

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

Телекоммуникационные технологии

Отчет по лабораторной работе №5

Частотная и фазовая модуляция

Работу

выполнил:

Графов Д.И.

Группа: 33531/2

Преподаватель:

Богач Н.В.

Санкт-Петербург
2019

Содержание

1. Цель работы	3
2. Программа работы	3
3. Теоретическая информация	3
3.1. Фазовая модуляция	3
3.2. Частотная модуляция	3
3.3. Демодуляция УМ	4
4. Ход выполнения работы	4
5. Результаты работы	6
6. Выводы	8

1. Цель работы

Изучение частотной и фазовой модуляции/демодуляции сигнала.

2. Программа работы

1. Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты.
2. Выполнить фазовую модуляцию/демодуляцию сигнала по закону
$$u(t) = U_m \cos(\Omega t + k s(t)).$$
3. Получить спектр модулированного сигнала.
4. Выполнить частотную модуляцию/демодуляцию по закону
$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t + k \int_0^t s(t) dt + \theta_0).$$

3. Теоретическая информация

Модуляция (лат. modulatio — размеренность, ритмичность) — процесс изменения одного или нескольких параметров модулируемого несущего сигнала при помощи модулирующего сигнала.

Фазовая и частотная модуляция тесно связаны друг с другом, и благодаря чему получили общее название "угловая модуляция" (УМ; angle modulation).

3.1. Фазовая модуляция

Фазовая модуляция (ФМ, Phase Modulation) — вид модуляции, при которой фаза несущего колебания изменяется прямо пропорционально информационному сигналу. Фазомодулированный сигнал $u(t)$ имеет следующий вид:

$$u(t) = U_m \cos(\Omega t + k s(t)).$$

U_m — амплитуда сигнала; $s(t)$ — модулирующий информационный сигнал; k — постоянная; Ω — угловая частота несущего сигнала; t — время.

По характеристикам фазовая модуляция близка к частотной модуляции. В случае синусоидального модулирующего (информационного) сигнала, результаты частотной и фазовой модуляции совпадают.

3.2. Частотная модуляция

Частотная модуляция (ЧМ, Frequency Modulation) — вид аналоговой модуляции, при которой, частота несущей изменяется по закону модулирующего низкочастотного сигнала. Амплитуда при этом остается постоянной.

Наибольшее отклонение частоты от среднего значения, называется девиацией. В идеальном варианте, девиация должна быть прямо пропорционально амплитуде модулирующего колебания.

3.3. Демодуляция УМ

Демодуляция УМ-сигнала может выполняться различными способами. Наиболее радикальный подход - вычислить аналитический сигнал и выделить его фазовую функцию. Далее для демодуляции из фазовой функции вычитается линейное слагаемое $\omega_0 t$, соответствующее немодулированной несущей.

4. Ход выполнения работы

Данная работа выполнялась на языке Python.

Характеристики сигналов:

- частота модулируемого сигнала: 10 Гц;
- амплитуда модулируемого сигнала: 1;
- частота несущей: 50 Гц;
- амплитуда несущей: 1.

Для начала, по заданным формулам был закодирован сигнал (строки 16-23).

Затем был вычислен аналитический сигнал и его фазовая функция. После чего была проведена демодуляция.

После этого был произведён расчёт спектров полученных сигналов.

Листинг 1. main.py

```
1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3 from scipy.signal import hilbert
4 import scipy.integrate as integrate
5
6
7 def sine_wave(amplitude=1, freq=10, show=False, save=False):
8     fs = 2000 # sampling rate
9     ts = 1 / fs # sampling interval
10    n = 2 ** 13 # number of fft points, pick power of 2
11    t = np.arange(0, n * ts, ts) # time vector
12
13    carrier_freq = 50
14    carrier_amplitude = 1
15    sig = np.sin(2 * np.pi * freq * t)
16    phase_modulated = carrier_amplitude * np.sin(2 * np.pi * carrier_freq * t + amplitude * sig)
17
18    sig_integrated = np.zeros_like(sig)
19    for i, dt in enumerate(t):
20        sig_integrated[i] = integrate.simps(sig, dx=t[i])
21
22    freq_modulated = carrier_amplitude * np.sin(2 * np.pi * carrier_freq * t
23                                                + amplitude * sig_integrated)
24
25    analytic_signal = hilbert(phase_modulated)
```

```

26 phase_function = np.unwrap(np.angle(analytic_signal) + np.pi / 2)
27
28 phase_demodulated = phase_function - 2 * np.pi * carrier_freq * t
29
30 freq_demodulated = phase_function - 2 * np.pi * carrier_freq * t
31
32 fft_freq = np.fft.fftfreq(n, ts) # python function to get Hz frequency axis
33
34 phase_modulated_fft = \
35     abs(np.fft.fft(phase_modulated)) / n * 2 # discrete Fourier Transform ( / n * 2 - normalization
36 phase_demodulated_fft = abs(np.fft.fft(phase_demodulated)) / n * 2
37
38 freq_modulated_fft = \
39     abs(np.fft.fft(freq_modulated)) / n * 2 # discrete Fourier Transform ( / n * 2 - normalization
40 freq_demodulated_fft = abs(np.fft.fft(freq_demodulated)) / n * 2
41
42 draw_plot(t, (phase_modulated, phase_demodulated),
43           ('PM modulated sine wave', 'PM demodulated sine wave'),
44           'time (s)', 'amplitude (V)', show, save)
45 draw_plot(fft_freq, (phase_modulated_fft, phase_demodulated_fft),
46           ('PM modulated sine wave', 'PM demodulated sine wave'),
47           'frequency (hz)', 'amplitude (V)', show, save)
48
49 draw_plot(t[1:], (freq_modulated[1:], freq_demodulated[1:]),
50           ('FM modulated sine wave', 'FM demodulated sine wave'),
51           'time (s)', 'amplitude (V)', show, save)
52 draw_plot(fft_freq[1:], (freq_modulated_fft[1:], freq_demodulated_fft[1:]),
53           ('FM modulated sine wave', 'FM demodulated sine wave'),
54           'frequency (hz)', 'amplitude (V)', show, save)
55
56
57 def draw_plot(x, y, labels, xlabel, ylabel, show=False, save=False):
58     size = 500
59     plt.figure()
60     for i in range(0, len(y)):
61         plt.plot(x[:size], y[i][:size], label=labels[i])
62     plt.xlabel(xlabel)
63     plt.ylabel(ylabel)
64     plt.legend()
65     plt.grid(True)
66     if save:
67         plt.savefig('../out/' + labels[0].split(' ')[0] + '_' + xlabel.split(' ')[0] + '.png')
68     if show:
69         plt.show()
70
71
72 if __name__ == '__main__':
73     pic = 0
74     sine_wave(show=True, save=True)

```

5. Результаты работы

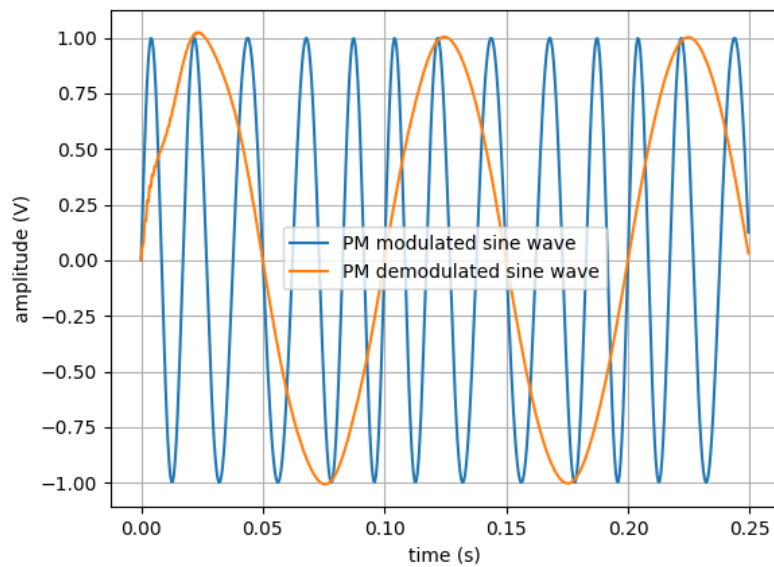


Рисунок 5.1. Фазовая модуляция и демодуляция

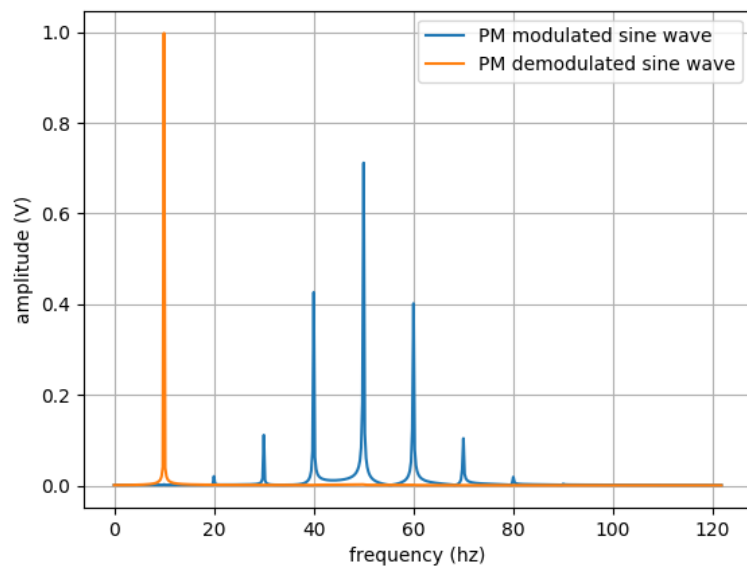


Рисунок 5.2. Спектр промодулированного сигнала

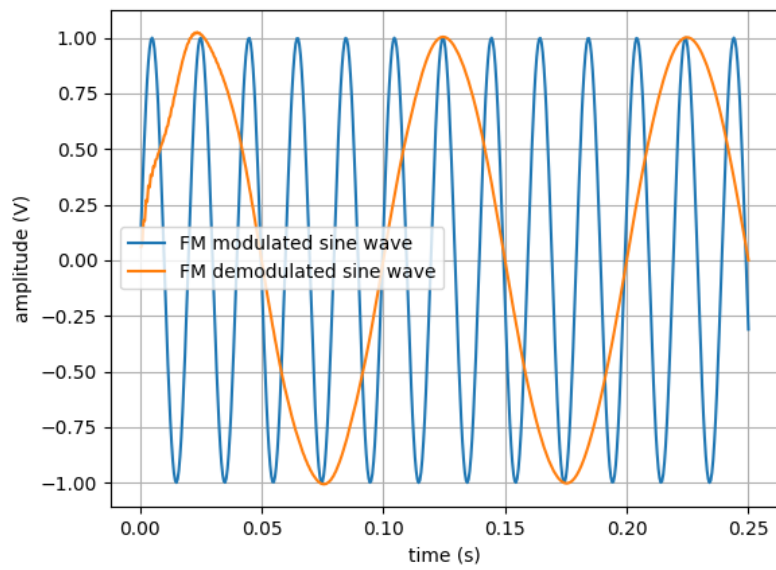


Рисунок 5.3. Частотная модуляция и демодуляция

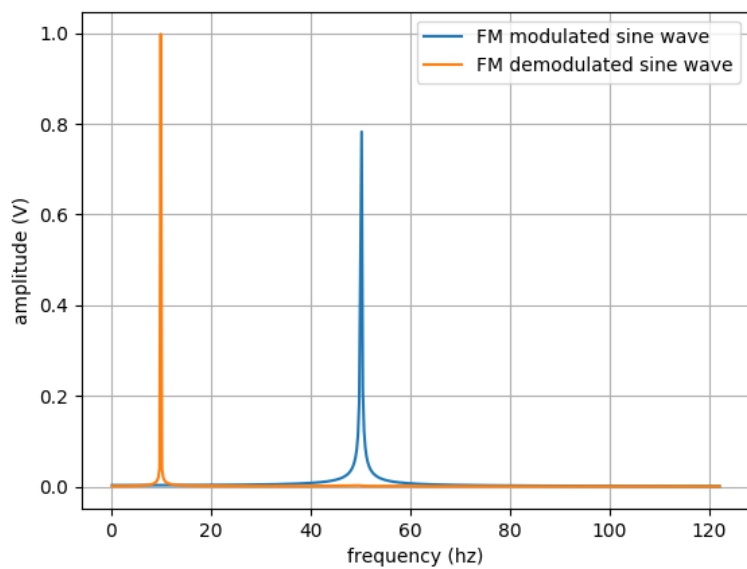


Рисунок 5.4. Спектр промодулированного сигнала

6. Выводы

В ходе выполнения работы я ознакомился с угловой модуляцией и демодуляцией, их разновидностями. Для фазовой и частотной модуляции были продемонстрированы частотные и временные характеристики закодированных и декодированных сигналов.