
Y = 2*Y./N;                     % Нормировка спектра по амплитуде
Y(1) = Y(1)/2;                  % Нормировка постоянной составляющей в спектре
F=0:(2*fc)/fftL:(2*fc)/2-1/fftL; % Массив частот вычисляемого спектра Фурье
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));
xlabel('f, Гц');
ylabel('|Y(f)|');
```

Рис. 6: Код Matlab для выполнения амплитудной модуляции при $M=1$

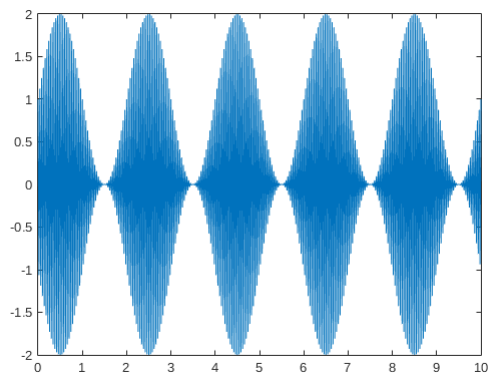


Рис. 7: Модулированный сигнал при $M=1$

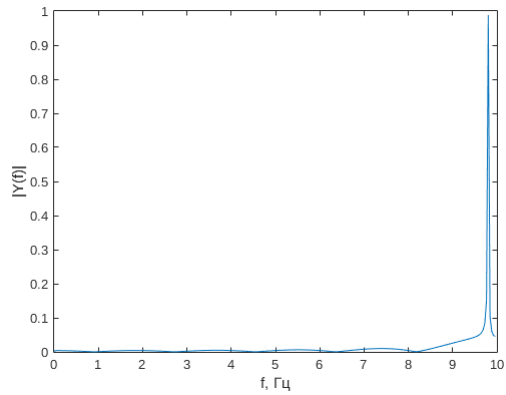


Рис. 8: Спектр модулированного сигнала при $M=1$

```
%M = 1.5
ini_phase = 0;
M = 1.5;
mod = ammod(y, fc, 2*fc, ini_phase, M);
figure
plot(t, mod);
%получение спектра
fftL = 2^nextpow2(N);
Y = abs(fft(mod,fftL));           % Амплитуды преобразования Фурье сигнала
Y = 2*Y./N;                      % Нормировка спектра по амплитуде
Y(1) = Y(1)/2;                   % Нормировка постоянной составляющей в спектре
F=0:(2*fc)/fftL:(2*fc)/2-1/fftL; % Массив частот вычисляемого спектра Фурье
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));
xlabel('f, Гц');
ylabel('|Y(f)|');
```

Рис. 9: Код Matlab для выполнения амплитудной модуляции при $M=1.5$

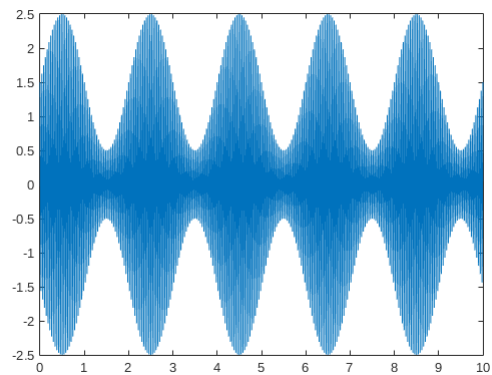


Рис. 10: Модулированный сигнал при $M=1.5$

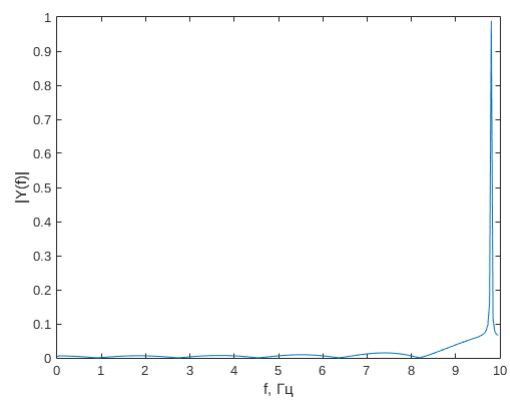


Рис. 11: Спектр модулированного сигнала при $M=1.5$

3.3 Модуляция с подавлением несущей

Выполним амплитудную модуляцию сигнала с подавлением несущей и вычислим спектр модулированного сигнала. Для этого воспользуемся функцией `ammod`.

```
%Модуляция с подавлением несущей
ini_phase = 0;
mod = ammod(y, fc, 2*fc, ini_phase);
figure
plot(t, mod);
%получение спектра
fftL = 2^nextrpow2(N);
Y = abs(fft(mod,fftL));           % Амплитуды преобразования Фурье сигнала
Y = 2*Y./N;                       % Нормировка спектра по амплитуде
Y(1) = Y(1)/2;                    % Нормировка постоянной составляющей в спектре
F=0:(2*fc)/fftL:(2*fc)/2-1/fftL;  % Массив частот вычисляемого спектра Фурье
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));
xlabel('f, Гц');
ylabel('|Y(f)|');
```

Рис. 12: Код Matlab для выполнения амплитудной модуляции с подавлением несущей

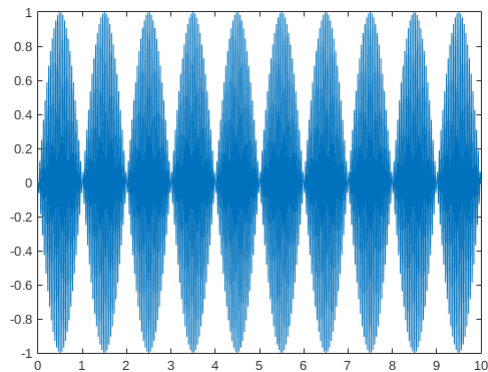


Рис. 13: Модулированный сигнал

По спектру сигнала можно увидеть, что по сравнению со спектрами предыдущих модулированных сигналов несущая частота заметно меньше.

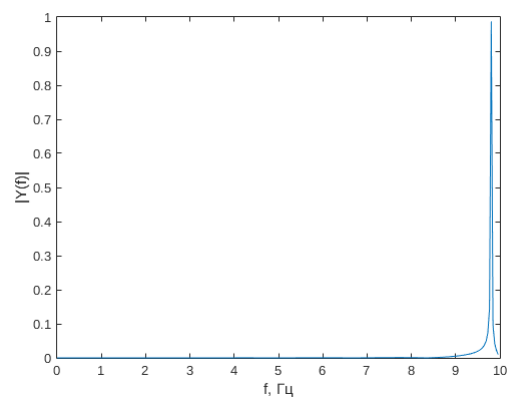


Рис. 14: Спектр модулированного сигнала

3.4 Однополосная модуляция

Выполним однополосную модуляцию. Для этого воспользуемся функцией ssbmod.

```
%Однополосная модуляция при n=1
mod = ssbmod(y, fc, 5*fc);
figure
plot(t, mod);
%получение спектра
fftL = 2^nextpow2(N);
Y = abs(fft(mod,fftL));           % Амплитуды преобразования Фурье сигнала
Y = 2*Y./N;                      % Нормировка спектра по амплитуде
Y(1) = Y(1)/2;                   % Нормировка постоянной составляющей в спектре
F=0:(5*fc)/fftL:(5*fc)/2-1/fftL; % Массив частот вычисляемого спектра Фурье
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));
xlabel('f, Гц');
ylabel('|Y(f)|');
```

Рис. 15: Код Matlab для выполнения однополосной модуляции

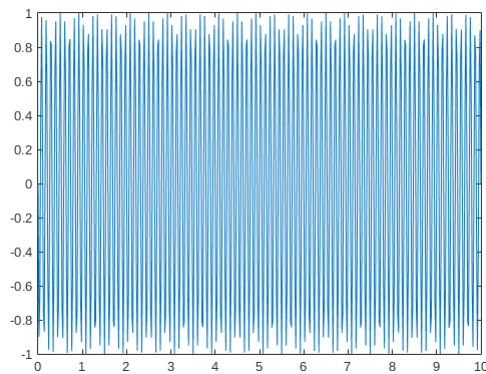


Рис. 16: Модулированный сигнал

Теперь выполним демодуляцию и убедимся, что сигнал соответствует исходному.

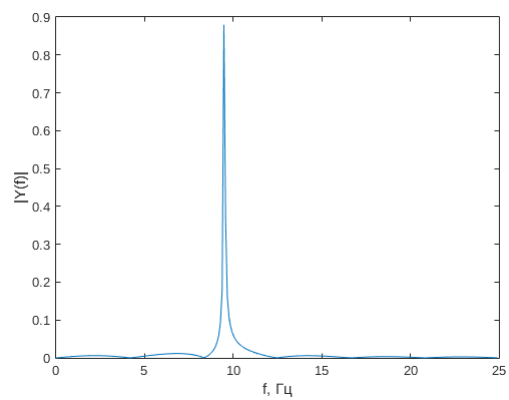


Рис. 17: Спектр модулированного сигнала

```
%Однополосная демодуляция
demod = ssbdemod(mod, fc, 5*fc);
figure
plot(t, demod);
```

Рис. 18: Код Matlab для выполнения демодуляции

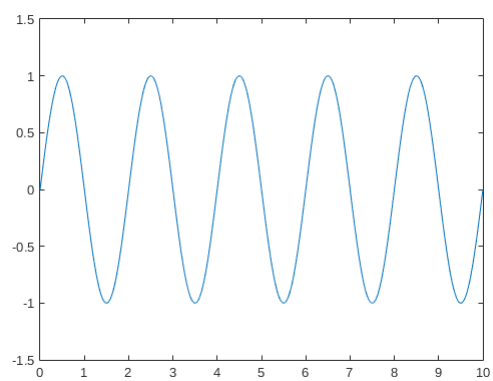


Рис. 19: Демодулированный сигнал

3.5 Расчет КПД модуляции

Выполним расчет КПД модуляции.

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. $M = 1.5$

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

Видно, что при увеличении глубины модуляции КПД повышается.

3.6 Фазовая модуляция/демодуляция

Выполним фазовую модуляцию сигнала, используя встроенную функцию `pmmod`

```
%Фазовая модуляция
mod = pmmod(y, fc, 8*fc, pi/2);
figure;
plot(t,mod);
%получение спектра
fftL = 2^nextpow2(N);
Y = abs(fft(mod,fftL));           % Амплитуды преобразования Фурье сигнала
Y = 2*Y./N;                      % Нормировка спектра по амплитуде
Y(1) = Y(1)/2;                   % Нормировка постоянной составляющей в спектре
F=0:(8*fc)/fftL:(8*fc)/2-1/fftL; % Массив частот вычисляемого спектра Фурье
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));
xlabel('f, Гц');
ylabel('|Y(f)|');
```

Рис. 20: Код Matlab для выполнения фазовой модуляции и нахождения спектра сигнала

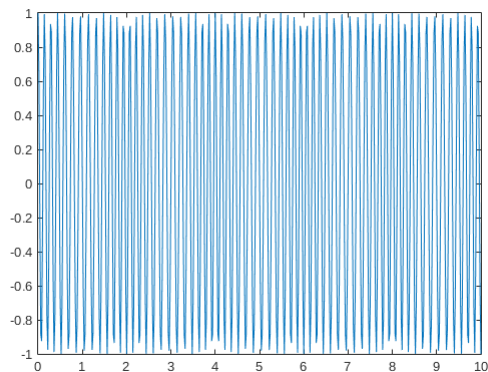


Рис. 21: Модулированный сигнал

Выполним демодуляцию с помощью функции `pmdemod` и убедимся, что сигнал совпадает с исходным

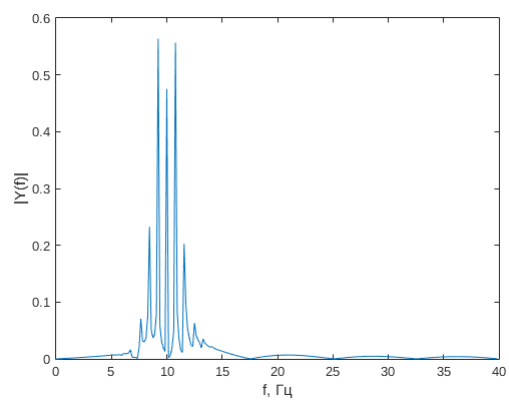


Рис. 22: Спектр модулированного сигнала

```
%Фазовая демодуляция
demod = pmdemod(mod, fc, 8*fc, pi/2);
figure;
plot(t,demod);
```

Рис. 23: Код Matlab для выполнения фазовой демодуляции

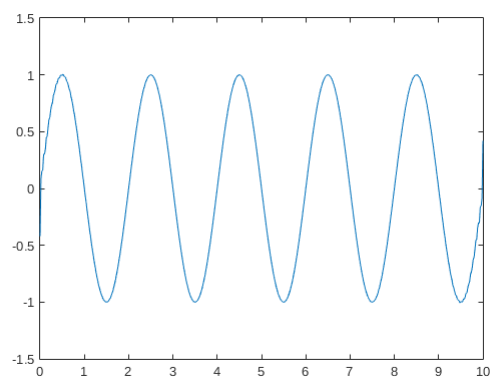


Рис. 24: Демодулированный сигнал

3.7 Частотная модуляция/демодуляция

Выполним частотную модуляцию сигнала, используя встроенную функцию `fmmod`

```
%частотная модуляция
f_dev = 5;
mod = fmmod(y, fc, 20*fc, f_dev);
figure;
plot(t,mod);
%получение спектра
fftL = 2^nextpow2(N);
Y = abs(fft(mod,fftL));           % Амплитуды преобразования Фурье сигнала
Y = 2*Y./N;                       % Нормировка спектра по амплитуде
Y(1) = Y(1)/2;                    % Нормировка постоянной составляющей в спектре
F=0:(20*fc)/fftL:(20*fc)/2-1/fftL; % Массив частот вычисляемого спектра Фурье
figure;
plot(F, Y(1:length(F)));
xlabel('f, Гц');
ylabel('|Y(f)|');
```

Рис. 25: Код Matlab для выполнения частотной модуляции и нахождения спектра сигнала

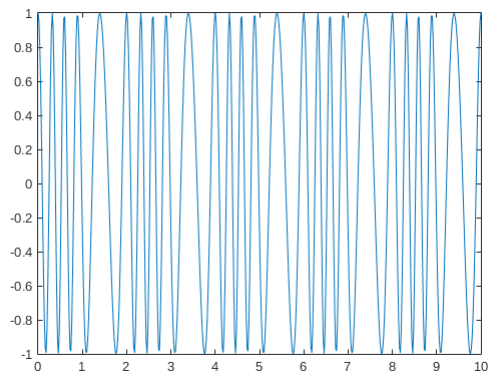


Рис. 26: Модулированный сигнал

Выполним демодуляцию с помощью функции `fmdemod` и убедимся, что сигнал совпадает с исходным

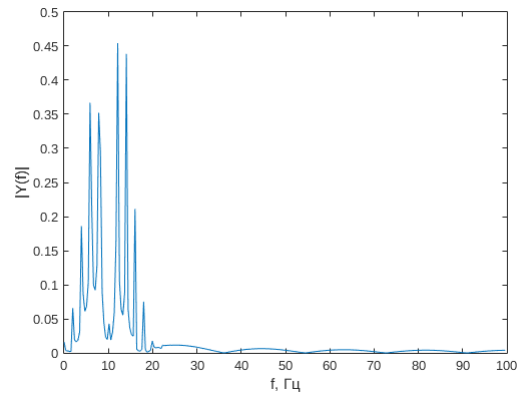


Рис. 27: Спектр модулированного сигнала

```
%частотная демодуляция
demod = fmdemod(mod, fc, 20*fc, f_dev);
figure;
plot(t,demod);
```

Рис. 28: Код Matlab для выполнения фазовой демодуляции

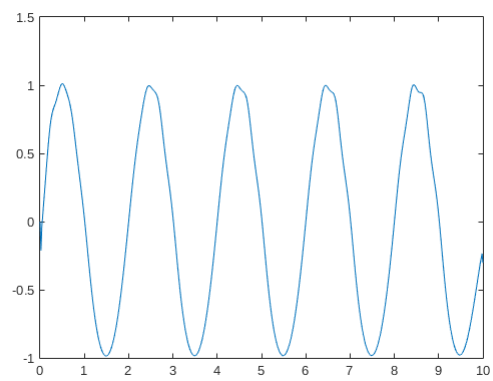


Рис. 29: Демодулированный сигнал

4 Вывод

в ходе выполнения данной работы мы изучили различные виды модуляции. Амплитудная модуляция меняет амплитуду сигнала, но применяется редко, так как имеет КПД около 33

Частотная модуляция управляет частотой несущего сигнала. Применяется в записи и передаче звуковой информации.

При использовании фазовой модуляции полезный сигнал изменяет фазу несущего колебания. По характеристикам фазовая модуляция близка к частотной. В случае синусоидального модулирующего (информационного) сигнала, результаты частотной и фазовой модуляции совпадают.