

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Кафедра компьютерных систем и программных технологий

**Отчёт по лабораторной работе**

**Дисциплина:** Телекоммуникационные технологии

**Тема:** Аналоговая, частотная и фазовая модуляция.

Выполнил студент гр. 33501/2  
Преподаватель

Миносян Э.К.  
Богач Н.В.

Санкт-Петербург  
25 апреля 2018 г.

# 0 Содержание

<b>1</b>	<b>Цель работы</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Постановка задачи</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Теоретический раздел</b>	<b>3</b>
3.1	Амплитудная модуляции . . . . .	3
3.2	Частотная модуляции . . . . .	3
3.3	Фазовая модуляции . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Ход работы</b>	<b>4</b>
4.1	Амплитудная модуляция . . . . .	4
4.2	Частотная модуляция . . . . .	17
4.3	Фазовая модуляция . . . . .	22
<b>5</b>	<b>Выводы</b>	<b>27</b>

# 1 Цель работы

Изучение амплитудной 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*.

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 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 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*.

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

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

## 3 Теоретический раздел

Модуляция — это процесс преобразования одного или нескольких информационных параметров несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями информационного сигнала.

В результате модуляции сигналы переносятся в область более высоких частот.

Так как в процессе модуляции изменяются информационные параметры несущего колебания, то название вида модуляции зависит от изменяемого параметра этого колебания.

Виды аналоговой модуляции:

1. Амплитудная модуляция (АМ), происходит изменение амплитуды несущего колебания;
2. Частотная модуляция (ЧМ), происходит изменение частоты несущего колебания;
3. Фазовая модуляция (ФМ), происходит изменение фазы несущего колебания.

### 3.1 Амплитудная модуляции

Амплитудная модуляция — процесс изменения амплитуды несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями модулирующего сигнала.

### 3.2 Частотная модуляции

Частотная модуляция — процесс изменения частоты несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями модулирующего сигнала.

### 3.3 Фазовая модуляции

Фазовая модуляция — процесс изменения фазы несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями модулирующего сигнала.

## 4 Ход работы

### 4.1 Амплитудная модуляция

Был написан код на языке MATLAB, который генерирует однотоновый сигнал низкой частоты, проводит амплитудную модуляцию и выводит спектр этих сигналов

```
2 - f = 10; %Частота
3 - fs = 8400; % Частота Дискретизации
4 - t=0:1/fs:1; %Время
5 - y1 = A1*sin(2*pi*f*t);
6 - plot(t,y1,'r');
7 - fftsl=abs(fft(t1,N)); % преобразование Фурье по модулю
8 - fftsl=2*fftsl./N;% нормализация
9 - fftsl(1)=fftsl(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
10 - fl=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
11 - figure;plot(fl,fftsl(1:length(fl)),'m');%вывод спектра исходного сигнала
12 - fc=160; % Частота несущей
13 - M=1; % Коэффициент глубины моделирования
14 - t1=ammod(y1,fc,fs,[],M);
15 - t2=ammod(y1,fc,fs,[],M/2);
16 - t3=ammod(y1,fc,fs,[],M/5);
17 - figure;
18 - plot(t,t1,'b');
19 - title('Модуляция при M=1');
20 - figure;
21 - plot(t,t2,'g');
22 - title('Модуляция при M=0.5');
23 - figure;
24 - plot(t,t3,'m');
25 - title('Модуляция при M=0.2');
26 - N=length(t);
27 - fftsl=abs(fft(t1,N)); % преобразование Фурье по модулю
28 - fftsl=2*fftsl./N;% нормализация
29 - fftsl(1)=fftsl(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
30 - fl=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
31 - figure;plot(fl,fftsl(1:length(fl)),'m');%вывод спектра модулированного сигнала
```

Рис. 4.1: Код на языке MATLAB

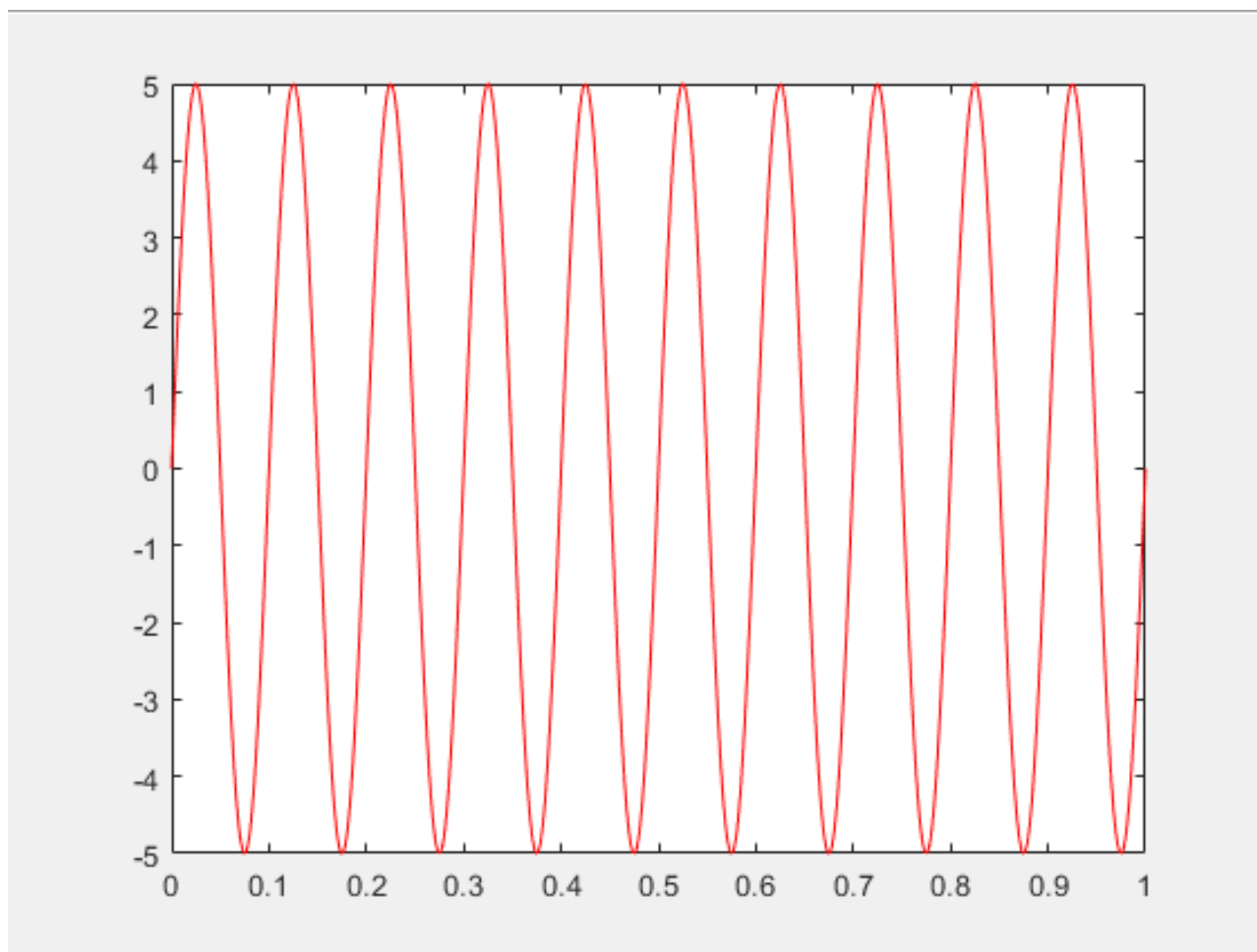


Рис. 4.2: Исходный сигнал

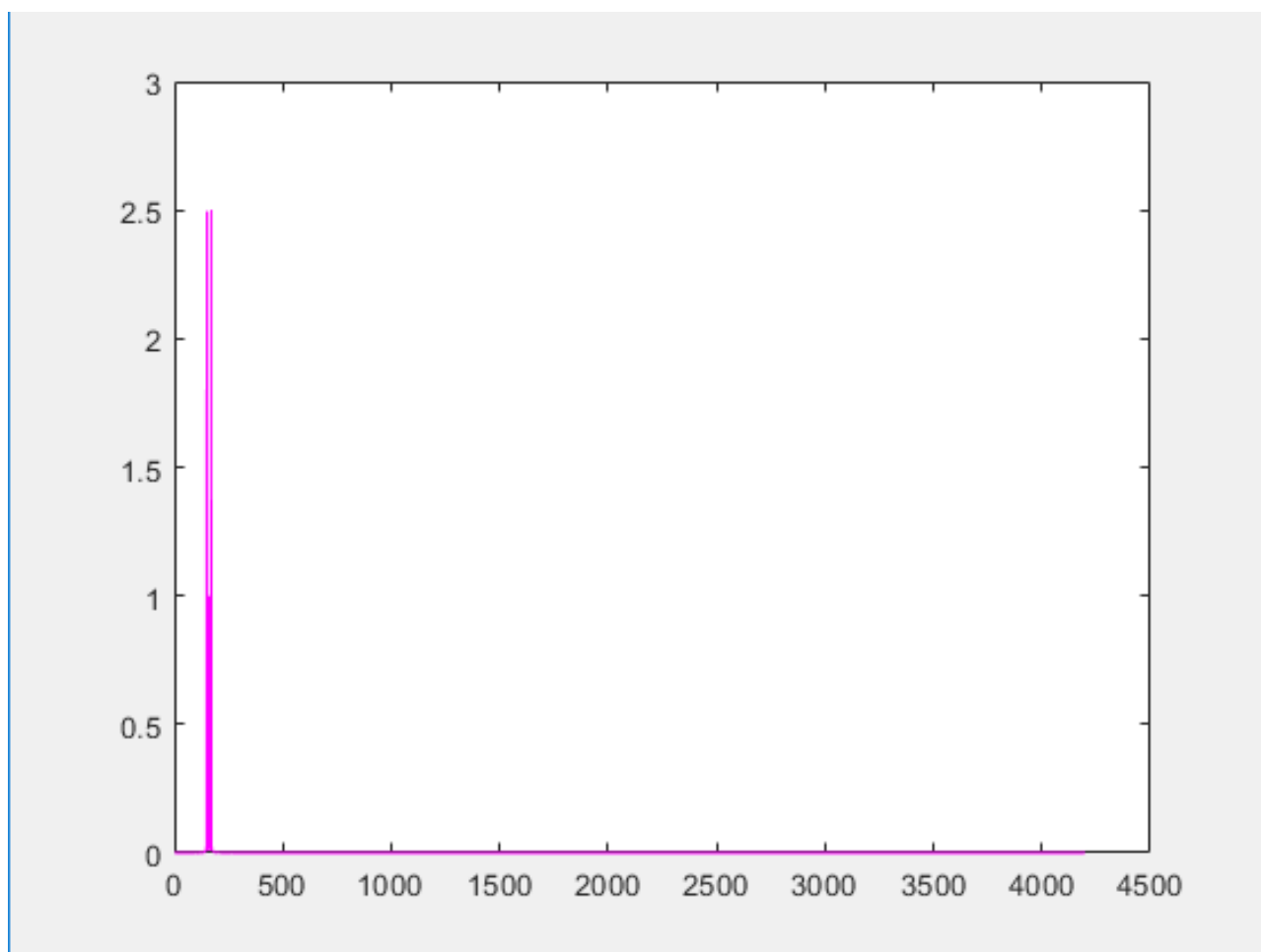


Рис. 4.3: Спектр исходного сигнала

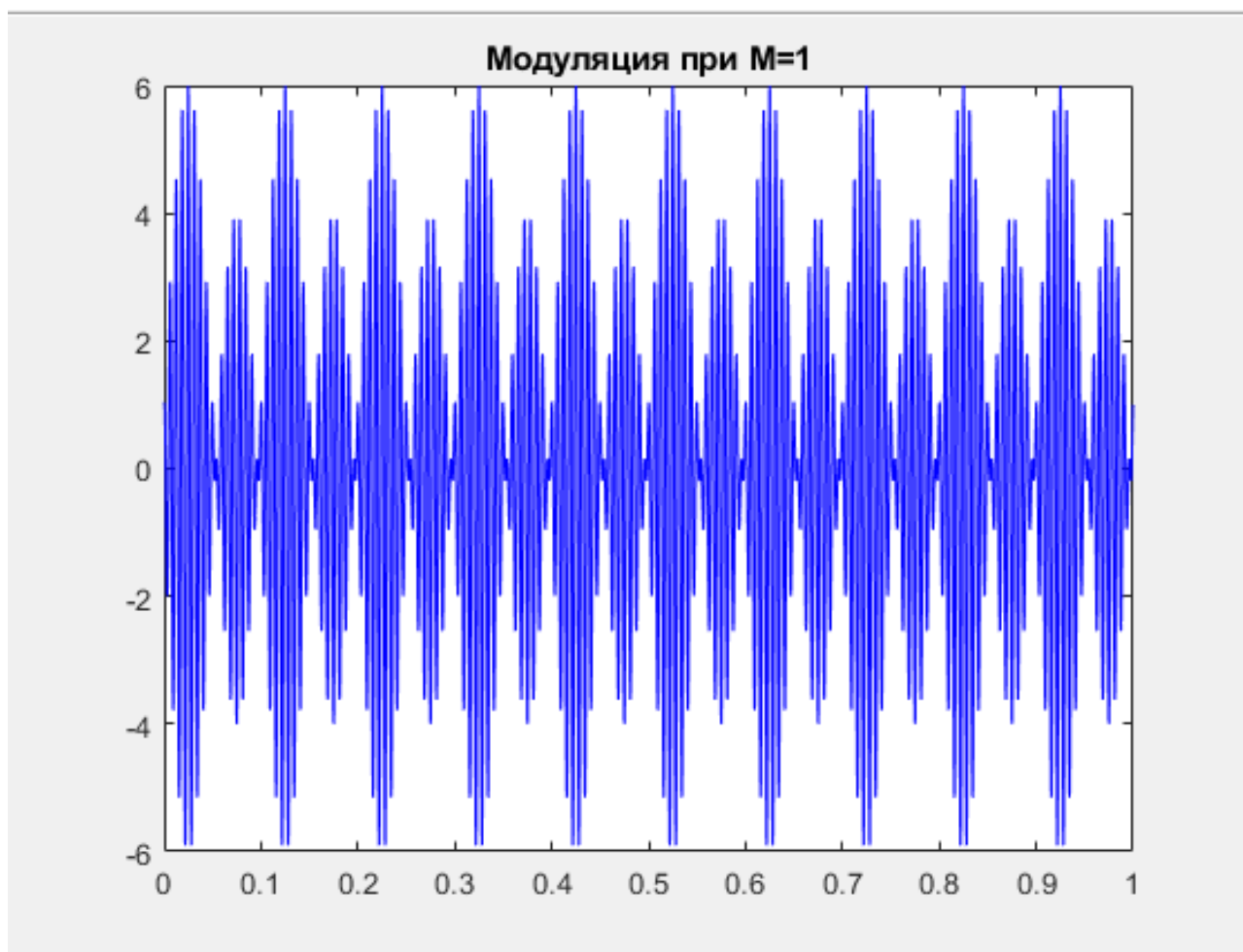


Рис. 4.4: Амплитудная модуляция при  $M=1$



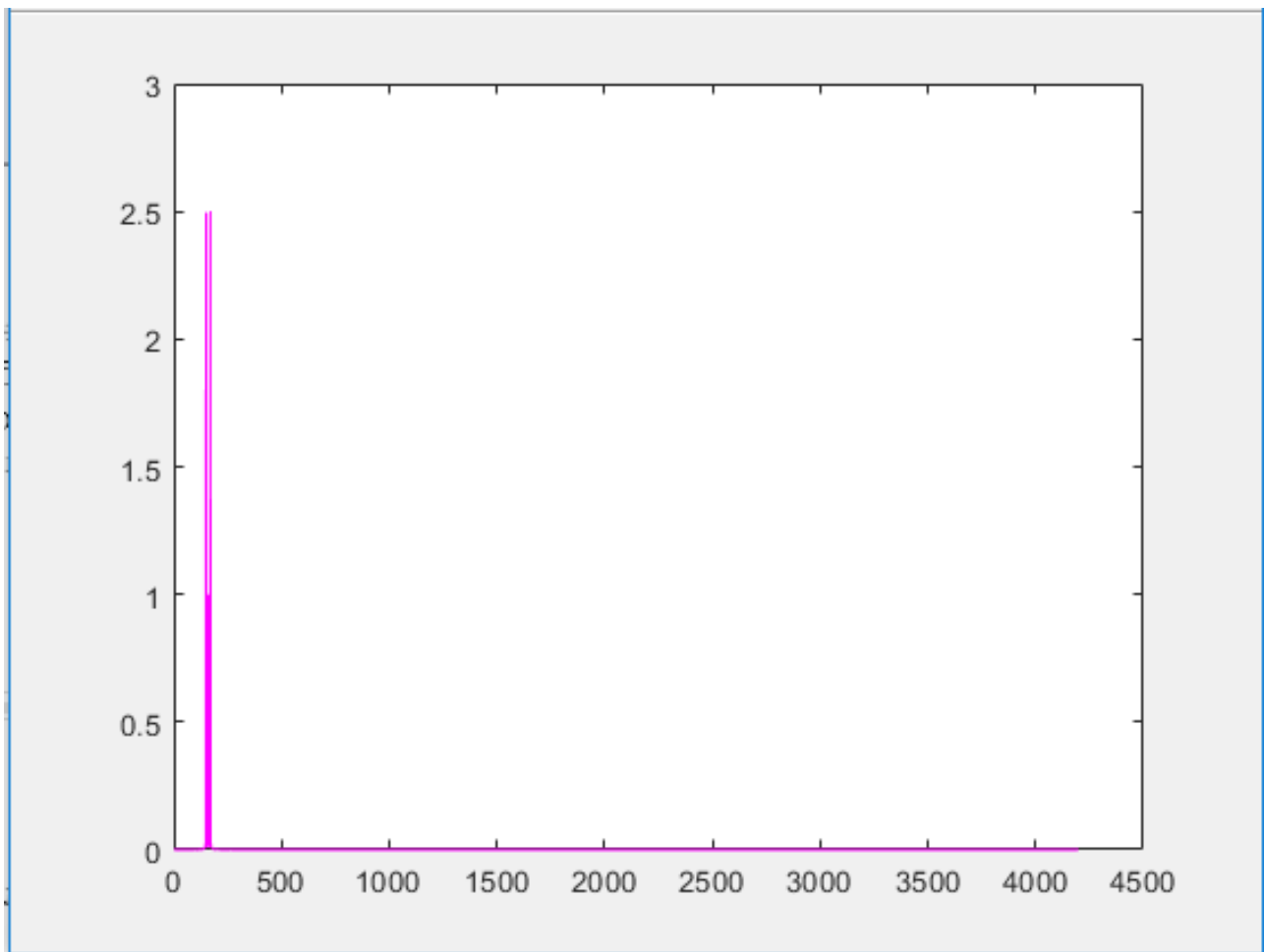


Рис. 4.5: Спектр модулируемого сигнала при  $M=1$

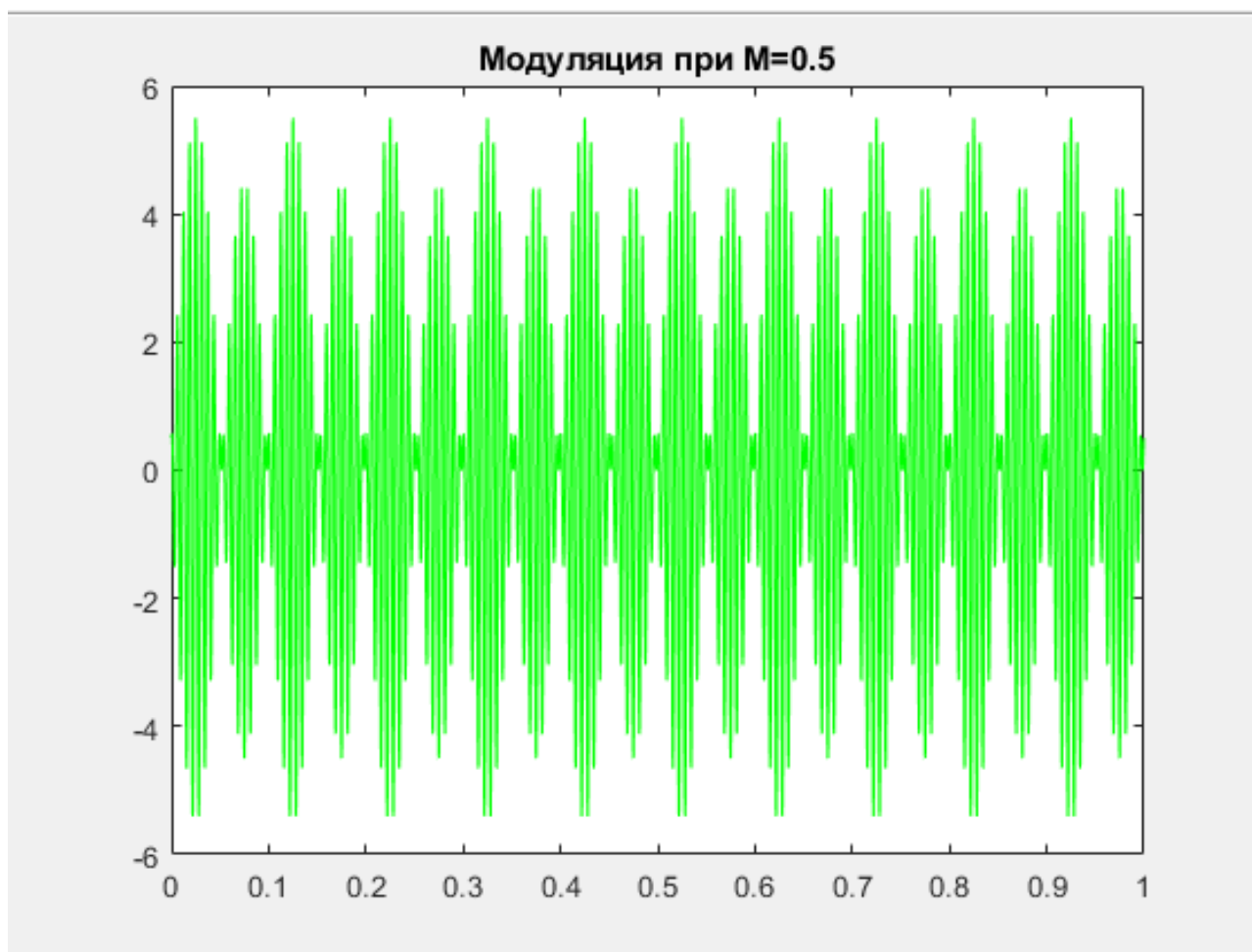


Рис. 4.6: Амплитудная модуляция при  $M=0.5$

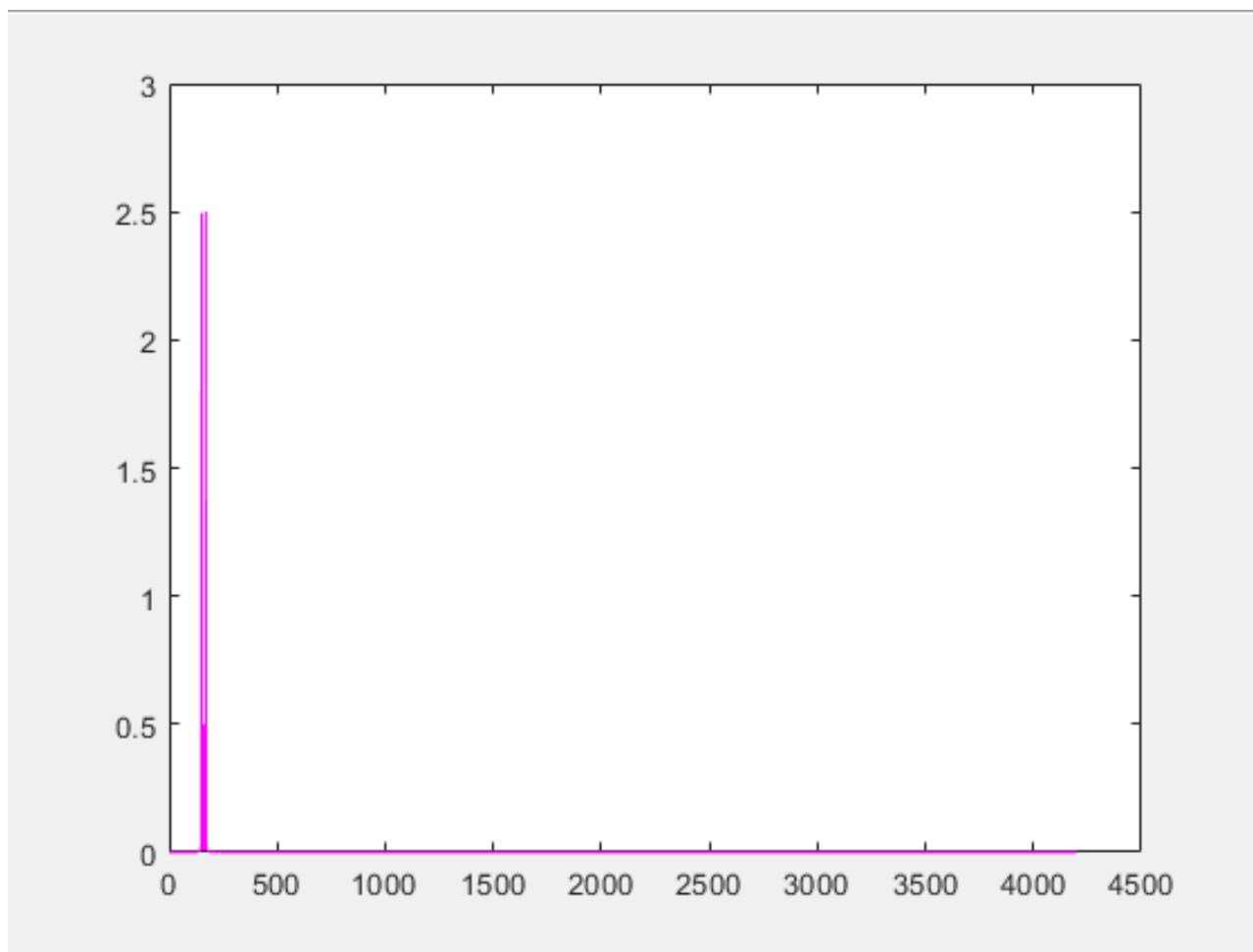


Рис. 4.7: Спектр модулируемого сигнала при  $M=0.5$

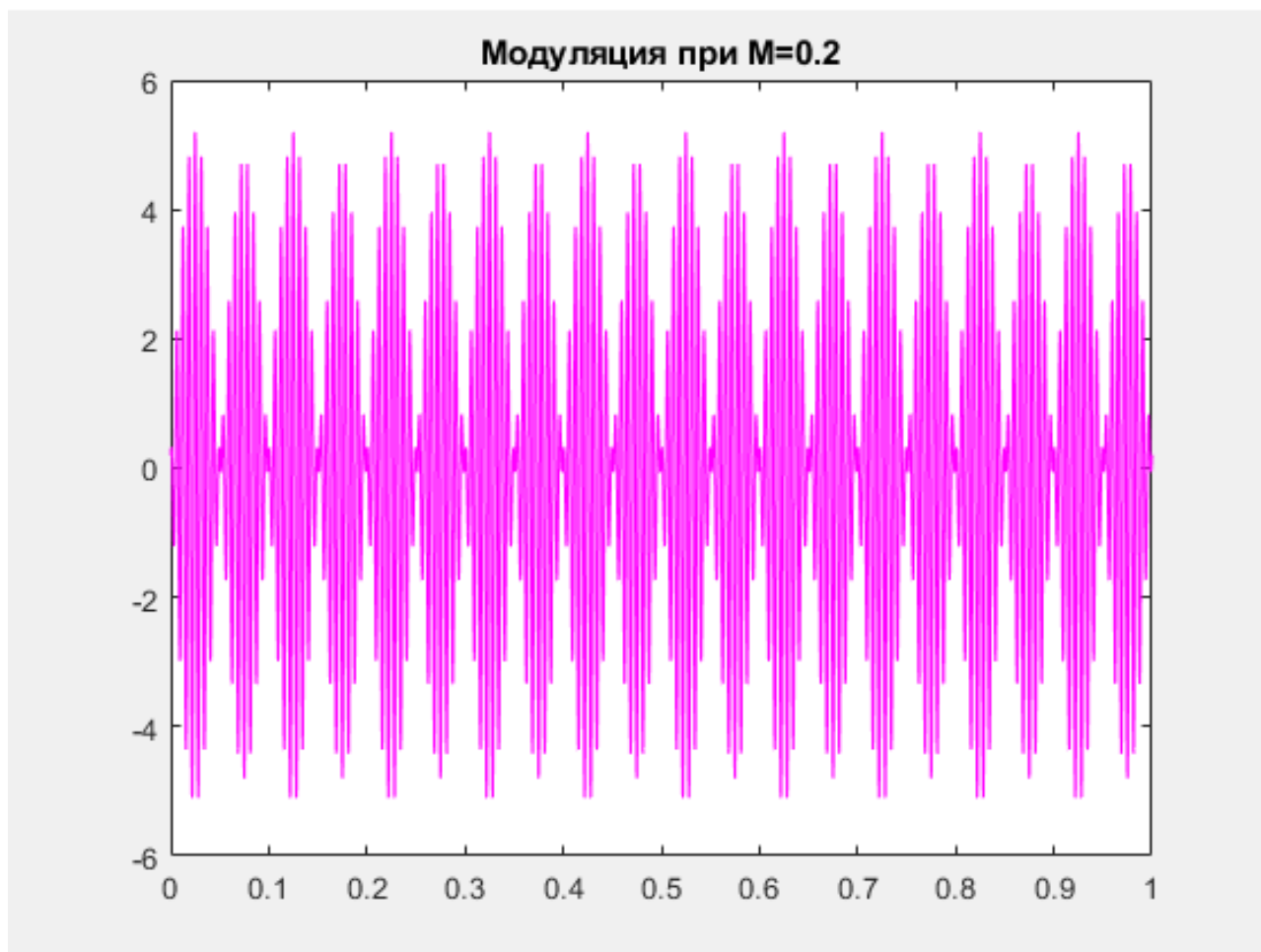


Рис. 4.8: Амплитудная модуляция при  $M=0.2$

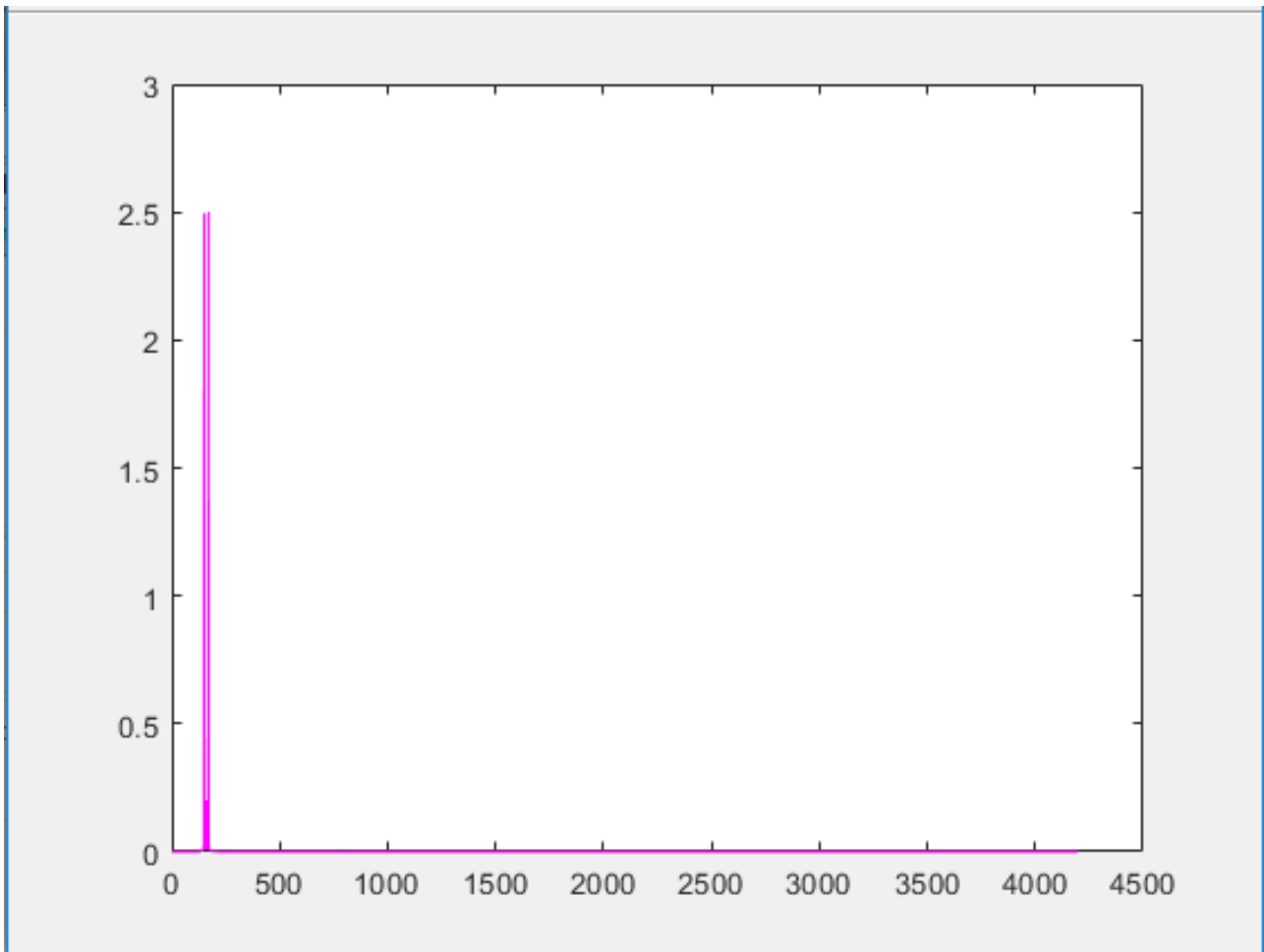


Рис. 4.9: Спектр модулируемого сигнала при  $M=0.2$

При уменьшении глубины модуляции  $M$  происходит явление перемодуляции.

Рассчитаем КПД модуляции по формуле:

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

- При  $M = 1$       $\eta = 0.33$
- При  $M = 0.5$     $\eta = 0.11$
- При  $M = 0.2$     $\eta = 0.02$

Как видно из расчетов, максимальный КПД равен 33.3 процентам. Это связано с тем, что значительная часть работы идет на передачу несущей. Если, произвести модуляцию с подавлением несущей, то можно увеличить КПД до 100 процентов.

Затем был написан код проводящий амплитудную модуляцию с подавлением несущей и выводящий спектр полученной модуляции.

```

1 - A1 = 5; %Амплитуда
2 - f = 10; %Частота
3 - fs = 8400; % Частота Дискретизации
4 - t=0:1/fs:1; %Время
5 - y1 = A1*sin(2*pi*f*t);
6 - plot(t,y1,'r');
7 - fftsl=abs(fft(t1,N)); % преобразование Фурье по модулю
8 - fftsl=2*fftsl./N;% нормализация
9 - fftsl(1)=fftsl(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
10 - fl=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
11 - figure;plot(fl,fftsl(1:length(fl)),'m');%вывод спектра исходного сигнала
12 - fc=160; % Частота несущей
13 - t1=ammod(y1,fc,fs);
14 - figure;
15 - plot(t,t1,'b');
16 - N=length(t);
17 - fftsl=abs(fft(t1,N)); % преобразование Фурье по модулю
18 - fftsl=2*fftsl./N;% нормализация
19 - fftsl(1)=fftsl(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
20 - fl=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
21 - figure;plot(fl,fftsl(1:length(fl)),'m');%вывод спектра модулированного сигнала

```

Рис. 4.10: Код на языке MATLAB

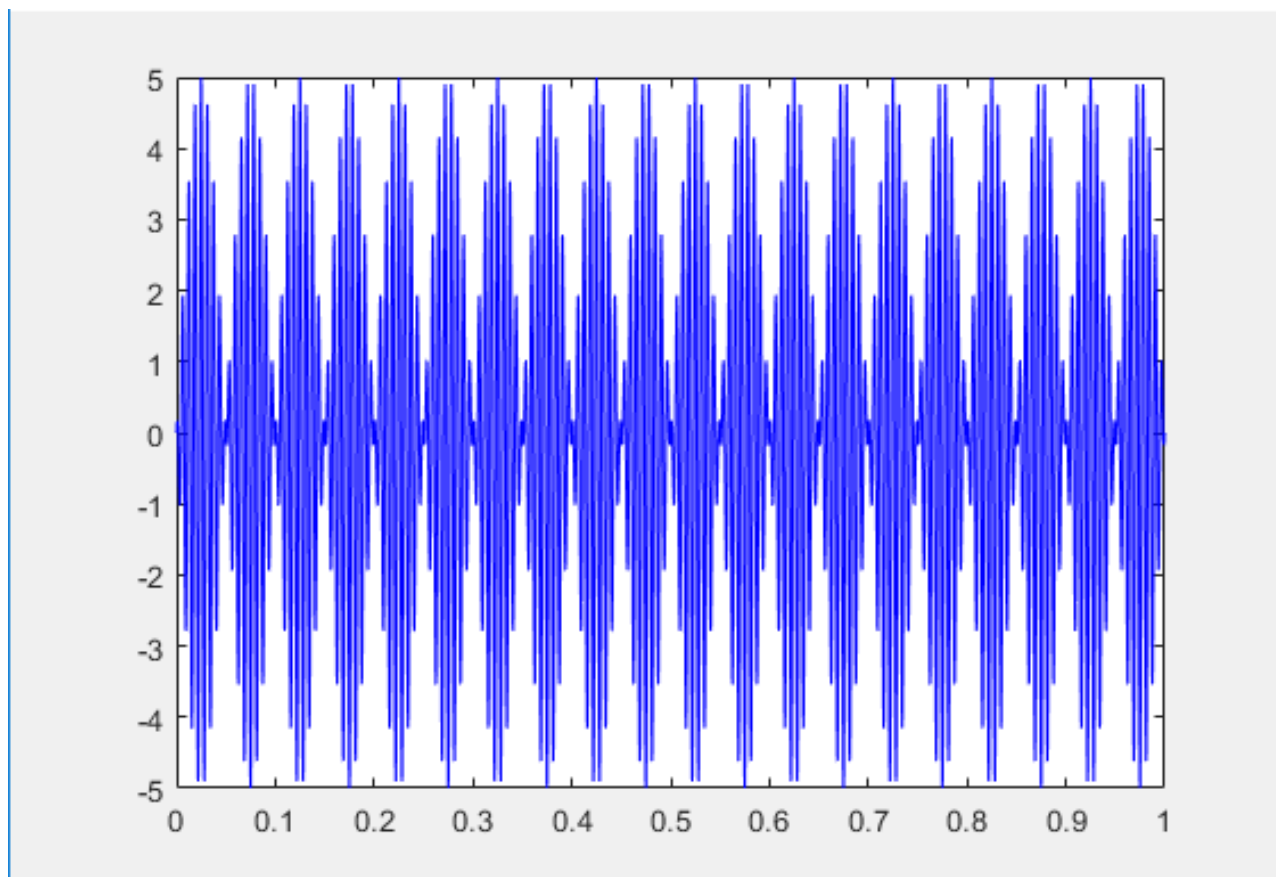


Рис. 4.11: Амплитудная модуляция с подавлением несущей

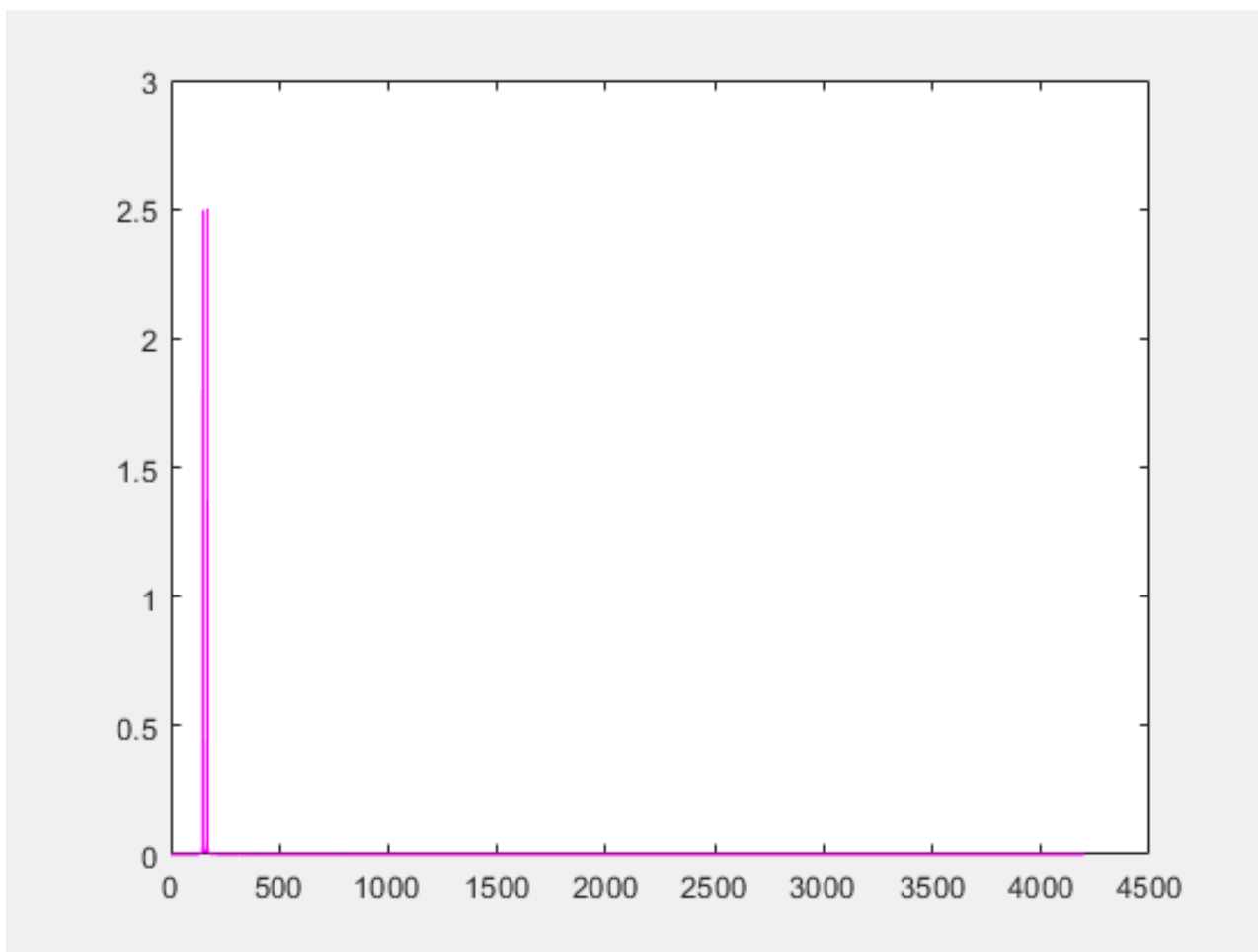


Рис. 4.12: Спектр модулируемого сигнала с подавлением несущей

Выполним однополосую модуляцию

```

1 - A1 = 5; %Амплитуда
2 - f = 10; %Частота
3 - fs = 8400; % Частота Дискретизации
4 - t=0:1/fs:1; %Время
5 - y1 = A1*sin(2*pi*f*t);
6 - plot(t,y1,'r');
7 - ffts1=abs(fft(t1,N)); % преобразование Фурье по модулю
8 - ffts1=2*ffts1./N;% нормализация
9 - ffts1(1)=ffts1(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
10 - f1=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
11 - figure;plot(f1,ffts1(1:length(f1)),'m');%вывод спектра исходного сигнала
12 - fc=160; % Частота несущей
13 - t1=ssbmod(y1,fc,fs);
14 - figure;
15 - plot(t,t1,'b');
16 - N=length(t);
17 - ffts1=abs(fft(t1,N)); % преобразование Фурье по модулю
18 - ffts1=2*ffts1./N;% нормализация
19 - ffts1(1)=ffts1(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
20 - f1=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
21 - figure;plot(f1,ffts1(1:length(f1)),'m');%вывод спектра модулированного сигнала
22 - t2=ssbdemod(t1,fc,fs); %Демодулирование сигнала
23 - figure;
24 - plot(t,t2,'g');|

```

Рис. 4.13: Код на языке MATLAB

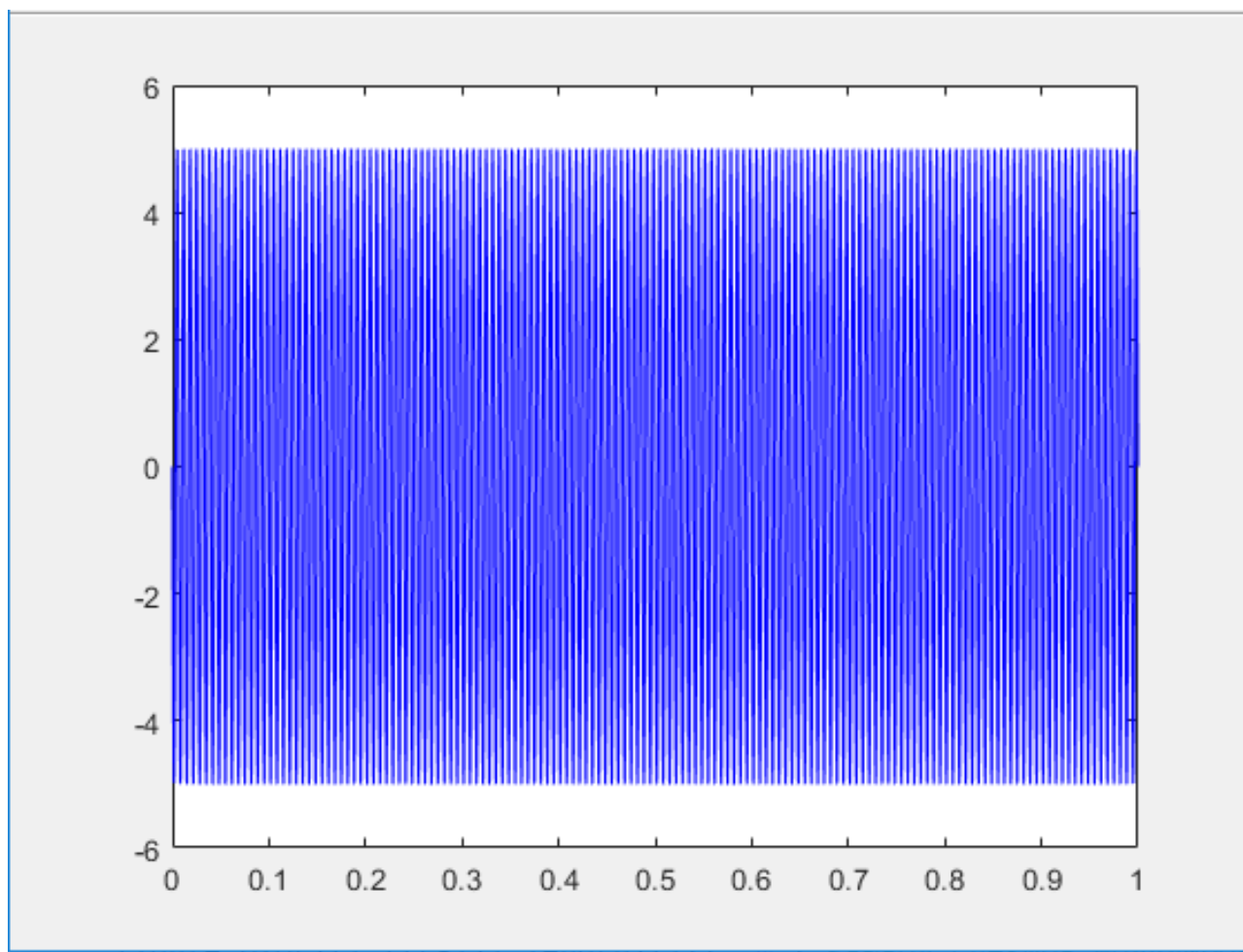


Рис. 4.14: Однополосая модуляция



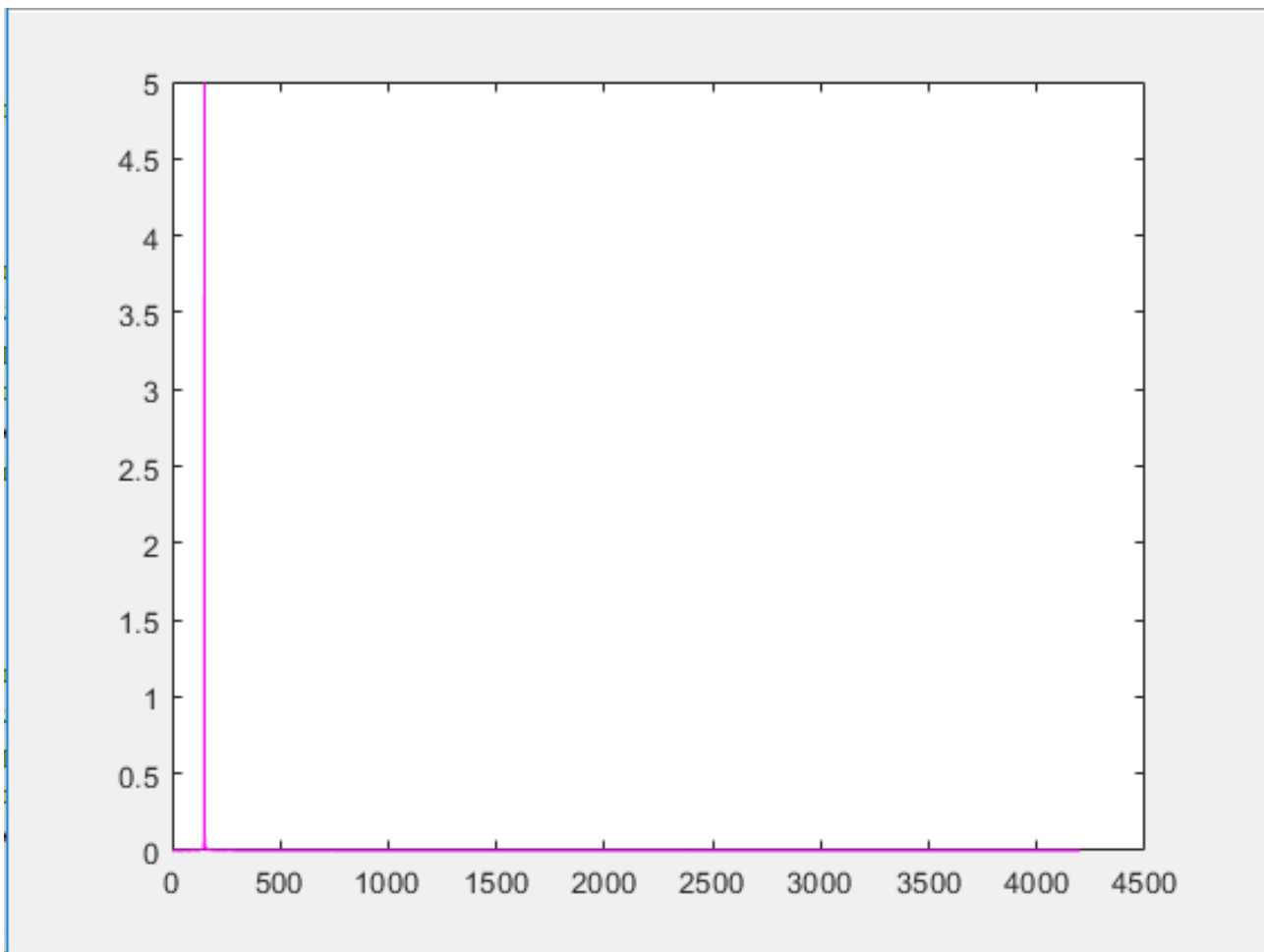


Рис. 4.15: Спектр модулируемого сигнала

Затем был демодулирован сигнал методом синхронного детектирования

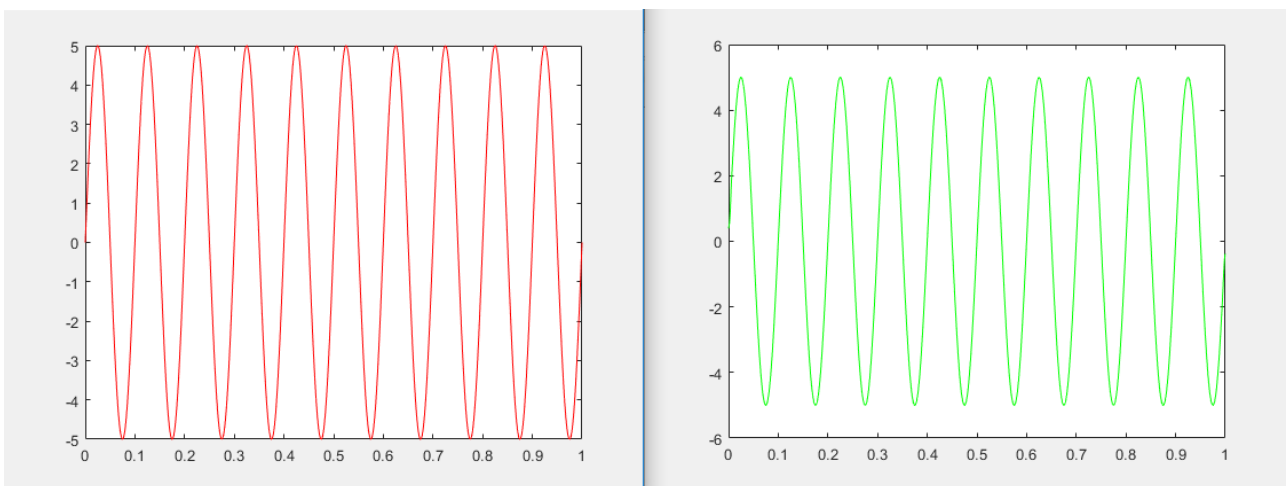


Рис. 4.16: Исходный и демодулированный сигнал

## 4.2 Частотная модуляция

Был написан код на языке MATLAB, который генерирует однотоновый сигнал низкой частоты, проводит частотную модуляцию, выводит спектр этих сигналов и декодирует моделируемый сигнал

```
1 - A1 = 5; %Амплитуда
2 - f = 10; %Частота
3 - fs = 8400; % Частота Дискретизации
4 - dv=10; %Девияция частоты
5 - t=0:1/fs:1; %Время
6 - y1 = A1*sin(2*pi*f*t);
7 - plot(t,y1,'r');
8 - ffts1=abs(fft(y1,N)); % преобразование Фурье по модулю
9 - ffts1=2*ffts1./N;% нормализация
10 - ffts1(1)=ffts1(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
11 - fl=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
12 - figure;plot(fl,ffts1(1:length(fl)),'m');%вывод спектра исходного сигнала
13 - fc=160; % Частота несущей
14 - t1=fmmod(y1,fc,fs,dv);
15 - t2=fmdemod(t1,fc,fs,dv);
16 - figure;
17 - plot(t,t1,'b');
18 - figure;
19 - plot(t,t2,'b');
20 - N=length(t);
21 - ffts1=abs(fft(t1,N)); % преобразование Фурье по модулю
22 - ffts1=2*ffts1./N;% нормализация
23 - ffts1(1)=ffts1(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
24 - fl=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
25 - figure;plot(fl,ffts1(1:length(fl)),'m');%вывод спектра модулированного сигнала
```

Рис. 4.17: Код на языке MATLAB

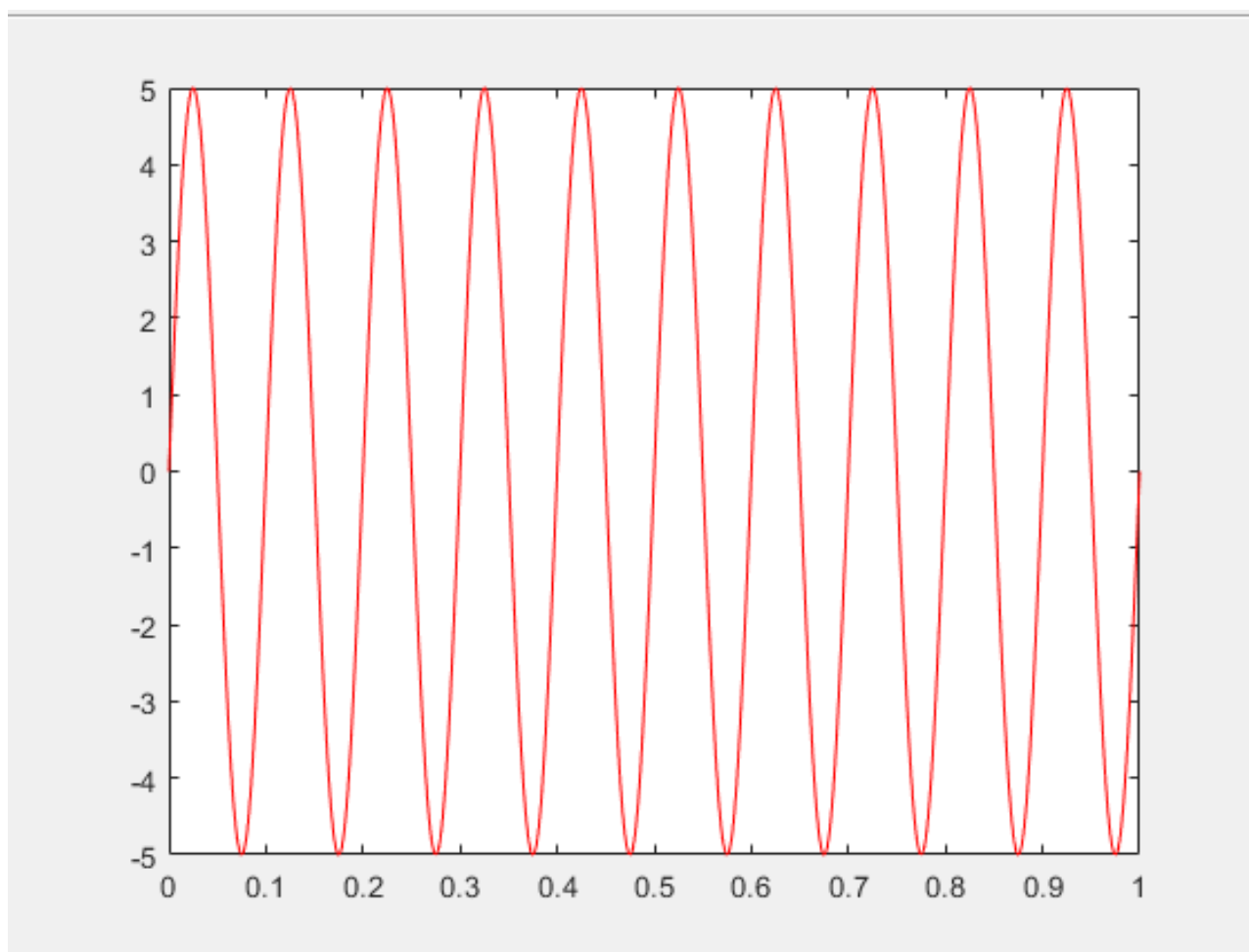


Рис. 4.18: Исходный сигнал

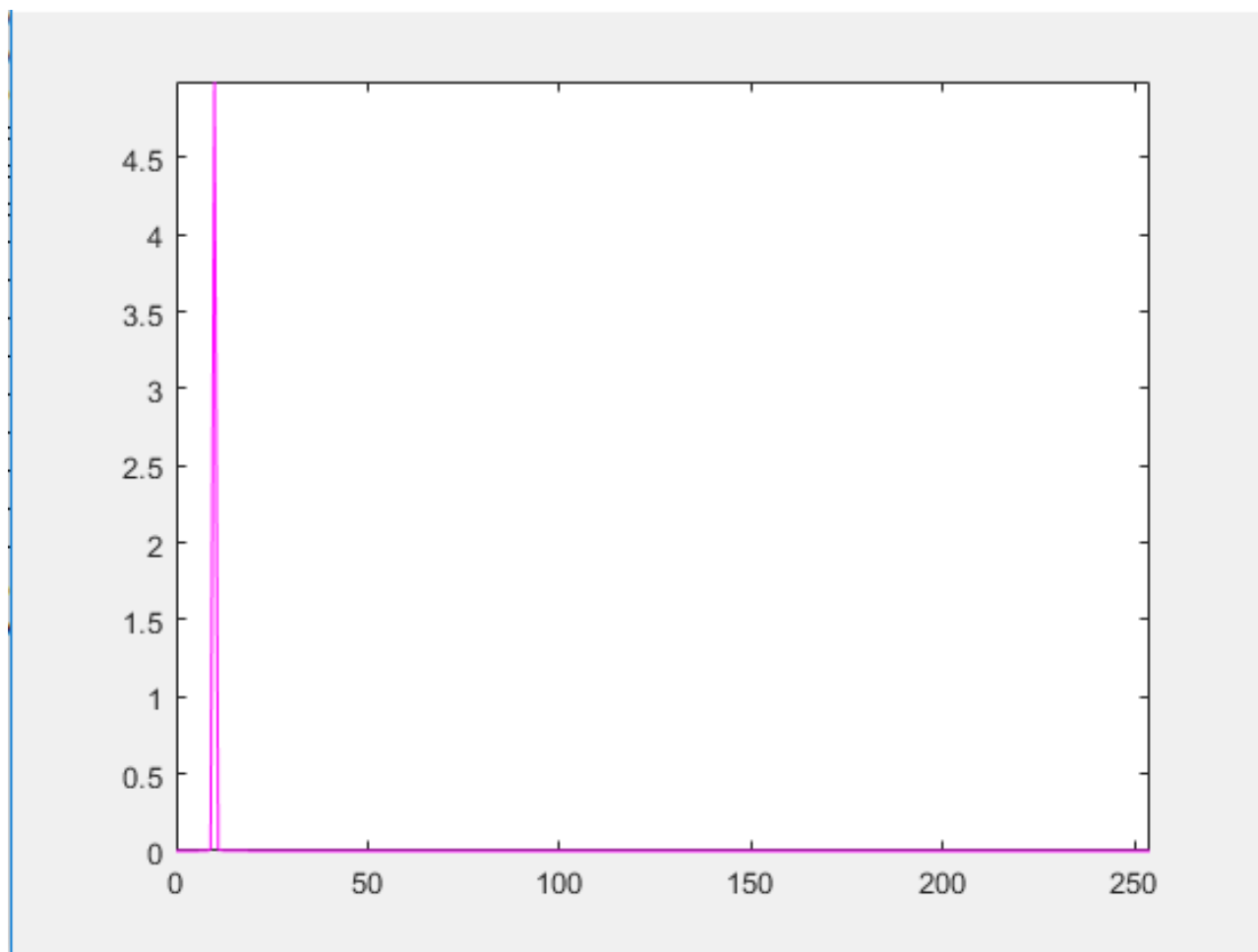


Рис. 4.19: Спектр исходного сигнала

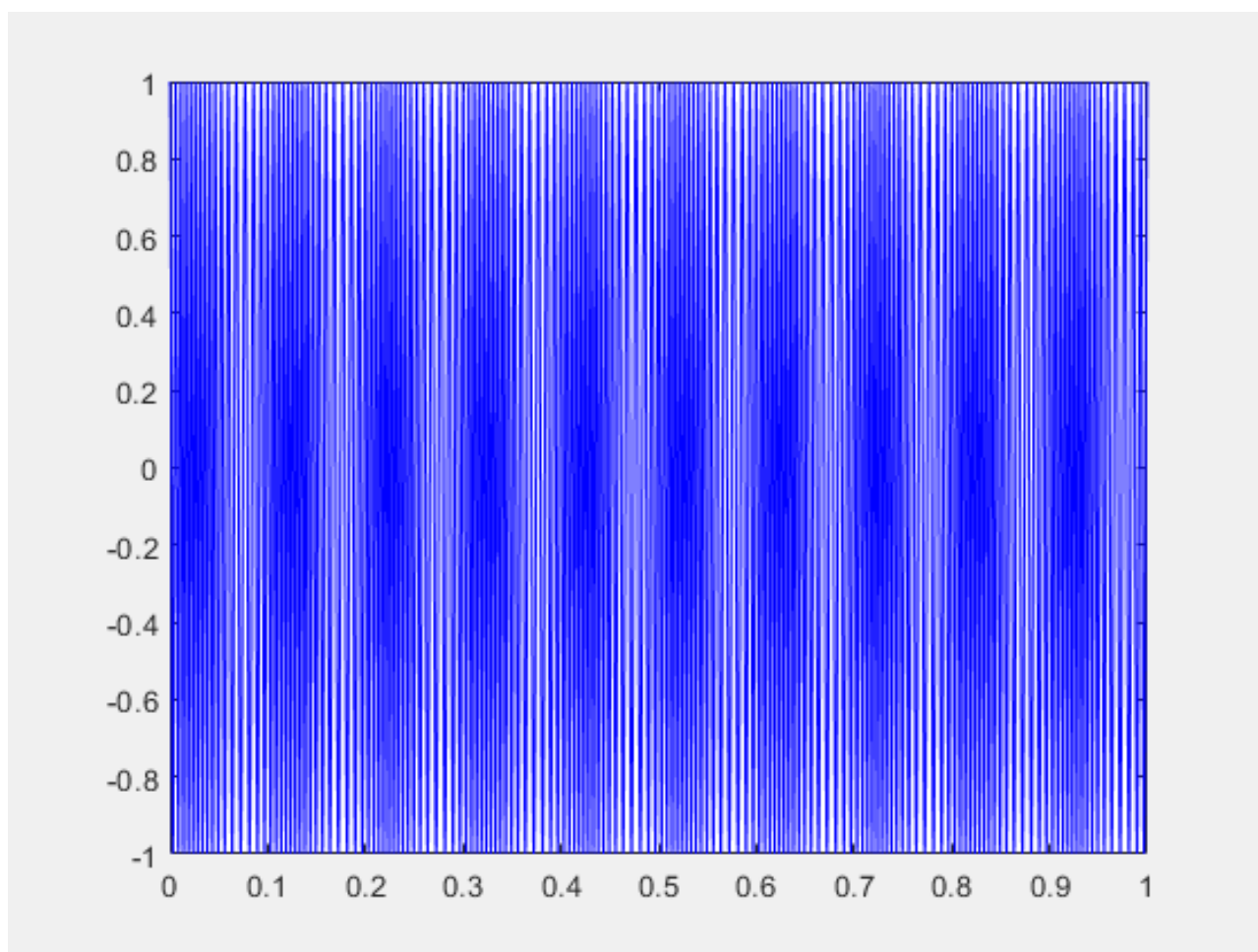


Рис. 4.20: Частотная модуляция

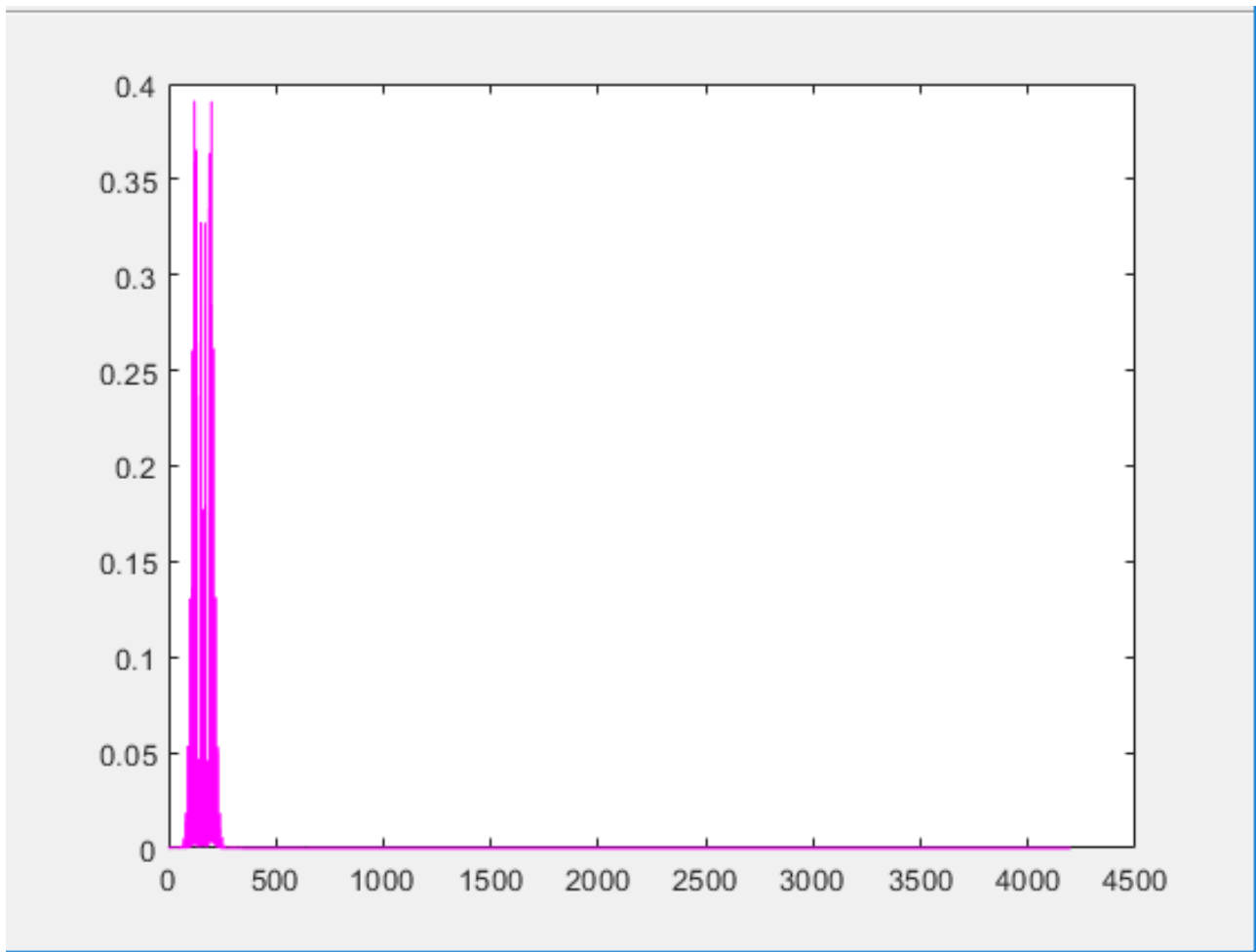


Рис. 4.21: Спектр модулируемого сигнала)

Затем был демодулирован сигнал

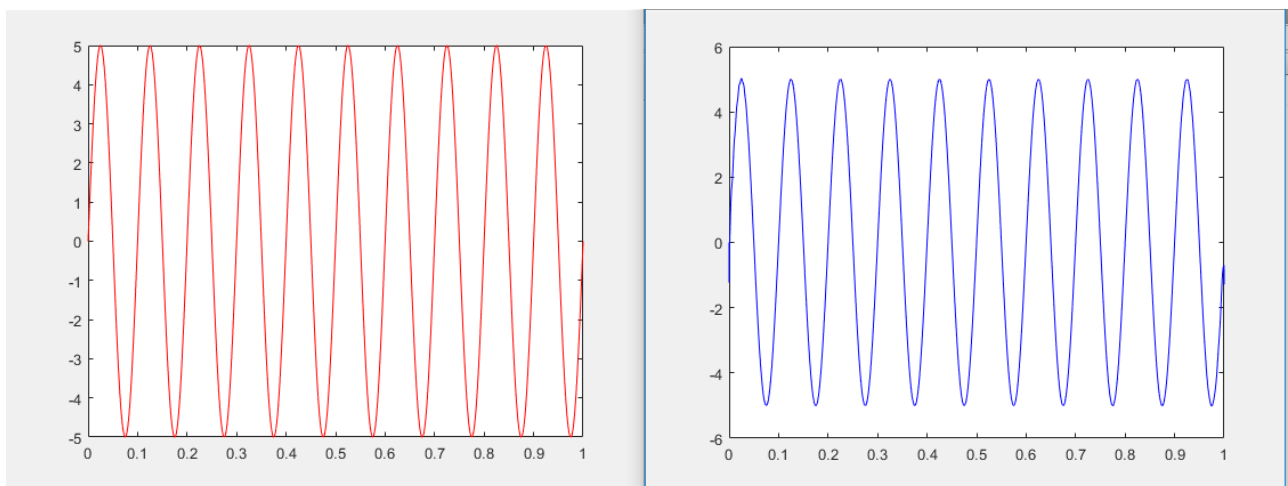


Рис. 4.22: Исходный и демодулированный сигнал

## 4.3 Фазовая модуляция

Выполним фазовую модуляцию

```
1 - A1 = 5; %Амплитуда
2 - f = 10; %Частота
3 - fs = 8400; % Частота Дискретизации
4 - t=0:1/fs:1; %Время
5 - y1 = A1*sin(2*pi*f*t);
6 - plot(t,y1,'r');
7 - ffts1=abs(fft(y1,N)); % преобразование Фурье по модулю
8 - ffts1=2*ffts1./N;% нормализация
9 - ffts1(1)=ffts1(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
10 - fl=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
11 - figure;plot(fl,ffts1(1:length(fl)),'m');%вывод спектра исходного сигнала
12 - fc=160; % Частота несущей
13 - t1=pmmmod(y1,fc,fs,pi/8);
14 - t2=pmdemod(t1,fc,fs,pi/8);
15 - figure;
16 - plot(t,t1,'b');
17 - figure;
18 - plot(t,t2,'b');
19 - N=length(t);
20 - ffts1=abs(fft(t1,N)); % преобразование Фурье по модулю
21 - ffts1=2*ffts1./N;% нормализация
22 - ffts1(1)=ffts1(1)/2;% нормировка постоянной составляющей в спектре
23 - fl=0:fs/N:fs/2-fs/N;% вектор частот
24 - figure;plot(fl,ffts1(1:length(fl)),'m');%вывод спектра модулированного сигнала
```

Рис. 4.23: Код на языке MATLAB)

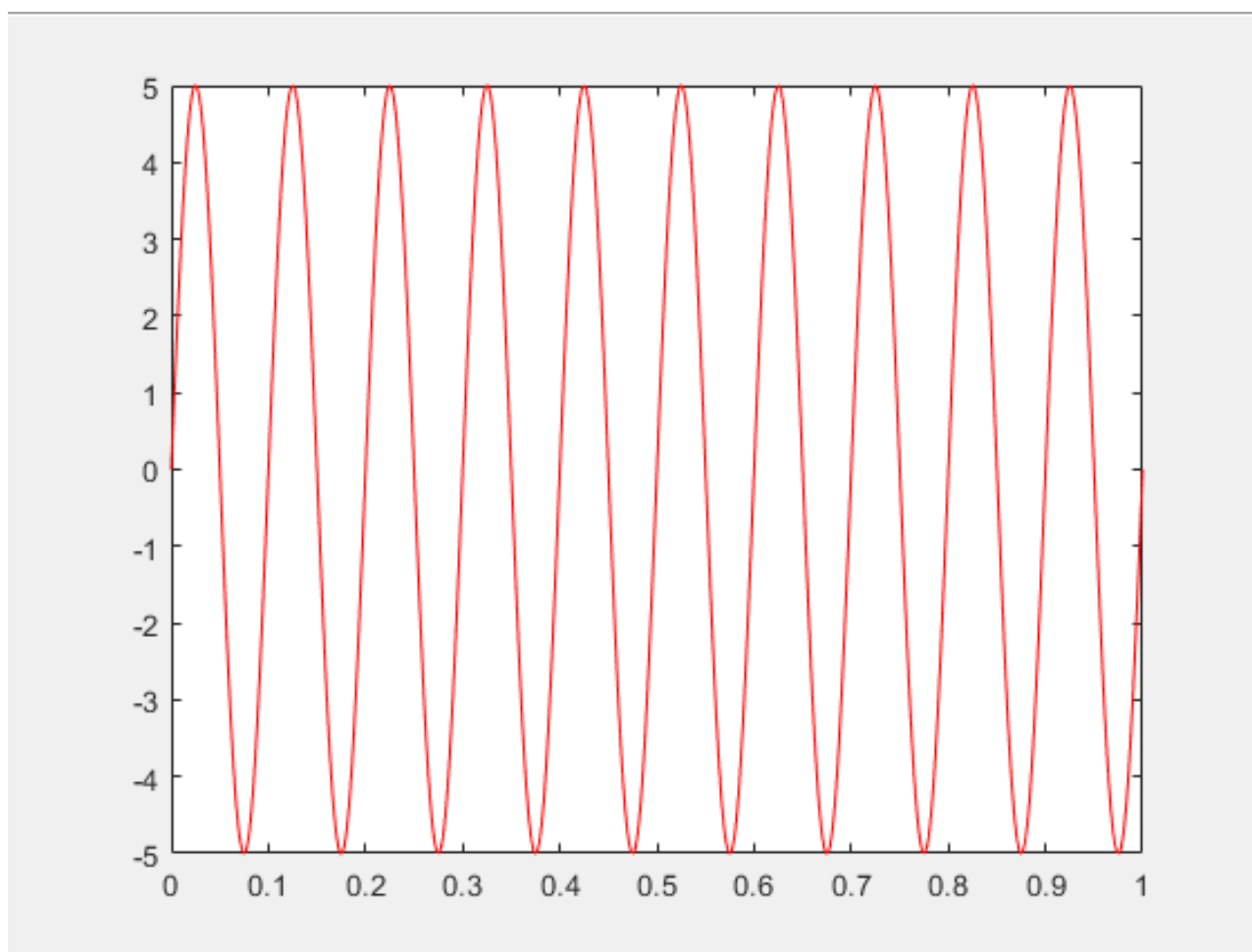


Рис. 4.24: Исходный сигнал



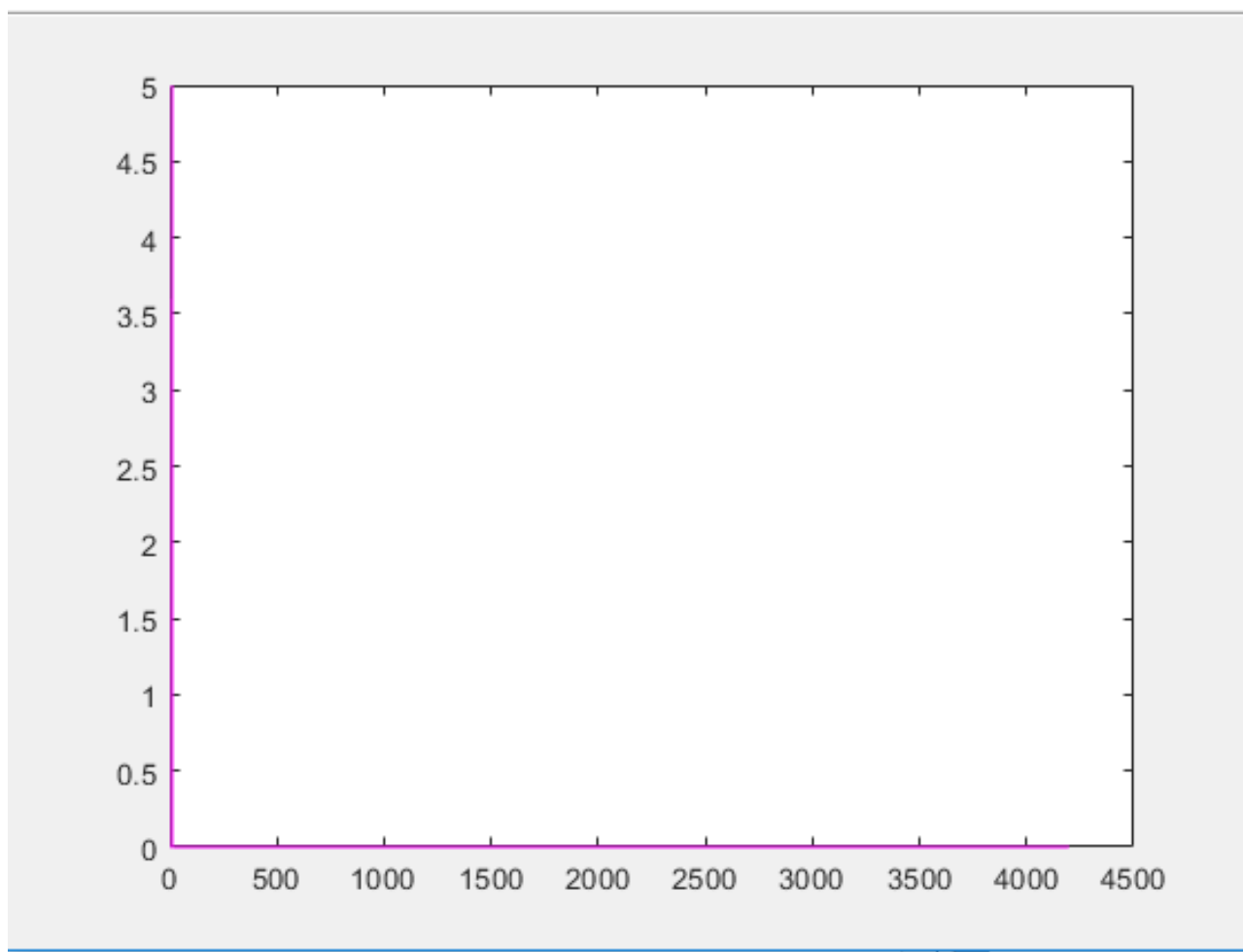


Рис. 4.25: Спектр исходного сигнала

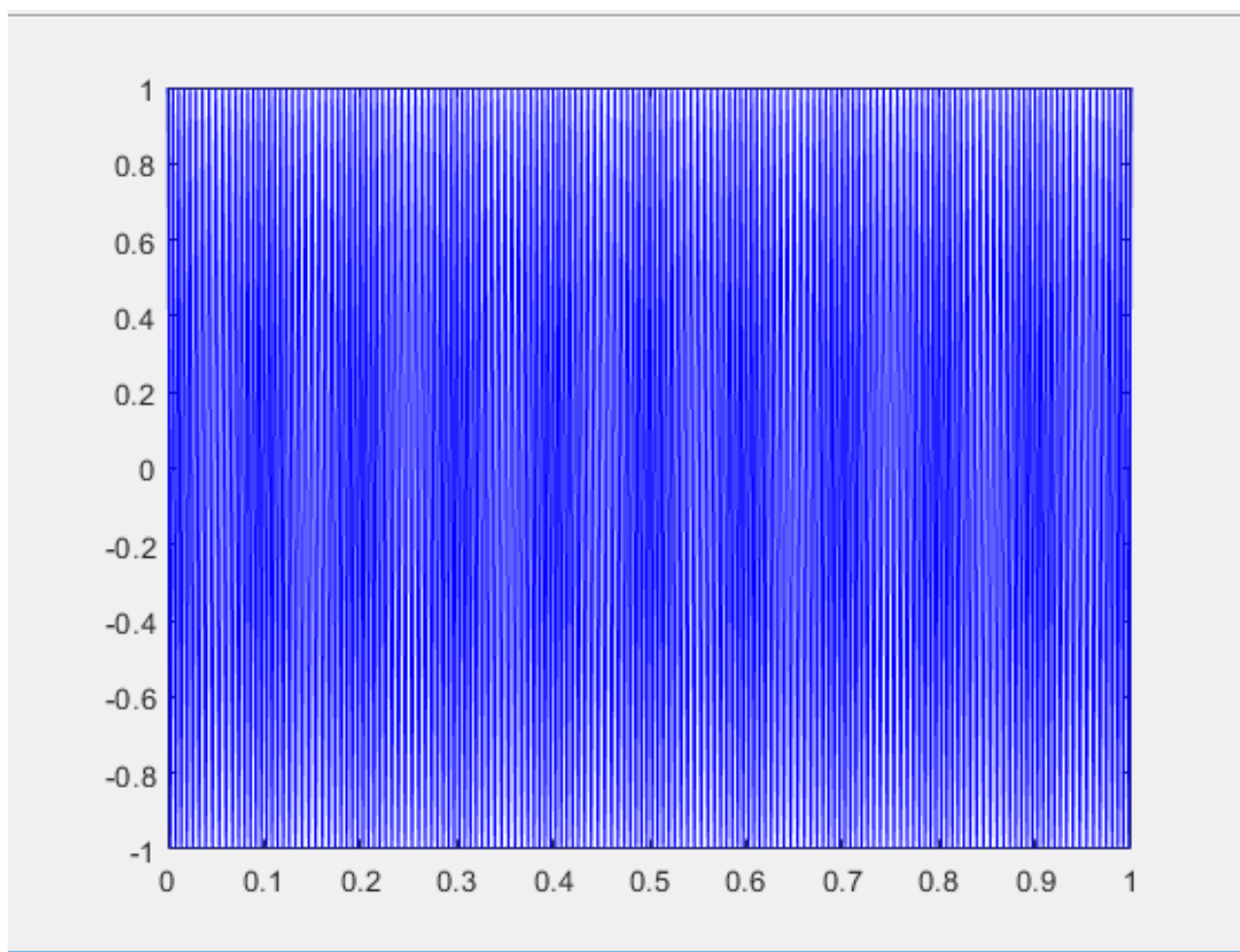


Рис. 4.26: Частотная модуляция

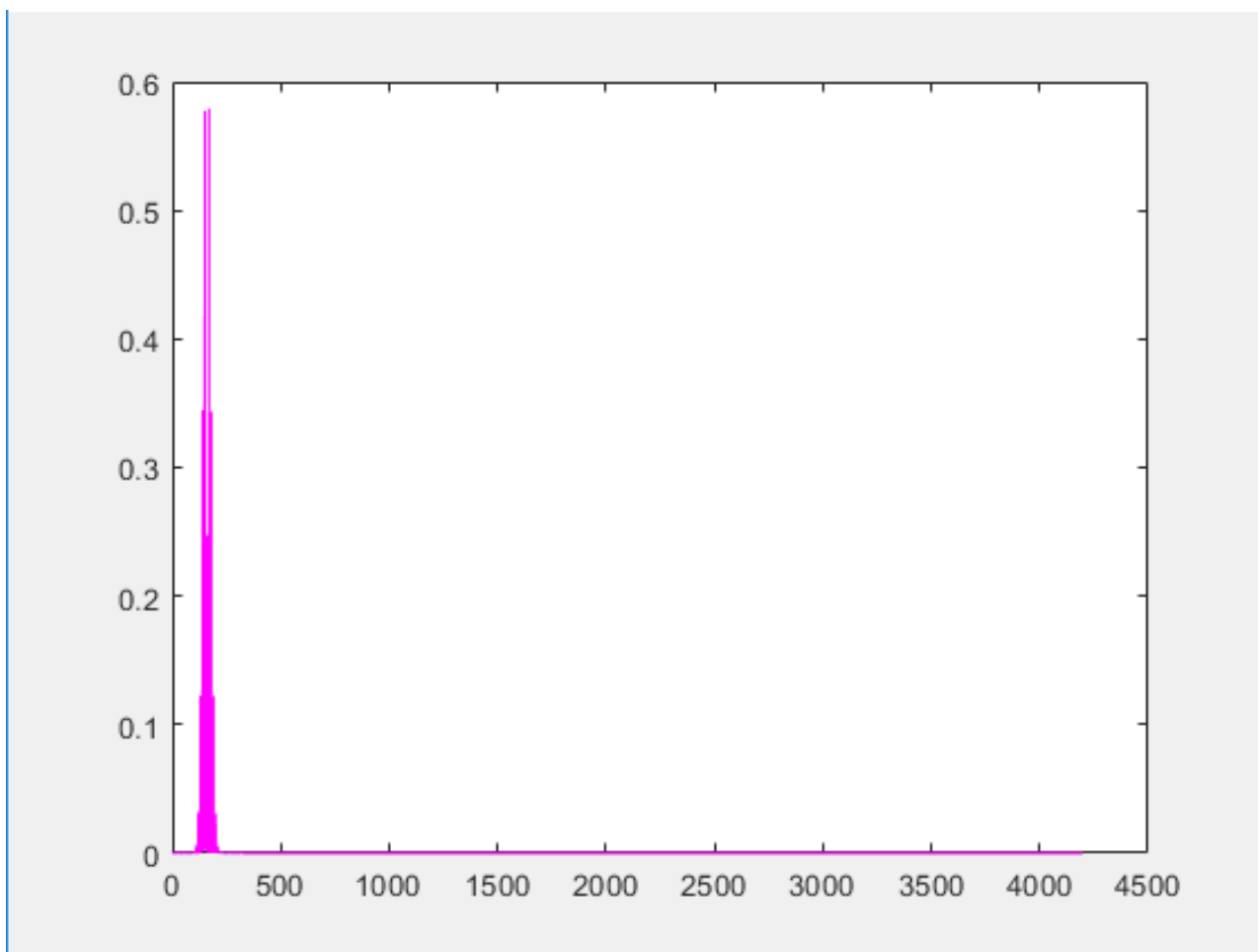


Рис. 4.27: Спектр модулируемого сигнала)

Затем был демодулирован сигнал

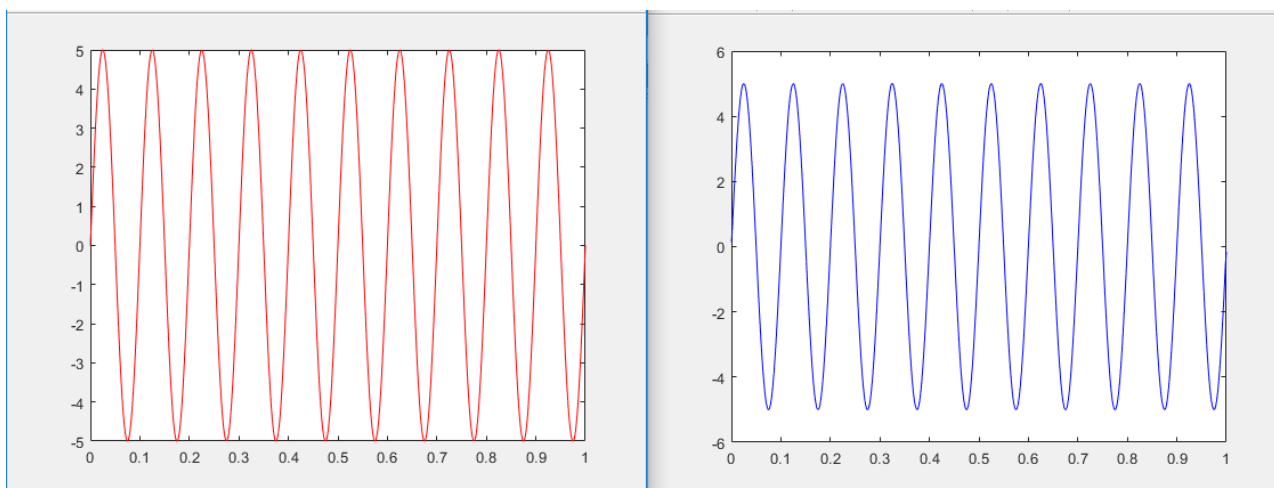


Рис. 4.28: Исходный и демодулированный сигнал

## 5 Выводы

В ходе работы были исследованы все виды аналоговых модуляций: амплитудная, частотная, фазовая. Была проведена модуляция/демодуляция сигналов. Так как, демодулированные сигналы равны исходным, можно сделать вывод, что цель лабораторной работы выполнена