

# **Отчет по лабораторной работе №1**

**Сетевые технологии**

Сахно Никита, НФИбд-02-23

# **Содержание**

<b>1 Цель работы</b>	<b>4</b>
<b>2 Задание</b>	<b>5</b>
<b>3 Выполнение лабораторной работы</b>	<b>6</b>
3.1 Задание №1 . . . . .	6
3.2 Задание №2 . . . . .	9
3.3 Задание №3 .....	12
3.4 Задание №4 .....	22
3.5 Задание №5 .....	25
<b>4 Выводы</b>	<b>41</b>



# **1 Цель работы**

Изучить методы кодирования и модуляции сигналов с помощью высокоуровнего языка программирования octave. Определить спектр и параметры сигнала. Продемонстрировать принципы модуляции сигнала на примере аналоговой амплитудной модуляции. Исследовать свойства самосинхронизации сигнала.

## 2 Задание

1. Построить графики в octave:

- Построить график функции  $y = \sin(x) + \frac{1}{3}\sin(3x) + \frac{1}{5}\sin(5x)$  на интервале  $[-10; 10]$ , используя octave и функцию `plot`. График экспортировать в файлы формата .eps, .png.
- Построить график функции  $y = \cos(x) + \frac{1}{3}\cos(3x) + \frac{1}{5}\cos(5x)$  на интервале  $[-10; 10]$ , используя octave и функцию `plot`. График экспортировать в файлы формата .eps, png.

2. Разложить импульсный сигнал в частичный ряд Фурье:

- Разработать код m-файла, результатом выполнения которого являются графики меандра, реализованные с различным количеством гармоник.

3. Определить спектр и параметры сигнала:

- Определить спектр двух отдельных сигналов и их суммы;
- Выполнить задание с другой частотой дискретизации. Пояснить, что будет, если взять частоту дискретизации меньше 80 Гц?

4. Продемонстрировать принципы модуляции сигнала на примере аналоговой амплитудной модуляции;

5. По заданным битовым последовательностям требуется получить кодированные сигналы для нескольких кодов, проверить свойства самосинхронизуемости кодов, получить спектры.

# 3 Выполнение лабораторной работы

## 3.1 Задание №1

После запуска в моей ОС octave с оконным интерфейсом я перешел в окно редактора, создал новый сценарий и сохранил его в рабочий каталог с именем plot\_sin.m. В окне редактора я ввел следующий листинг по построению графика функции:

```
% Формирование массива x:  
x=-10:0.1:10;  
  
% Формирование массива y.  
y1=sin(x)+1/3*sin(3*x)+1/5*sin(5*x);  
  
% Построение графика функции:  
plot(x,y1, "-ok; y1=sin(x)+(1/3)*sin(3*x)+(1/5)*sin(5*x);", "markersize", 4)  
  
% Отображение сетки на графике  
grid on;  
  
% Подпись оси X:  
xlabel('x');  
  
% Подпись оси Y:  
ylabel('y');  
  
% Название графика:  
title('y1=sin x+ (1/3)sin(3x)+(1/5)sin(5x)');  
  
% Экспорт рисунка в файл .eps:  
print ("plot-sin.eps", "-mono", "-FArial:16", "-deps")
```

```
% Экспорт рисунка в файл .png:
```

```
print("plot-sin.png");
```

После запуска сценария открывается окно с построенным графиком (рис. 3.1) и в рабочем каталоге появились файлы с графиками в форматах .eps, .png.

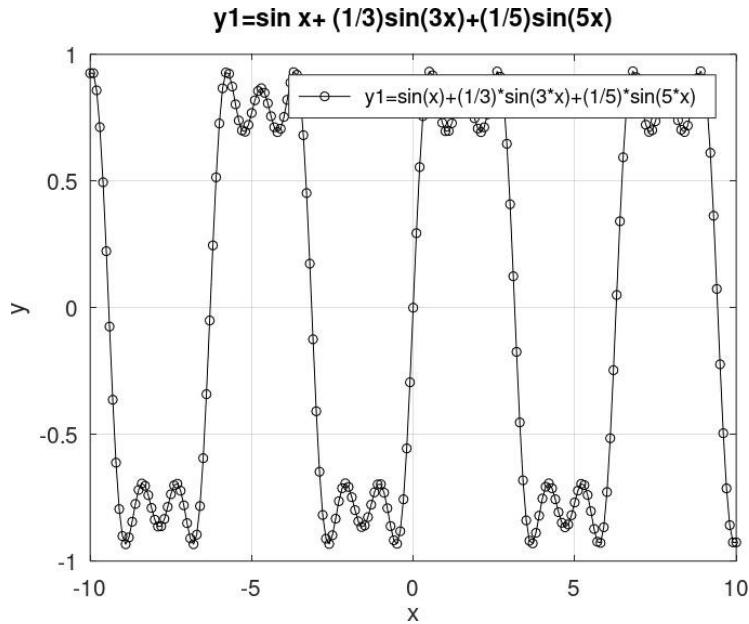


Рис. 3.1: График функции sin

Далее я сохранил сценарий под другим названием и изменил его так, чтобы на одном графике располагались отличающиеся по типу линий графики функций  $y = \sin(x) + \frac{1}{3}\sin(3x) + \frac{1}{5}\sin(5x)$ ,  $y = \cos(x) + \frac{1}{3}\cos(3x) + \frac{1}{5}\cos(5x)$ .

```
% Формирование массива x:
```

```
x=-10:0.1:10;
```

```
% Формирование массивов y1 и y2.
```

```
y1=sin(x)+1/3*sin(3*x)+1/5*sin(5*x);
```

```
y2=cos(x)+(1/3)*cos(3*x)+(1/5)*cos(5*x);
```

```
% Построение первого графика функции:
```

```
plot(x,y1, "-ok; y1=sin(x)+(1/3)*sin(3*x)+(1/5)*sin(5*x);", "markersize", 4)  
hold on
```

```

% Построение второго графика функции:
plot(x,y2, "-; y2=cos(x)+(1/3)*cos(3*x)+(1/5)*cos(5*x);", "markersize", 4)

% Отображение сетки на графике
grid on;

% Подпись оси X:
xlabel('x');

% Подпись оси Y:
ylabel('y');

% Экспорт рисунка в файл .eps:
print ("plot-sin-cos.eps", "-mono", "-FArial:16", "-deps")

% Экспорт рисунка в файл .png:
print("plot-sin-cos.png");

```

После запуска сценария открывается окно с построенным графиком (рис. 3.2).

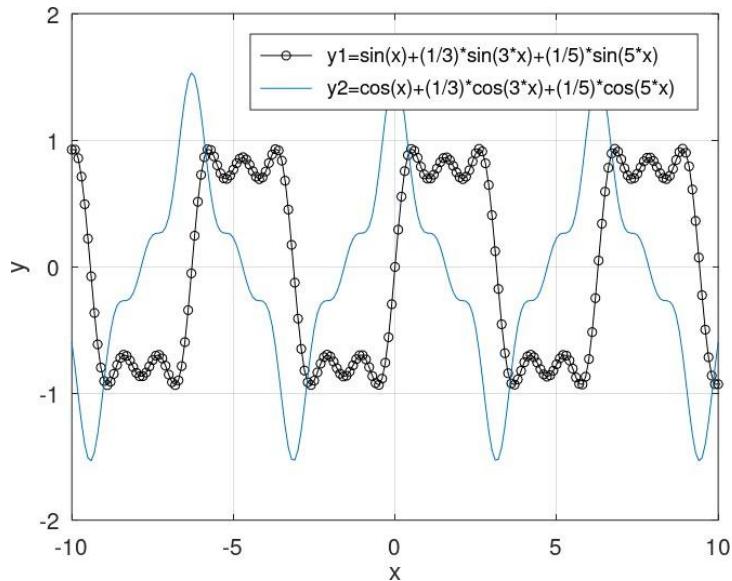


Рис. 3.2: График функций  $y_1$  и  $y_2$

## 3.2 Задание №2

Я создала новый сценарий и сохранила его в рабочий каталог с именем meandr.m. В коде созданного сценария задала начальные значения:

```
% meandr.m  
% количество отсчетов (гармоник) :  
N=8;  
  
% частота дискретизации:  
t=-1:0.01:1;  
  
% значение амплитуды:  
A=1;  
  
% период:  
T=1;
```

Разложение импульсного сигнала в форме меандра в частичный ряд Фурье можно задать формулой:

$$s(t) = \frac{A}{2} + \frac{2A}{\pi} \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - \frac{1}{3} \cos\left(\frac{3\cdot2\pi t}{T}\right) + \frac{1}{5} \cos\left(\frac{5\cdot2\pi t}{T}\right) - \dots$$

или формулой:

$$s(t) = \frac{A}{2} + \frac{2A}{\pi} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - \frac{1}{3} \sin\left(\frac{3\cdot2\pi t}{T}\right) + \frac{1}{5} \sin\left(\frac{5\cdot2\pi t}{T}\right) - \dots$$

Гармоники, образующие меандр, имеют амплитуду, обратно пропорциональную номеру соответствующей гармоники в спектре, следовательно можно задать их так:

```
% амплитуда гармоник  
nh=(1:N)*2-1;  
  
% массив коэффициентов для ряда, заданного через cos:  
Am=2/pi ./ nh;  
Am(2:2:end) = -Am(2:2:end);  
  
% массив гармоник:  
harmonics=cos(2 * pi * nh' * t/T);
```

```

% массив элементов ряда:
s1=harmonics.*repmat(Am',1,length(t));
% Суммирование ряда:
s2=cumsum(s1);
% Построение графиков:
for k=1:N
    subplot(4,2,k)
    plot(t, s2(k,:))
end
% Экспорт рисунка в файл .png:
print("plot-meandr-cos.png");

```

Далее экспортировала полученный график в файл в формате .png (рис. 3.3).

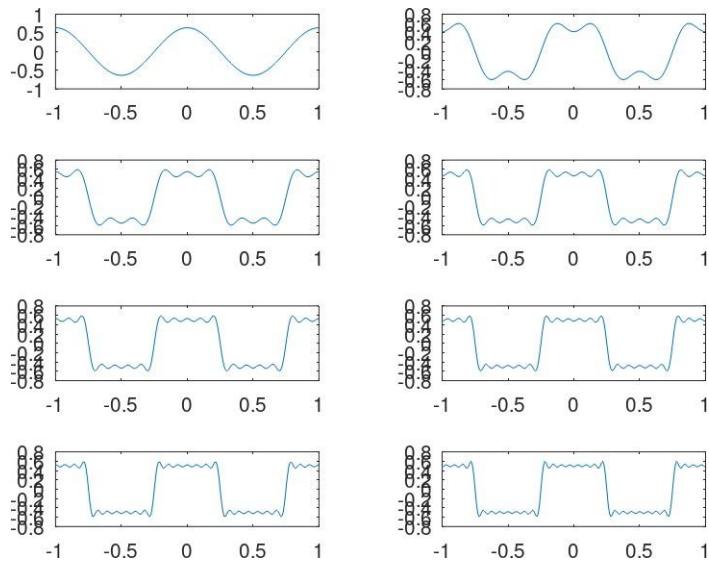


Рис. 3.3: Графики меандра, содержащего различное число гармоник

Скорректировал код для реализации меандра через синусы.

```

% meandr.m
% количество отсчетов (гармоник) :

```

```

N=8;

% частота дискретизации:

t=-1:0.01:1;

% значение амплитуды:

A=1;

% период:

T=1;

% амплитуда гармоник

nh=(1:N)*2-1;

% массив коэффициентов для ряда, заданного через cos:

Am=2/pi ./ nh;

%Am(2:2:end) = -Am(2:2:end);

% массив гармоник:

harmonics=sin(2 * pi * nh' * t/T);

% массив элементов ряда:

s1=harmonics.*repmat(Am',1,length(t));

% Суммирование ряда:

s2=cumsum(s1);

% Построение графиков:

for k=1:N

    subplot(4,2,k)

    plot(t, s2(k,:))

end

% Экспорт рисунка в файл .png:

print("plot-meandr-sin.png");

```

Получим соответствующие графики (рис. 3.4).

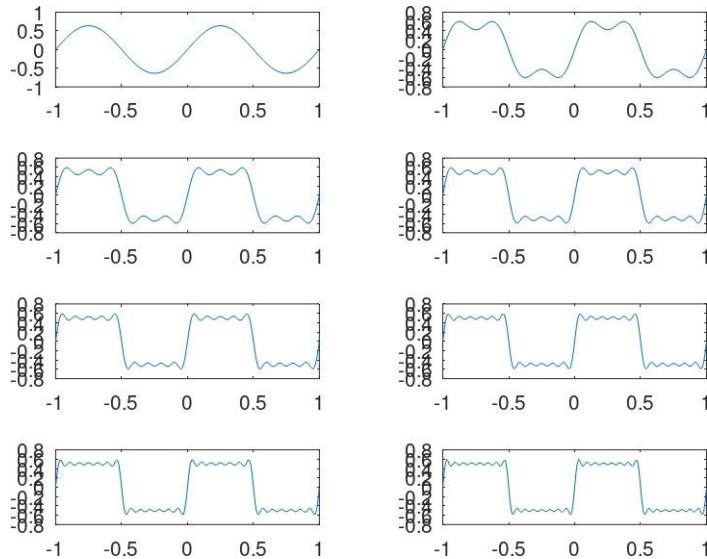


Рис. 3.4: Графики меандра, содержащего различное число гармоник

### 3.3 Задание №3

В рабочем каталоге создала каталог `spectre1`, а в нем сценарий с именем `spectre.m`. Написала в сценарии следующий код:

```
% spectre1/spectre.m

% Создание каталогов signal и spectre для размещения графиков:
mkdir 'signal';
mkdir 'spectre';

% Длина сигнала (с):
tmax = 0.5;

% Частота дискретизации (Гц) (количество отсчётов):
fd = 512;

% Частота первого сигнала (Гц):
f1 = 10;

% Частота второго сигнала (Гц):
f2 = 20;
```

```

f2 = 40;

% Амплитуда первого сигнала:

a1 = 1;

% Амплитуда второго сигнала:

a2 = 0.7;

% Массив отсчётов времени:

t = 0:1./fd:tmax;

% Спектр сигнала:

fd2 = fd/2;

% Два сигнала разной частоты:

signal1 = a1*sin(2*pi*t*f1);

signal2 = a2*sin(2*pi*t*f2);

```

Построил графики сигналов (рис. 3.5).

```

% График 1-го сигнала:

plot(signal1,'b');

% График 2-го сигнала:

hold on

plot(signal2,'r');

hold off

title('Signal');

% Экспорт графика в файл в каталоге signal:

print 'signal/spectre.png';

```

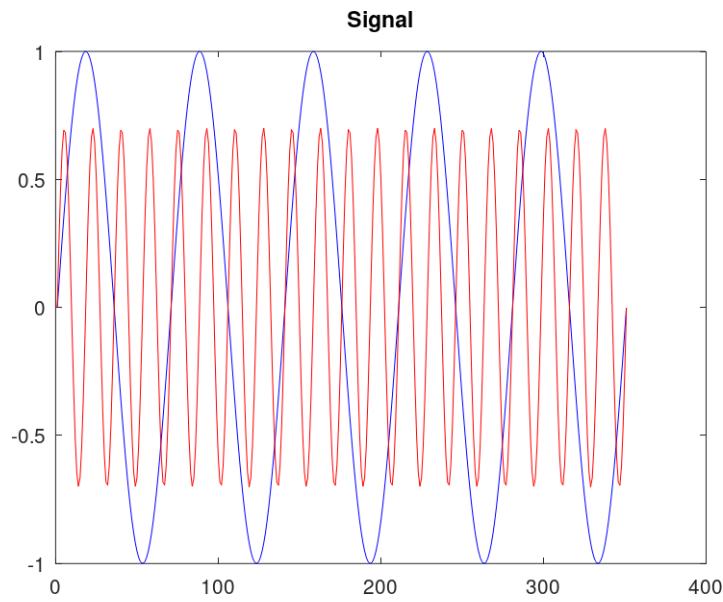


Рис. 3.5: Два синусоидальных сигнала разной частоты

Используем быстрое преобразование Фурье, чтобы найти спектры сигналов (рис. 3.6).

```
% Посчитаем спектр
% Амплитуды преобразования Фурье сигнала 1:
spectre1 = abs(fft(signal1,fd));
% Амплитуды преобразования Фурье сигнала 2:
spectre2 = abs(fft(signal2,fd));
% Построение графиков спектров сигналов:
plot(spectre1,'b');
hold on
plot(spectre2,'r');
hold off
title('Spectre');
print 'spectre/spectre.png';
```

Учитывая некоторые неточности преобразования Фурье, нужно скорректиро-

вать график спектра(рис. 3.7).

```
% Исправление графика спектра  
% Сетка частот:  
f = 1000*(0:fd2)./(2*fd);  
% Нормировка спектров по амплитуде:  
spectre1 = 2*spectre1/fd2;  
spectre2 = 2*spectre2/fd2;  
% Построение графиков спектров сигналов:  
plot(f,spectre1(1:fd2+1), 'b');  
hold on  
plot(f,spectre2(1:fd2+1), 'r');  
hold off  
xlim([0 100]);  
title('Fixed spectre');  
xlabel('Frequency (Hz)');  
print 'spectre/spectre_fix.png';
```

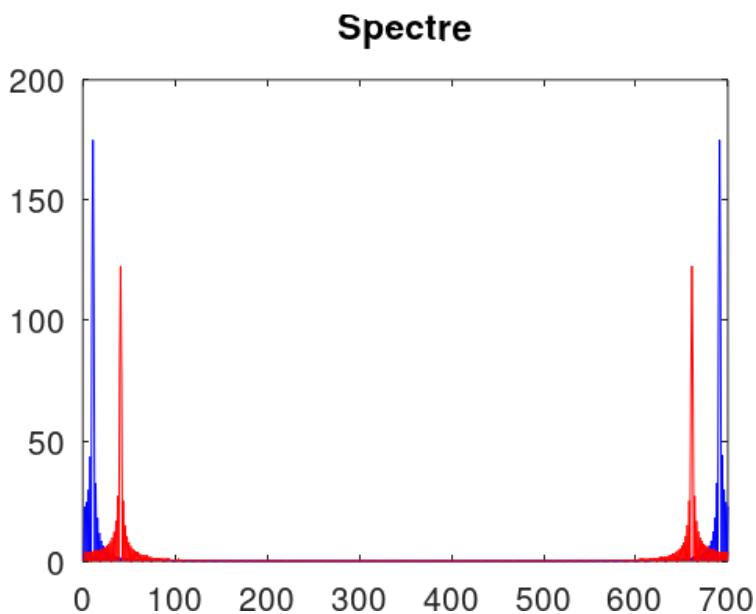


Рис. 3.6: График спектров синусоидальных сигналов

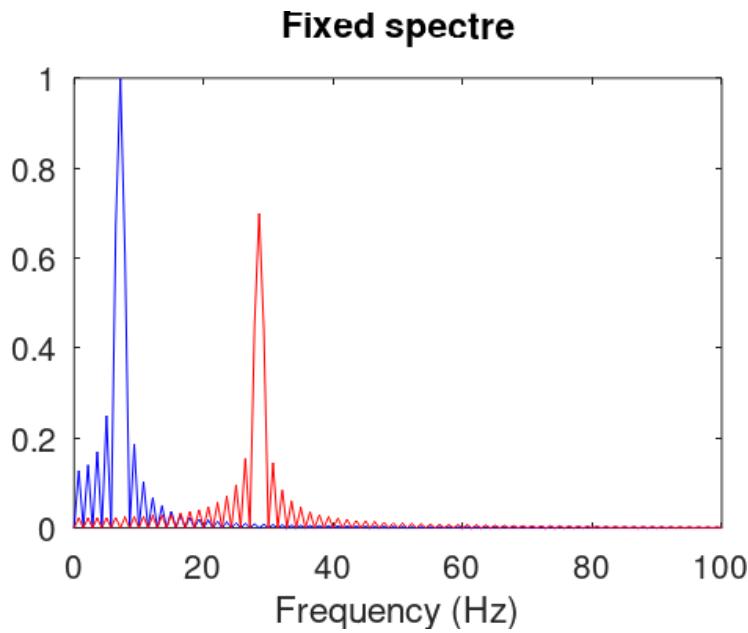


Рис. 3.7: Исправленный график спектров синусоидальных сигналов

Далее я нашел спектр суммы рассмотренных сигналов (рис. 3.8), создав каталог `spectr_sum` и файл в нём `spectre_sum.m` со следующим кодом:

```
% spectr_sum/spectre_sum.m

% Создание каталогов signal и spectre для размещения графиков:
% mkdir 'signal';
% mkdir 'spectre';

% Длина сигнала (с):
tmax = 0.5;

% Частота дискретизации (Гц) (количество отсчётов):
fd = 512;

% Частота первого сигнала (Гц):
f1 = 10;

% Частота второго сигнала (Гц):
f2 = 40;

% Амплитуда первого сигнала:
a1 = 1;
```

```

% Амплитуда второго сигнала:
a2 = 0.7;

% Спектр сигнала
fd2 = fd/2;

% Сумма двух сигналов (синусоиды) разной частоты:
% Массив отсчётов времени:
t = 0:1./fd:tmax;
signall = a1*sin(2*pi*t*f1);
signal2 = a2*sin(2*pi*t*f2);
signal = signall + signal2;
plot(signal);
title('Signal');
print 'signal/spectre_sum.png';

% Подсчет спектра:
% Амплитуды преобразования Фурье сигнала:
spectre = fft(signal,fd);

% Сетка частот
f = 1000*(0:fd2)./(2*fd);

% Нормировка спектра по амплитуде:
spectre = 2*sqrt(spectre.*conj(spectre))./fd2;

% Построение графика спектра сигнала:
plot(f,spectre(1:fd2+1))
xlim([0 100]);
title('Spectre');
xlabel('Frequency (Hz)');
print 'spectre/spectre_sum.png';

```

В результате получился аналогичный предыдущему результат (рис. 3.9), т.е. спектр суммы сигналов должен быть равен сумме спектров сигналов, что вытекает из свойств преобразования Фурье.

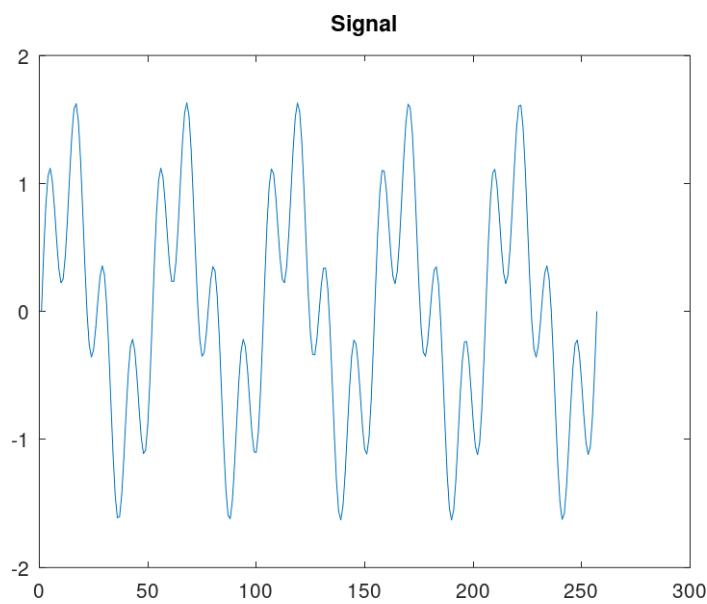


Рис. 3.8: Суммарный сигнал

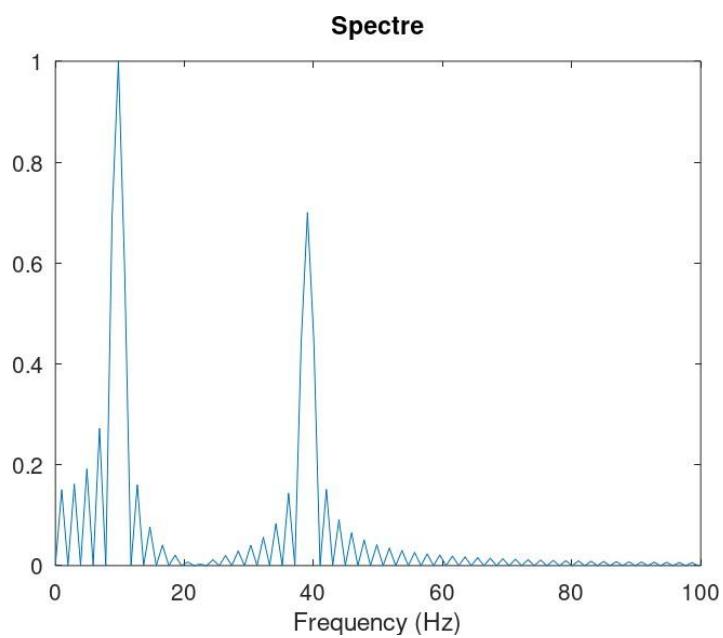


Рис. 3.9: Спектр суммарного сигнала

Также нас просят выполнить задание с другой частотой дискретизации. Я попробовал взять частоту меньше 512, например, 300, и больше 512, например 700.

И получилось, что чем меньше частоту дискретизации мы берем — тем меньше ступеней и больше шумов квантования получаем (на графиках получаются более ломанные линии). И, соответственно, повышение частоты дискретизации позволяет описать волну точнее и уменьшить шумы (линии идут плавнее).

Что же будет, если взять частоту дискретизации меньше 80 Гц? Как глаголит теорема Котельникова: если аналоговый сигнал  $x(t)$  имеет конечный (ограниченный по ширине) спектр, то он может быть восстановлен однозначно и без потерь по своим отсчетам (гармоникам), взятым с частотой, строго большей удвоенной верхней частоты  $f_c : f > 2f_c$ . А поскольку мы задали такие начальные значения, что частота второго сигнала ( $\Gamma_2$ ):  $f_2 = 40$ , то получаем, что частоту дискретизации надо брать больше 80 Гц для точного воспроизведения сигнала. Чтобы наглядно увидеть доказательство теоремы, я изменил в коде частоту дискретизации на 50 Гц:  $f_d = 50$ ;

И получила “плохие” графики (рис. 3.10-3.14):

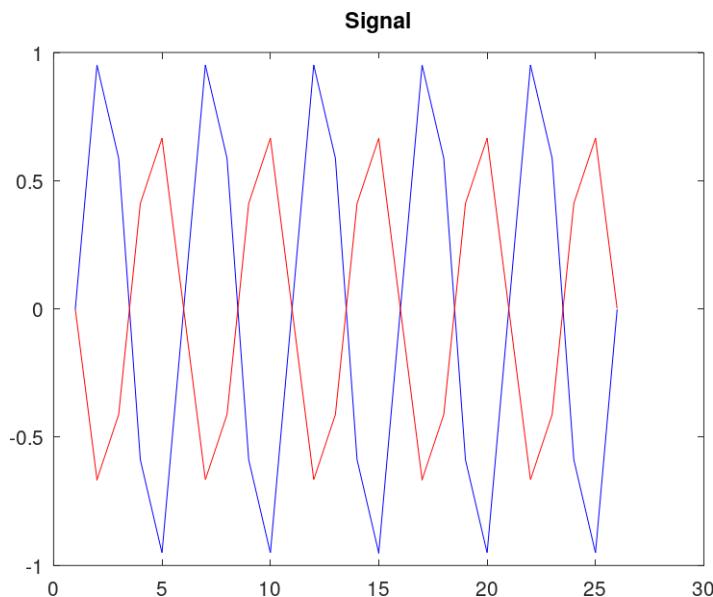


Рис. 3.10: Два синусоидальных сигнала разной частоты

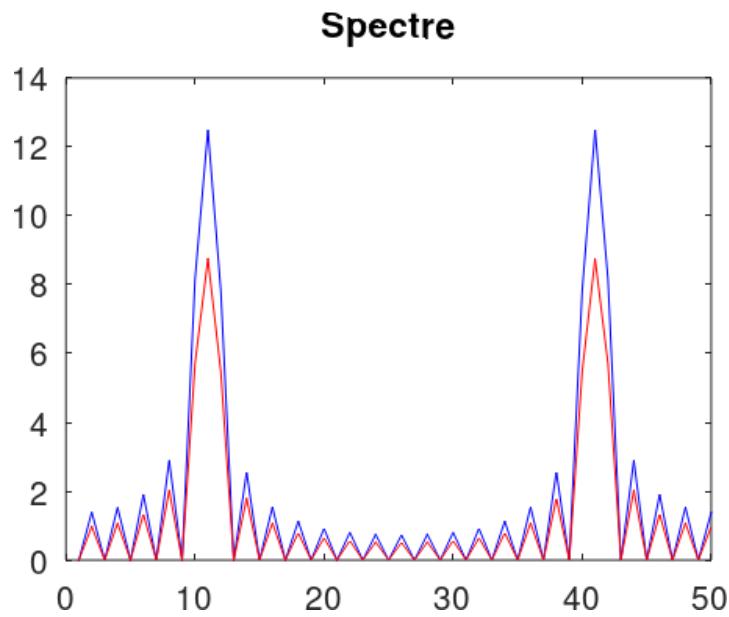


Рис. 3.11: График спектров синусоидальных сигналов

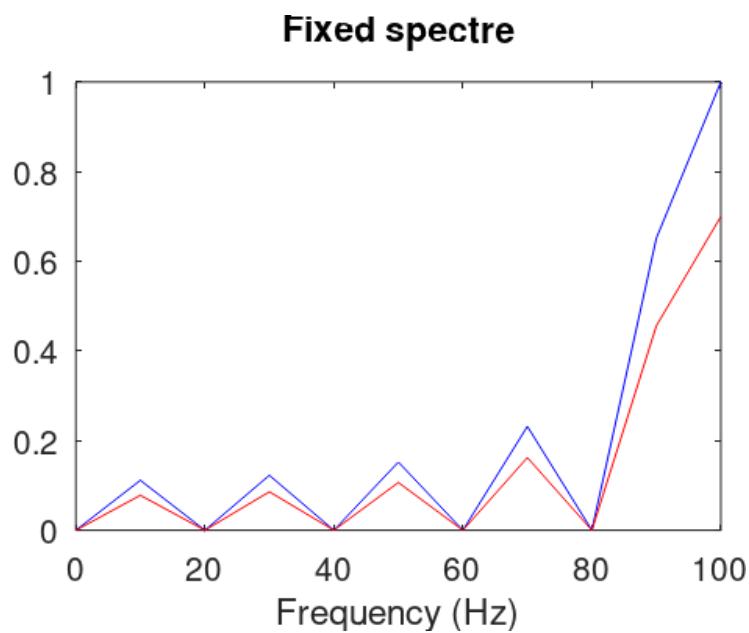


Рис. 3.12: Исправленный график спектров синусоидальных сигналов

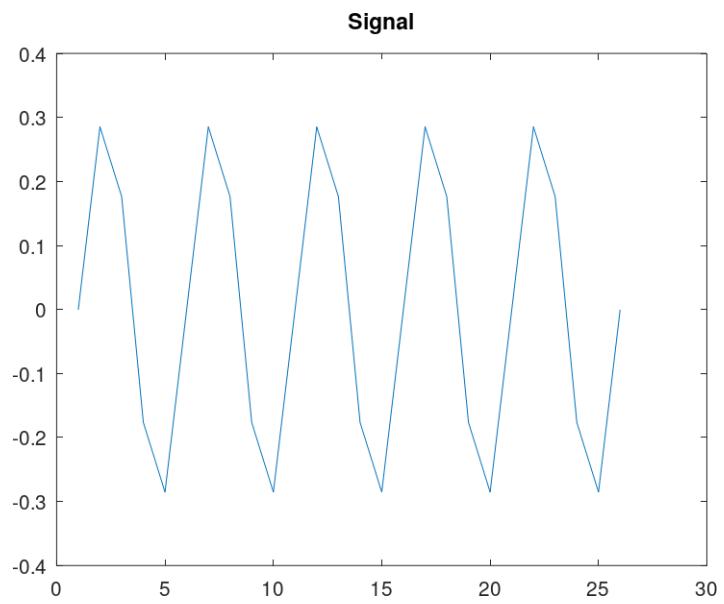


Рис. 3.13: Суммарный сигнал

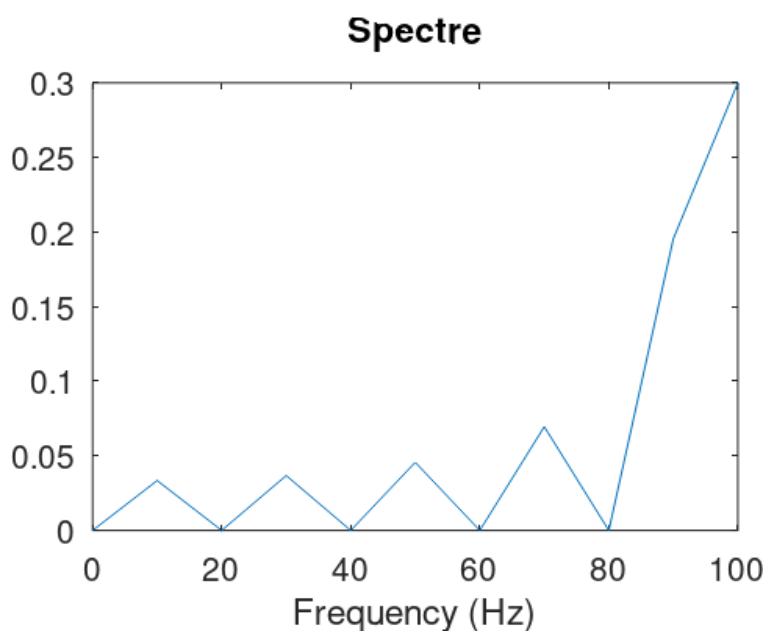


Рис. 3.14: Спектр суммарного сигнала

## 3.4 Задание №4

Продемонстрируем аналоговую амплитудную модуляцию (рис. 3.15). В рабочем каталоге создал каталог modulation, а в нем файл с именем am.m. В этом файле написал следующий код:

```
% modulation/am.m

% Создание каталогов signal и spectre для размещения графиков:
mkdir 'signal';
mkdir 'spectre';

% Модуляция синусоид с частотами 50 и 5
% Длина сигнала (с)
tmax = 0.5;

% Частота дискретизации (Гц) (количество отсчётов)
fd = 512;

% Частота сигнала (Гц)
f1 = 5;

% Частота несущей (Гц)
f2 = 512;

% Спектр сигнала
fd2 = fd/2;

% Построение графиков двух сигналов (синусоиды)
% разной частоты

% Массив отсчётов времени:
t = 0:1./fd:tmax;
signall = sin(2*pi*t*f1);
signal2 = sin(2*pi*t*f2);
signal = signall .* signal2;
plot(signal, 'b');
hold on
```

```
% Построение огибающей:
plot(signall, 'r');
plot(-signall, 'r');
hold off
title('Signal');
print 'signal/am.png';
```

Далее построим спектр произведения, который представляет собой свертку спекторов (рис. 3.16).

```
% Расчет спектра:
% Амплитуды преобразования Фурье-сигнала:
spectre = fft(signal,fd);
% Сетка частот:
f = 1000*(0:fd2)./(2*fd);
% Нормировка спектра по амплитуде:
spectre = 2*sqrt(spectre.*conj(spectre))./fd2;
% Построение спектра:
plot(f,spectre(1:fd2+1), 'b')
xlim([0 100]);
title('Spectre');
xlabel('Frequency (Hz)');
print 'spectre/am.png';
```

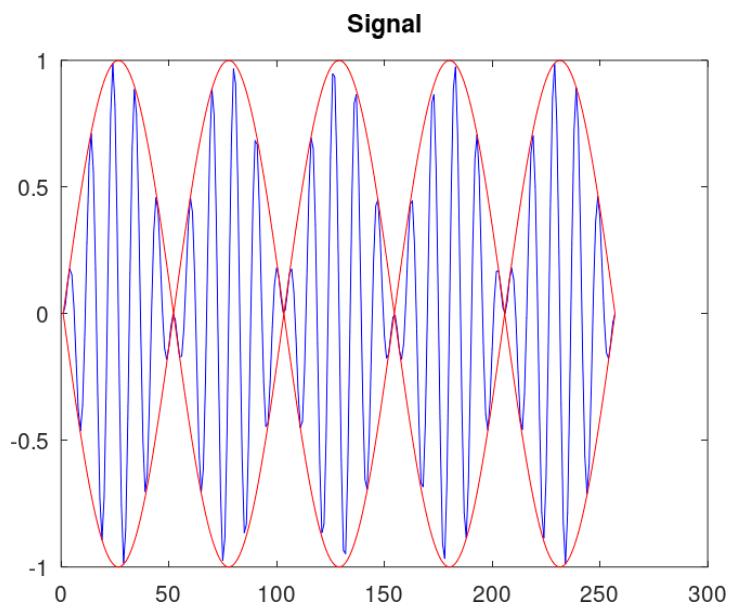


Рис. 3.15: Сигнал и огибающая при амплитудной модуляции

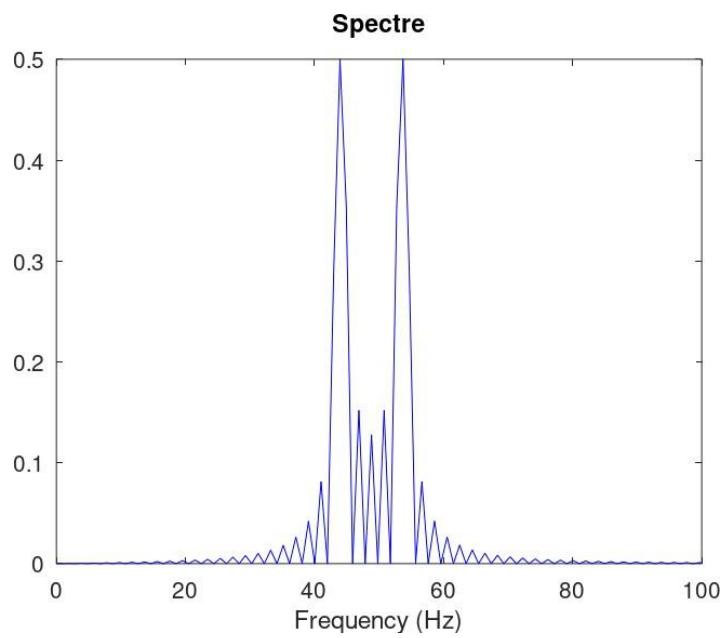


Рис. 3.16: Спектр сигнала при амплитудной модуляции

## 3.5 Задание №5

В рабочем каталоге создал каталог coding, а в нем файлы main.m, maptowave.m, unipolar.m, ami.m, bipolarnrz.m, bipolarrz.m, manchester.m, diffmanc.m, calcspectre.m. Проверил, что установлен пакет расширений signal.

В файле main.m подключил пакет signal и задал входные кодовые последовательности, а затем прописал вызовы функций для построения графиков модуляций кодированных сигналов для заданной кодовой последовательности:

```
% coding/main.m

% Подключение пакета signal:
pkg load signal;

% Входная кодовая последовательность:
data=[0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0];

% Входная кодовая последовательность для проверки свойства самосинхронизации:
data_sync=[0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1];

% Входная кодовая последовательность для построения спектра сигнала:
data_spectre=[0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1];

% Создание каталогов signal, sync и spectre для размещения графиков:
mkdir 'signal';
mkdir 'sync';
mkdir 'spectre';

axis("auto");

% Униполярное кодирование
wave=unipolar(data);
plot(wave);
ylim([-1 6]);
title('Unipolar');
print 'signal/unipolar.png';

% Кодирование ami
```

```

wave=ami(data);
plot(wave)
title('AMI');
print 'signal/ami.png';

% Кодирование NRZ

wave=bipolarnrz(data);
plot(wave);
title('Bipolar Non-Return to Zero');
print 'signal/bipolarnrz.png';

% Кодирование RZ

wave=bipolarrz(data);
plot(wave)
title('Bipolar Return to Zero');
print 'signal/bipolarrz.png';

% Манчестерское кодирование

wave=manchester(data);
plot(wave)
title('Manchester');
print 'signal/manchester.png';

% Дифференциальное манчестерское кодирование

wave=diffmanc(data);
plot(wave)
title('Differential Manchester');
print 'signal/diffmanc.png';

% Униполярное кодирование

wave=unipolar(data_sync);
plot(wave);
ylim([-1 6]);
title('Unipolar');

```

```

print 'sync/unipolar.png';

% Кодирование АМI

wave=ami(data_sync);
plot(wave)

title('AMI');

print 'sync/ami.png';

% Кодирование NRZ

wave=bipolarnrz(data_sync);
plot(wave);

title('Bipolar Non-Return to Zero');

print 'sync/bipolarnrz.png';

% Кодирование RZ

wave=bipolarrz(data_sync);
plot(wave)

title('Bipolar Return to Zero');

print 'sync/bipolarrz.png';

% Манчестерское кодирование

wave=manchester(data_sync);
plot(wave)

title('Manchester');

print 'sync/manchester.png';

% Дифференциальное манчестерское кодирование

wave=diffmanc(data_sync);
plot(wave)

title('Differential Manchester');

print 'sync/diffmanc.png';

% Униполярное кодирование:

wave=unipolar(data_spectre);
spectre=calcspectre(wave);

```

```

title('Unipolar');

print 'spectre/unipolar.png';

% Кодирование АМI:

wave=ami(data_spectre);

spectre=calcspectre(wave);

title('AMI');

print 'spectre/ami.png';

% Кодирование NRZ:

wave=bipolarnrz(data_spectre);

spectre=calcspectre(wave);

title('Bipolar Non-Return to Zero');

print 'spectre/bipolarnrz.png';

% Кодирование RZ:

wave=bipolarrz(data_spectre);

spectre=calcspectre(wave);

title('Bipolar Return to Zero');

print 'spectre/bipolarrz.png';

% Манчестерское кодирование:

wave=manchester(data_spectre);

spectre=calcspectre(wave);

title('Manchester');

print 'spectre/manchester.png';

% Дифференциальное манчестерское кодирование:

wave=diffmanc(data_spectre);

spectre=calcspectre(wave);

title('Differential Manchester');

print 'spectre/diffmanc.png';

```

В файле maptowave.m прописал функцию, которая по входному битовому потоку строит график сигнала:

```
% coding/maptowave.m

function wave=maptowave(data)

data=upsample(data,100);

wave=filter(5*ones(1,100),1,data);
```

В файлах unipolar.m, ami.m, bipolarnrz.m, bipolarrz.m, manchester.m, diffmanc.m прописал соответствующие функции преобразования кодовой последовательности data с вызовом функции maptowave для построения соответствующего графика.

**Униполярное кодирование:**

```
% coding/unipolar.m

% Униполярное кодирование:

function wave=unipolar(data)

wave=maptowave(data);
```

**Кодирование AMI:**

```
% coding/ami.m

% Кодирование AMI:

function wave=ami(data)

am=mod(1:length(data(data==1)),2);

am(am==0)=-1;

data(data==1)=am;

wave=maptowave(data);
```

**Кодирование NRZ:**

```
% coding/bipolarnrz.m

% Кодирование NRZ:

function wave=bipolarnrz(data)

data(data==0)=-1;

wave=maptowave(data);
```

Кодирование RZ:

```
% coding/bipolarrrz.m  
% Кодирование RZ:  
function wave=bipolarrrz(data)  
data(data==0)=-1;  
data=upsample(data,2);  
wave=maptowave(data);
```

Манчестерское кодирование:

```
% coding/manchester.m  
% Манчестерское кодирование:  
function wave=manchester(data)  
data(data==0)=-1;  
data=upsample(data,2);  
data=filter([-1 1],1,data);  
wave=maptowave(data);
```

Дифференциальное манчестерское кодирование:

```
% coding/diffmanc.m  
% Дифференциальное манчестерское кодирование  
function wave=diffmanc(data)  
data=filter(1,[1 1],data);  
data=mod(data,2);  
wave=manchester(data);
```

В файле calcspectre.m прописал функцию построения спектра сигнала:

```
% calcspectre.m  
% Функция построения спектра сигнала:  
function spectre = calcspectre(wave)
```

```

% Частота дискретизации (Гц) :
Fd = 512;
Fd2 = Fd/2;
Fd3 = Fd/2 + 1;
X = fft(wave,Fd);
spectre = X.*conj(X)/Fd;
f = 1000*(0:Fd2)/Fd;
plot(f,spectre(1:Fd3));
xlabel('Frequency (Hz)');

```

После запуска главного скрипта main.m в каталоге signal получились файлы с графиками кодированного сигнала (рис. 3.17-3.22), в каталоге sync — файлы с графиками, иллюстрирующими свойства самосинхронизации (рис. 3.23-3.28), в каталоге spectre — файлы с графиками спектров сигналов (рис. 3.29-3.34).

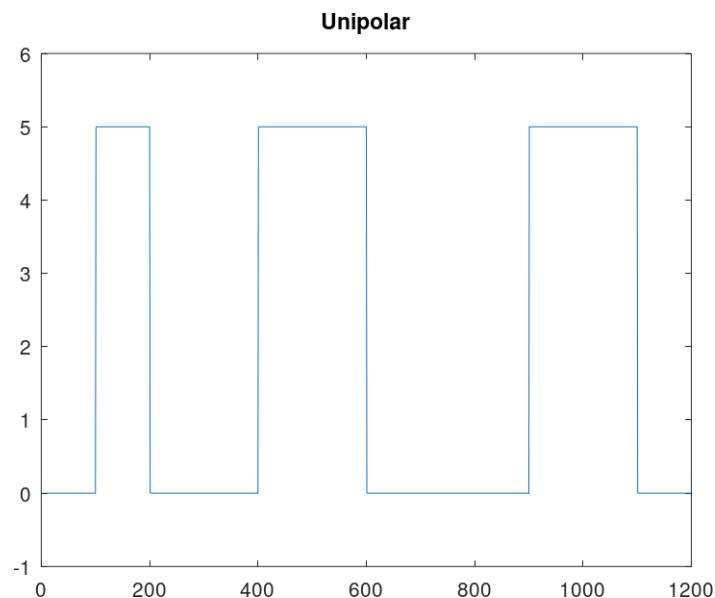


Рис. 3.17: Унипольярное кодирование

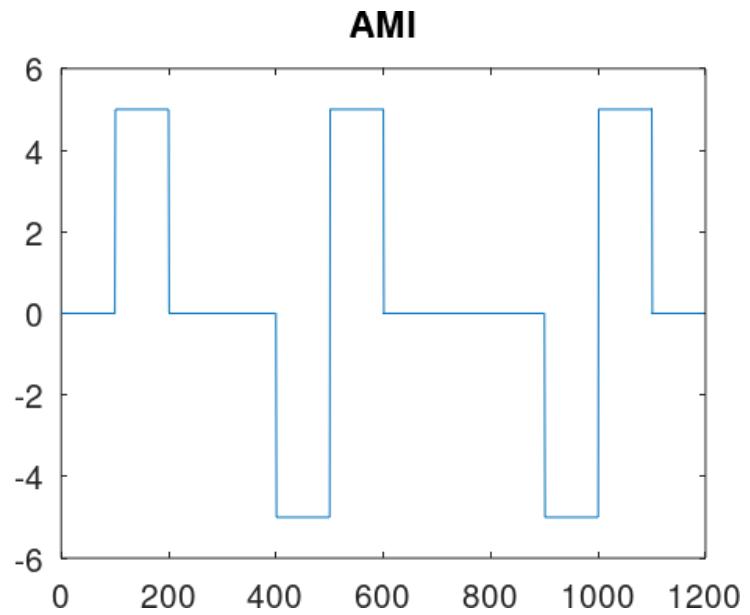


Рис. 3.18: Кодирование AMI

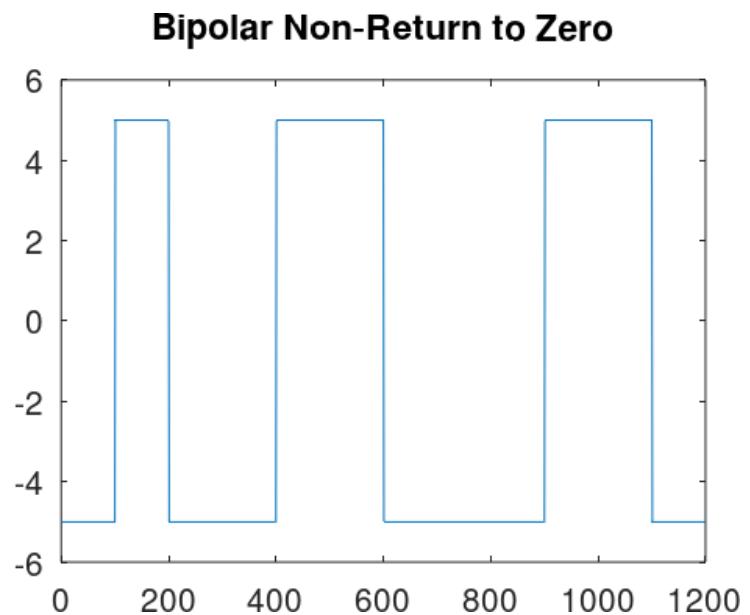


Рис. 3.19: Кодирование NRZ

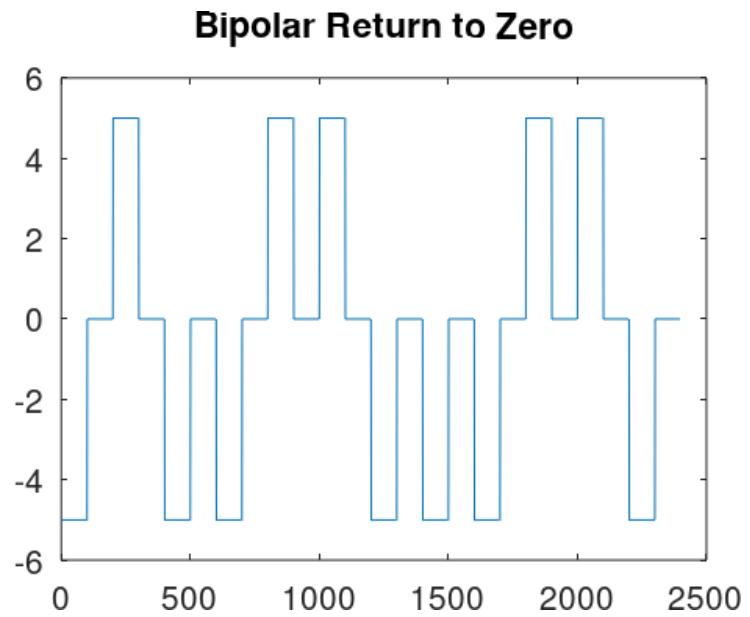


Рис. 3.20: Кодирование RZ

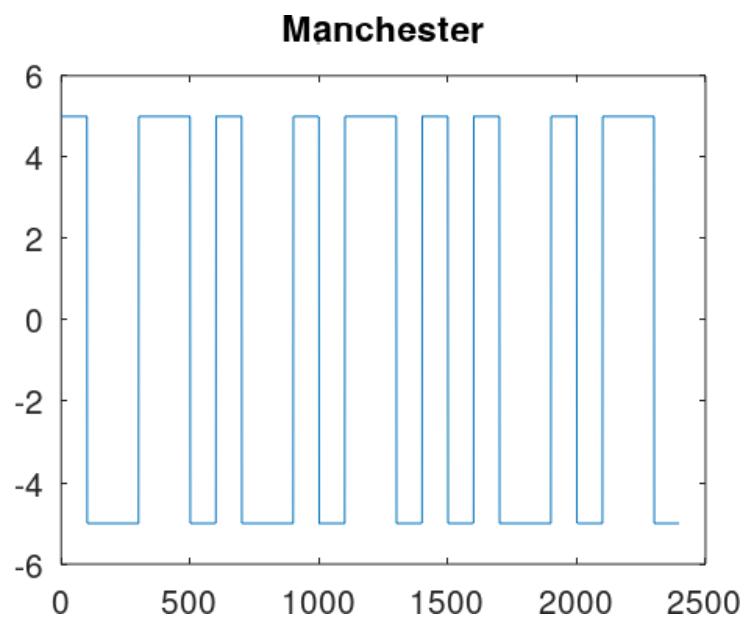


Рис. 3.21: Манчестерское кодирование

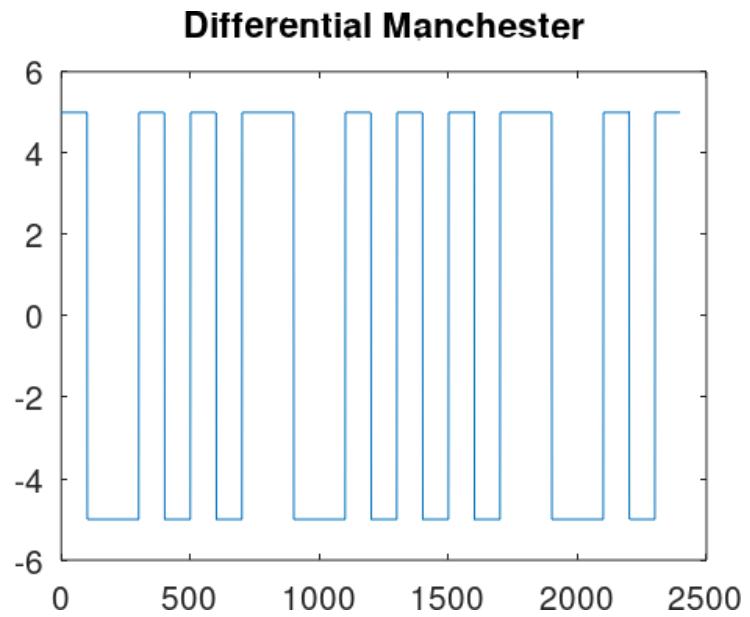


Рис. 3.22: Дифференциальное манчестерское кодирование

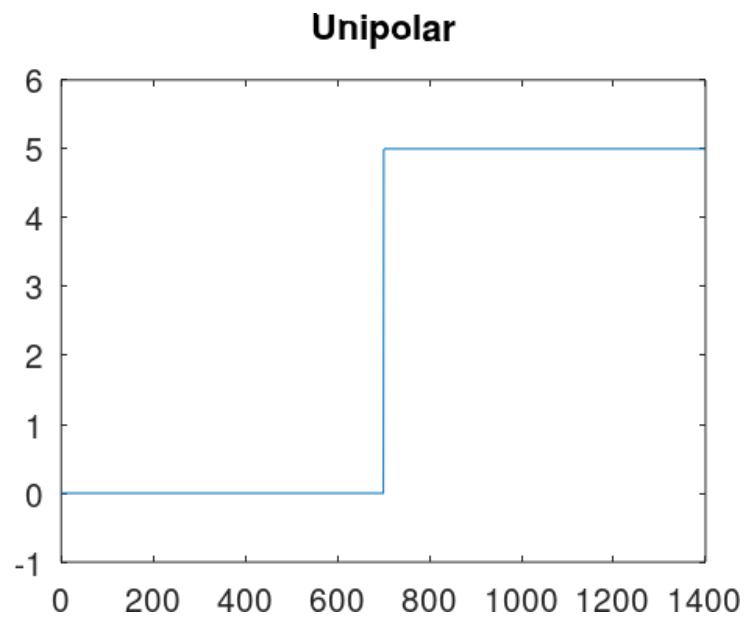


Рис. 3.23: Униполярное кодирование: нет самосинхронизации

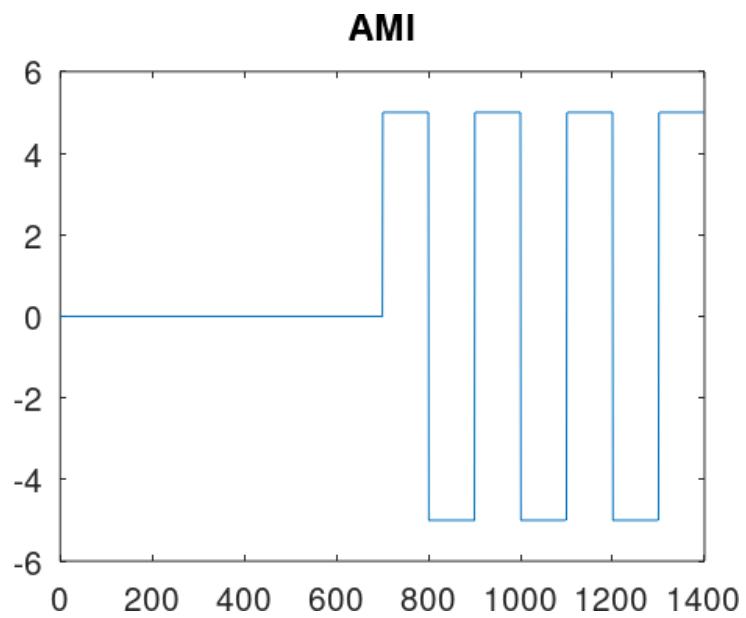


Рис. 3.24: Кодирование АМI: самосинхронизация при наличии сигнала

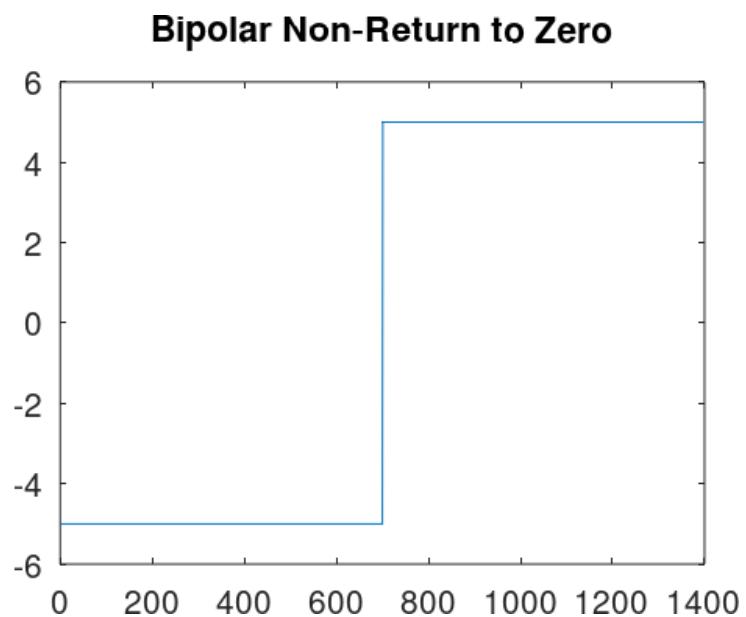


Рис. 3.25: Кодирование NRZ: нет самосинхронизации

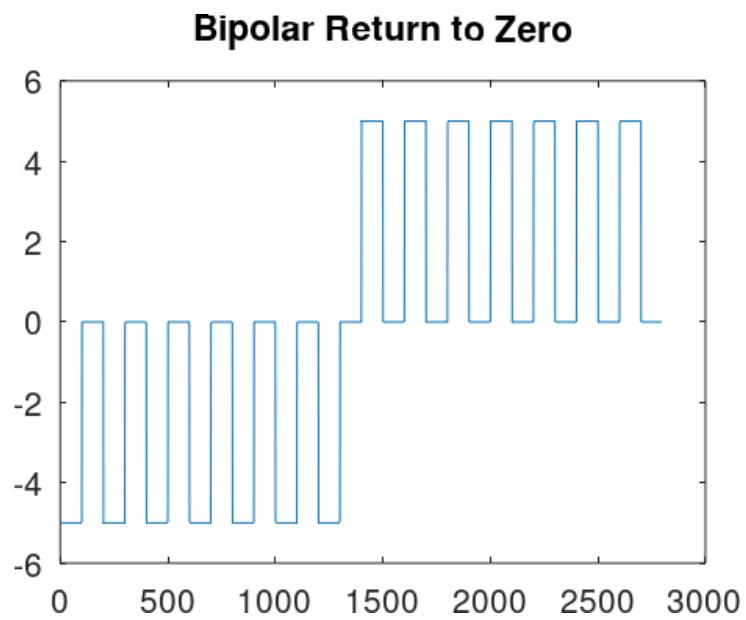


Рис. 3.26: Кодирование RZ: есть самосинхронизация

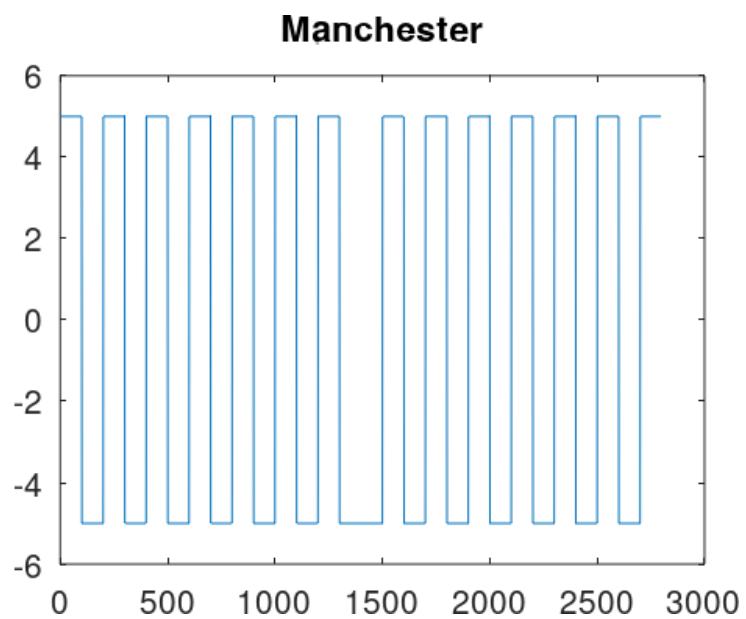


Рис. 3.27: Манчестерское кодирование: есть самосинхронизация

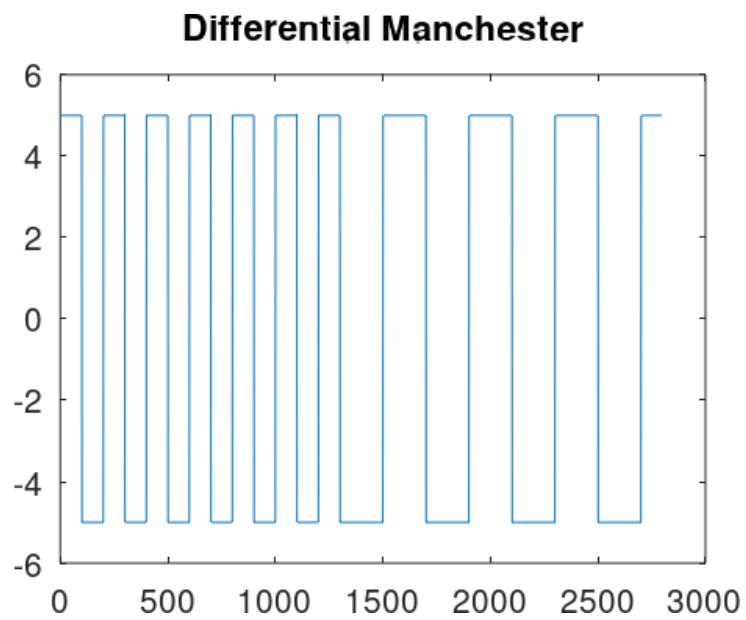


Рис. 3.28: Дифференциальное манчестерское кодирование: есть самосинхронизация

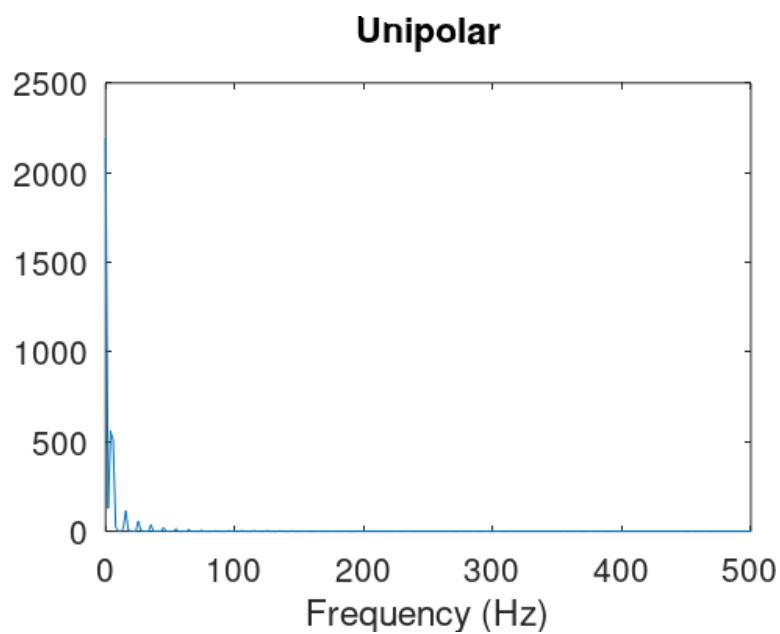


Рис. 3.29: Униполярное кодирование: спектр сигнала

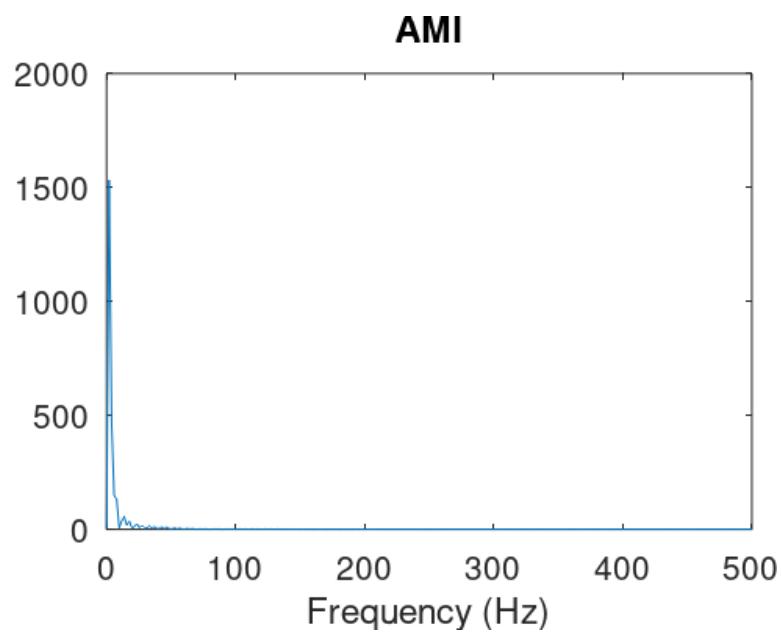


Рис. 3.30: Кодирование AMI: спектр сигнала

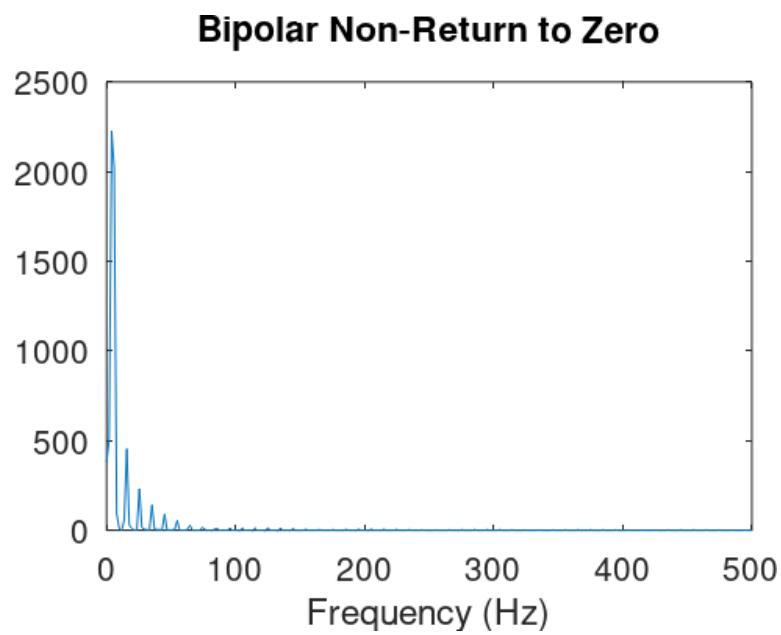


Рис. 3.31: Кодирование NRZ: спектр сигнала

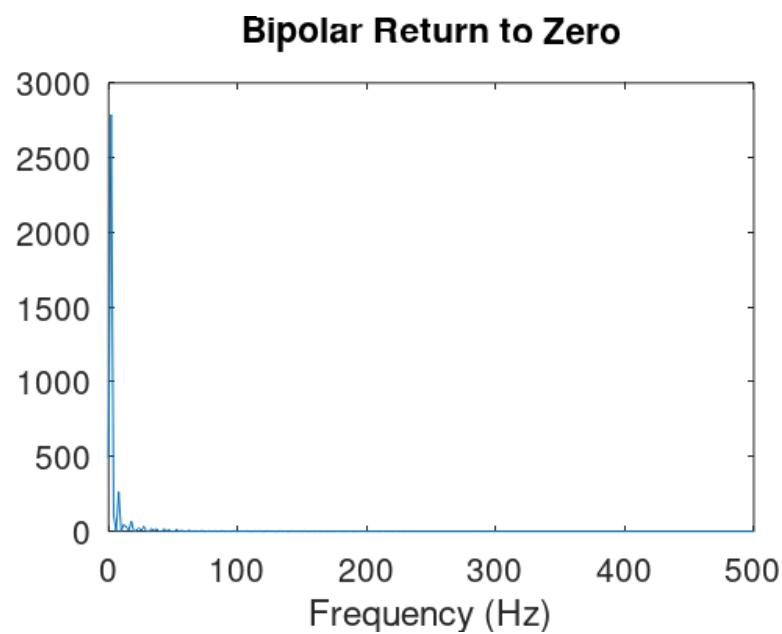


Рис. 3.32: Кодирование RZ: спектр сигнала

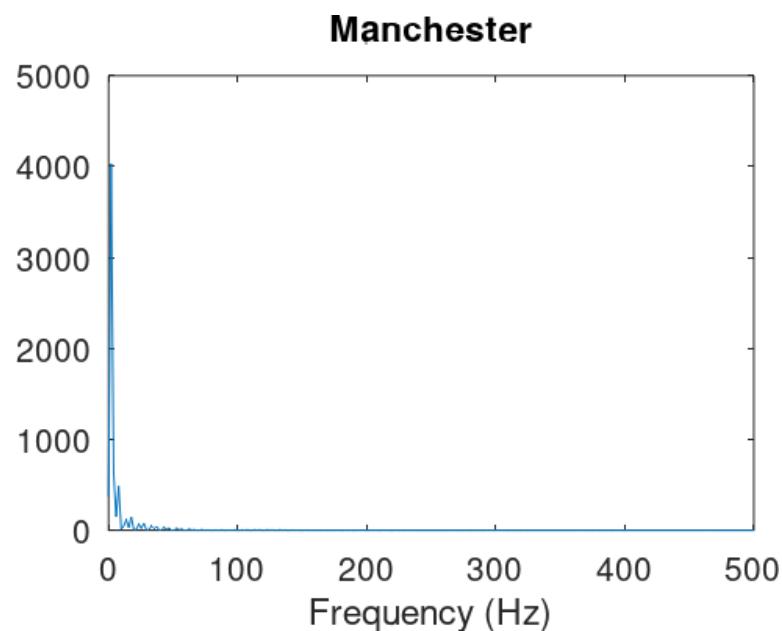


Рис. 3.33: Манчестерское кодирование: спектр сигнала

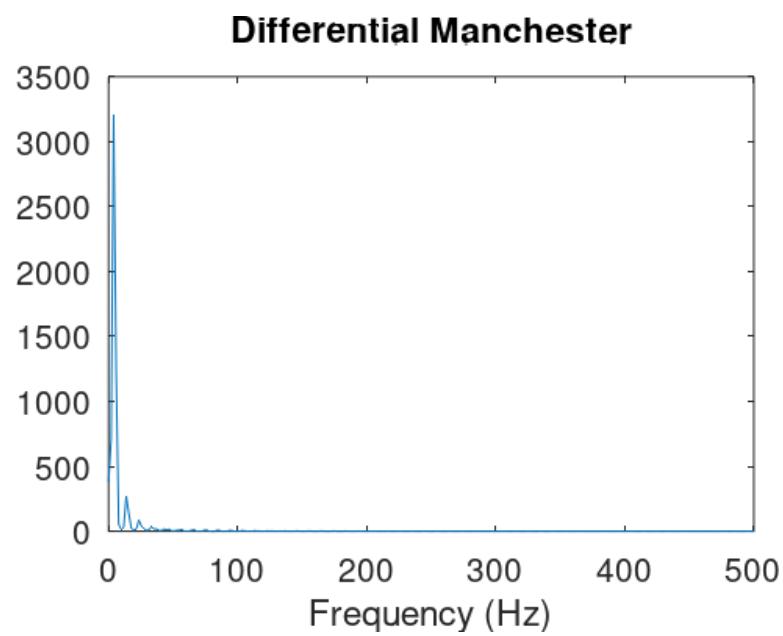


Рис. 3.34: Дифференциальное манчестерское кодирование: спектр сигнала

## **4 Выводы**

В процессе выполнения данной лабораторной работы я изучил методы кодирования и модуляции сигналов с помощью высокоуровнного языка программирования octave. Определил спектр и параметры сигнала. Показал принципы модуляции сигнала на примере аналоговой амплитудной модуляции. А также исследовал свойства самосинхронизации сигнала.