

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
Высшая школа экономики»**

Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова  
Департамент электронной инженерии

**ОТЧЕТ**

по выполнению практического задания № 13-16  
по дисциплине  
«Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей»

Выполнила студентка БИТ231  
Байздренко В.М.

Преподаватель:  
Саматов М.Р.

Москва, 2025

## Оглавление

Практическое задание №13.....	3
Задание.....	3
Теория.....	3
Решение .....	5
Выводы .....	7
Практическое задание №14.....	8
Задание.....	8
Теория.....	8
Решение .....	10
Выводы .....	12
Практическое задание №15.....	13
Задание.....	13
Теория.....	13
Решение .....	14
Выводы .....	15
Практическое задание №16.....	16
Задание.....	16
Теория.....	16
Решение .....	16
Выводы .....	19

# Практическое задание №13

## Задание

1. Провести фазово-импульсную модуляцию гармонического сигнала методом математического расчета для двух разных коэффициентов модуляции. Построить модулированный сигнал и его спектры.
2. Провести фазово-импульсную модуляцию гармонического сигнала используя треугольную волну. Построить модулированный сигнал и его спектры.

## Теория

**Фазово-импульсная модуляция** — это метод модуляции, при котором исходный сигнал влияет на положение временных импульсов. То есть информация кодируется сдвигами во времени, а не силой, как при АИМ, и не длительностью, как при ШИМ.

При ФИМ сдвиг импульсов ПППИ относительно тактовых точек изменяется по закону первичного (модулирующего) сигнала  $c(t)$ .

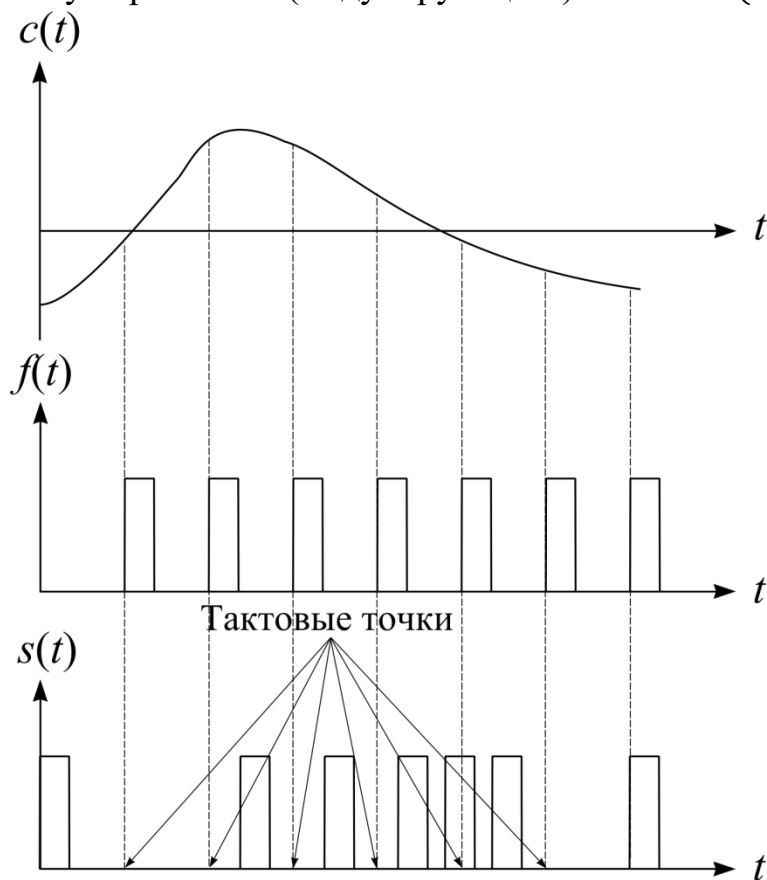


Рисунок 1. Фазово-импульсная модуляция.

**Тактовые точки** представляют собой равномерно распределенные во времени отсчеты, соответствующие определенным интервалам времени  $T_d$ ,

где  $T_d = \frac{1}{f_d}$  - период следования импульсов. В этих точках производятся такие важные операции, как такие:

- настройки и модуляция импульсов,
- синхронизация устройств,
- выборка результатов первичных сигналов,
- демодуляция и восстановление исходных данных.

Разновидности ФИМ:

- ФИМ-1: временной сдвиг импульсов, пропорциональный включение модулей управляющего сигнала в момент подачи импульса.
- ФИМ-2: временной сдвиг пропорциональных значений модулирующего напряжения в тактовых точках.

На практике чаще используется ФИМ-2, поскольку она обеспечивает более стабильное восстановление сигнала на приемной стороне.

При отрицательных значениях модулей рулевого сигнального импульса ПППИ смещаются влево, а при положении – вправо.

### Спектральный состав ФИМ-сигнала

Предполагается, что модульный сигнал является гармоничным. Тогда величина временного сдвига  $k$ -го импульса относительно тактовой точки определяется следующим образом:

$$\Delta\tau_k = m_\phi C_{\max} \sin \omega_c t$$

$m_\phi$  – коэффициент глубины модуляции.

Это означает, что при ФИМ спектр сигнала будет сохранять не только основные цепи, но и боковые компоненты, соответствующие частоте модулирующего сигнала и его гармоникам.

Спектральный состав ФИМ сигнала  $s(t)$ :

- постоянная составляющая с амплитудой

$$A_0 = A \frac{\tau_u}{T_d} = \frac{A}{q};$$

- исходный (модулирующий) сигнал с амплитудой

$$A_c = A \frac{\tau_u}{T_d} \Delta\tau_{\max} \omega_c;$$

- гармоники тактовой частоты ПППИ (частоты дискретизации), с амплитудами

$$A_{n\Gamma} = \frac{2A}{\pi n} J_0(n\Delta\varphi_{\text{макс}}) \sin \frac{n\pi}{q};$$

- нижние и верхние боковые частоты [четвертое слагаемое] вида  $n\Omega_d \pm p\omega_c$  с амплитудами

$$A_{n\Omega_d \pm p\omega_c} = \frac{2A}{\pi} M_n.$$

### Решение

**Код:**

<https://colab.research.google.com/drive/1RIUVI2EXObvRuIDZU6EC1-vD0CAyO6VL?usp=sharing>

Задание 1.

```
Опорная частота сигнала 5
Временной интервал 1
Число временных отсчетов 512
Коэффициент глубины модуляции ФИМ 0.2
```

Рисунок 2. Входные параметры.

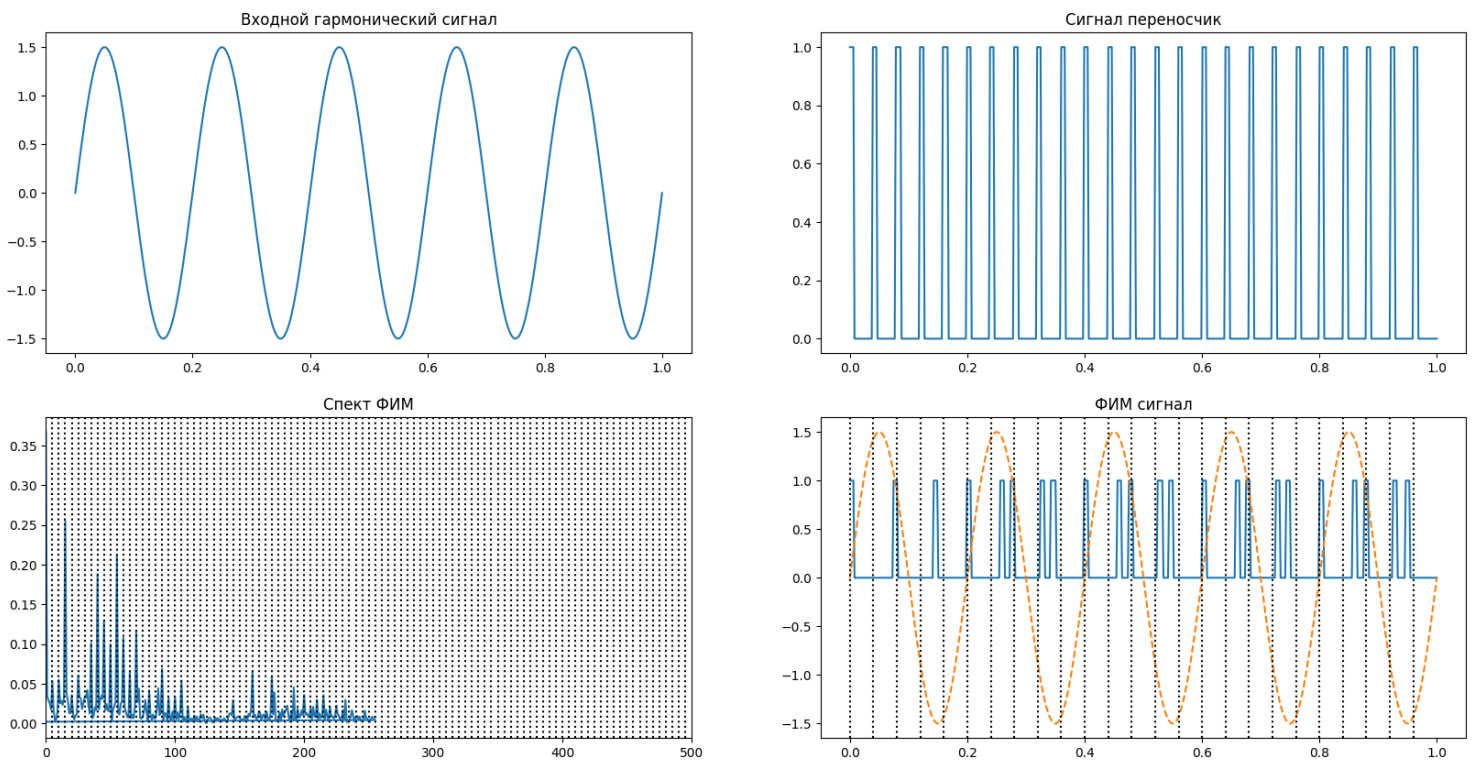


Рисунок 3. Результаты моделирования ФИМ при  $m_\Phi = 0.2$ .

Опорная частота сигнала 5  
 Временной интервал 1  
 Число временных отсчетов 512  
 Коэффициент глубины модуляции ФИМ 0.8

Рисунок 4. Входные параметры.

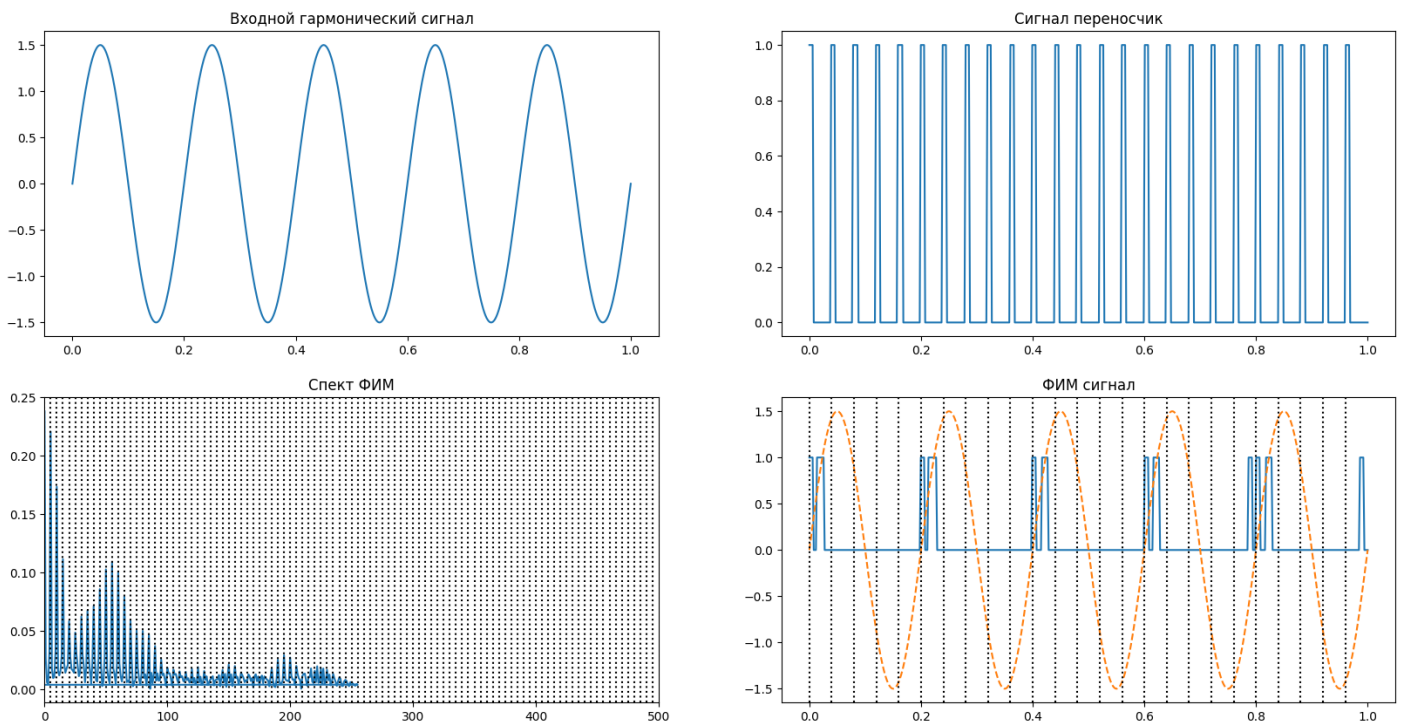


Рисунок 5. Результаты моделирования ФИМ при  $m_f = 0.8$ .

## Задание 2.

Опорная частота сигнала: 5  
 Временной интервал: 1  
 Число временных отсчетов: 512  
 Коэффициент глубины модуляции ФИМ: 0.8

Рисунок 6. Входные параметры.

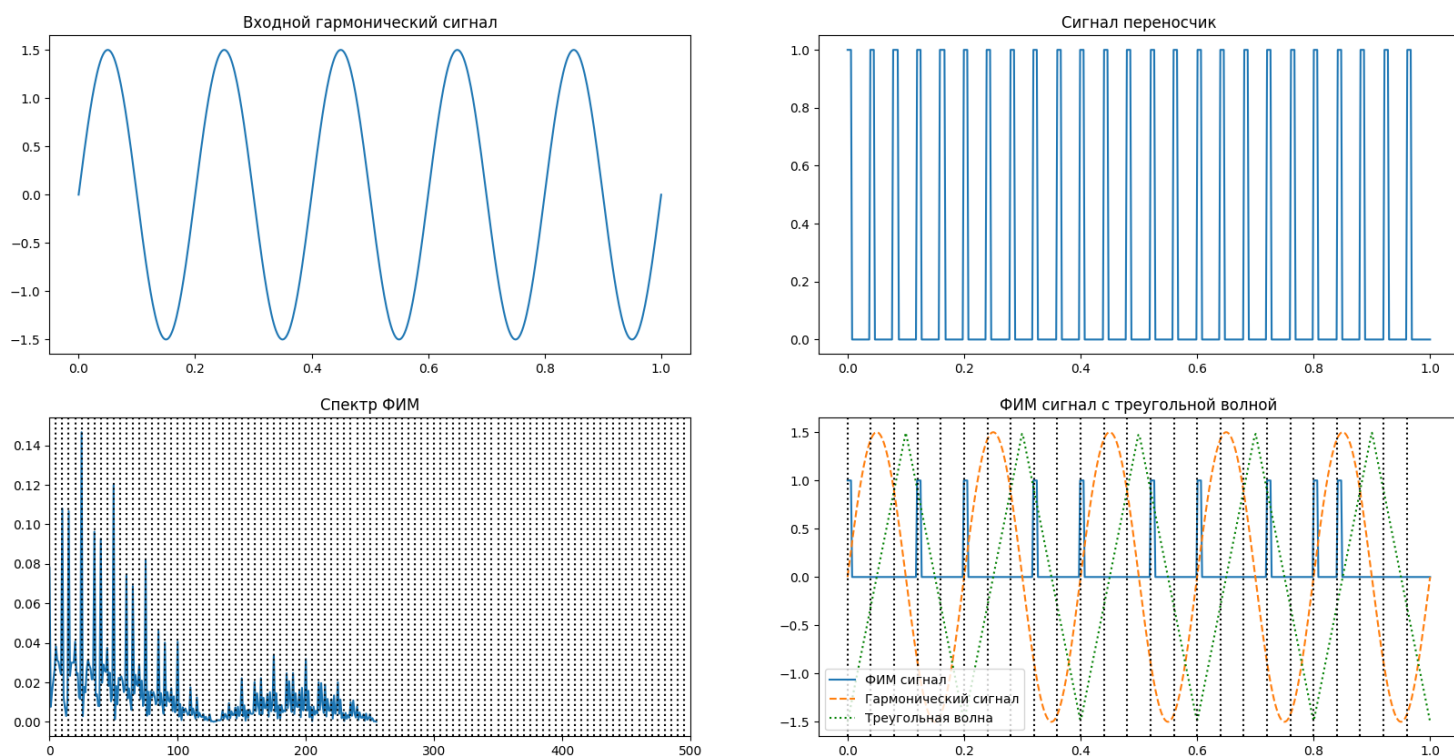


Рисунок 7. ФИМ с модулирующей треугольной волной.

## Выводы

С уменьшением коэффициента глубины модуляции большая часть энергии сигнала сосредотачивается в области несущей частоты, что видно на спектральной диаграмме.

Применение треугольной волны в качестве модулирующего сигнала увеличивает сложность структуры результирующего сигнала и приводит к асимметрии в его характеристике.

# Практическое задание №14

## Задание

1. Провести передачу первичного сигнала по системе передачи с временным разделением каналов с использованием амплитудной импульсной модуляции.
2. Провести одновременную передачу трех первичных сигналов по системе передачи с временным разделением каналов с использованием амплитудной импульсной модуляции.

## Теория

**Система передачи с временным разделением каналов (СП ВРК)** — это метод передачи нескольких сигналов по одному общему каналу связи, при котором каждый сигнал выделяется в определённый временной интервал. Такой подход позволяет эффективно использовать пропускную способность канала и организовать параллельную передачу информации.

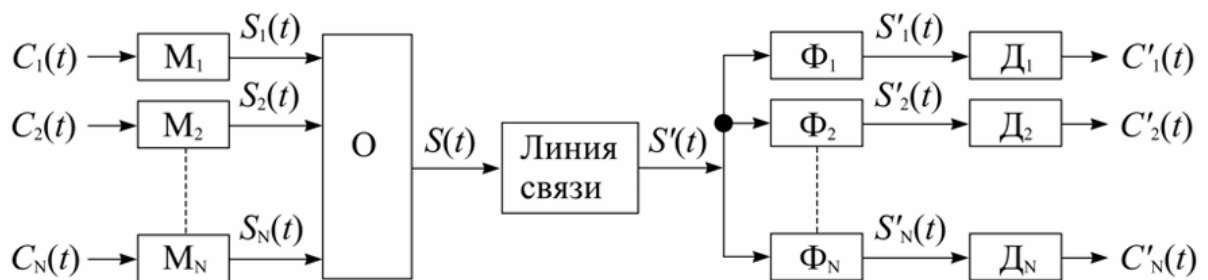


Рисунок 8. Обобщенная структурная схема многоканальной системы передачи.

Основные компоненты системы передачи с ВРК:

- Переносчики: периодические последовательности прямоугольных импульсов (ПППИ), которые модулируются первичными сигналами.
- Модуляторы: устройства, изменяющие параметры переносчиков в соответствии с первичным сигналом  $c(t)$ .
- Демодуляторы: устройства, восстанавливающие первичные сигналы из модулированных импульсных последовательностей.
- Фильтры низкой частоты (ФНЧ): используются для фильтрации помех и восстановления первичного сигнала.

**Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)** — это вид импульсной модуляции, при котором амплитуда каждого импульса ПППИ изменяется в зависимости от значения первичного (модулирующего) сигнала  $c(t)$ .



Длительность импульсов, их частота следования и положение относительно тактовых точек не меняются.

Разновидности АИМ:

- АИМ-1: измерение импульса повторяет исходный модуль, управляющий сигналом на длительность канального интервала.
- АИМ-2: амплитуда импульса равна начальному включению модуля управляющего сигнала и остается постоянной на всей длительности канального интервала.

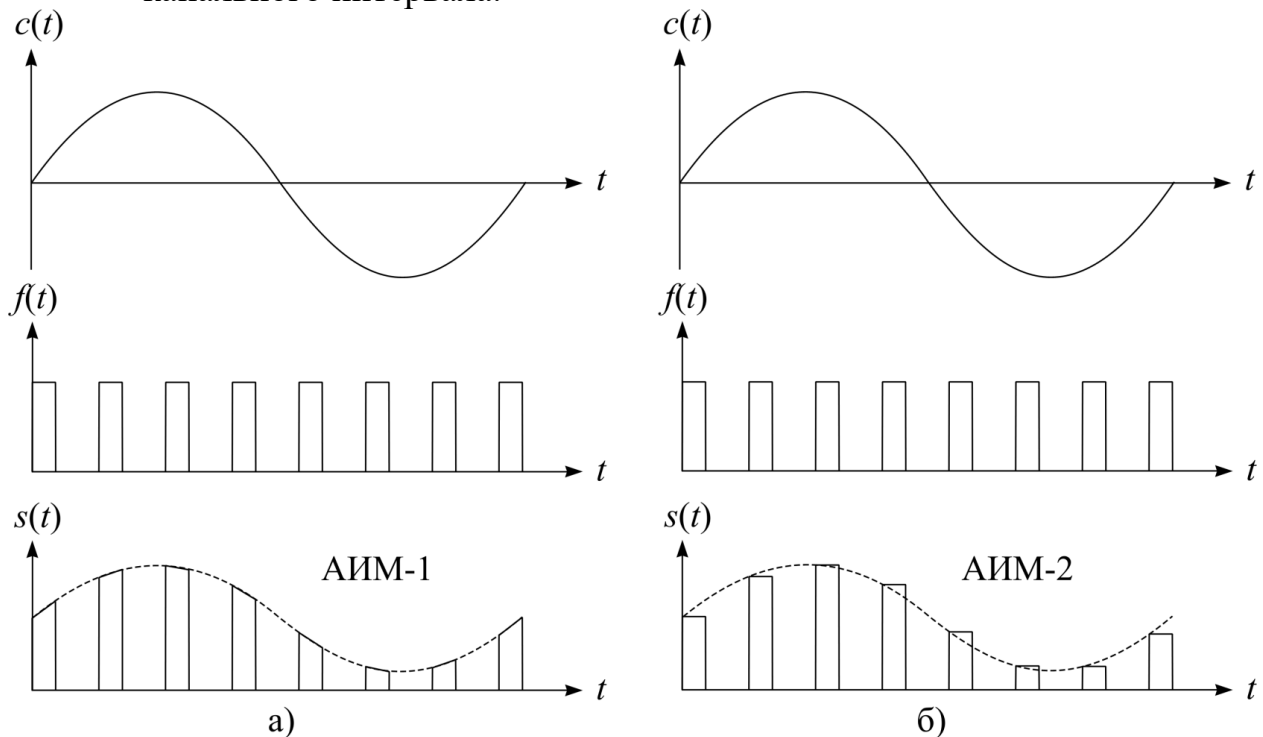


Рисунок 9. АИМ первого и второго рода.

**Математическое описание** общего случая АМ (канального) сигнала:

$$s(t) = [1 + m_a c(t)]f(t),$$

$m_a$  – коэффициент, характеризующий глубину модуляции;

$c(t)$  – модулирующий (первичный) сигнал;

$f(t)$  – периодическая последовательность импульсов.

**Спектр АИМ** канального сигнала содержит:

- постоянную составляющую с амплитудой  $s(t) = \frac{A}{q}$ ,
- исходный модулирующий сигнал

$$A_c = \frac{m_a A}{q} \sin \omega_c t,$$

- гармоники следования ПППИ – частоты дискретизации

$$A_{nu} = \frac{2A}{\pi} \frac{\sin \frac{n\pi}{q}}{n} \cos n\Omega_d t$$

- боковые частоты около гармоник частоты дискретизации

$$A_{n\delta} = \frac{m_a A}{\pi n} \frac{\sin \frac{n\pi}{q}}{n} \sin(n\Omega_d \pm \omega_c)t.$$

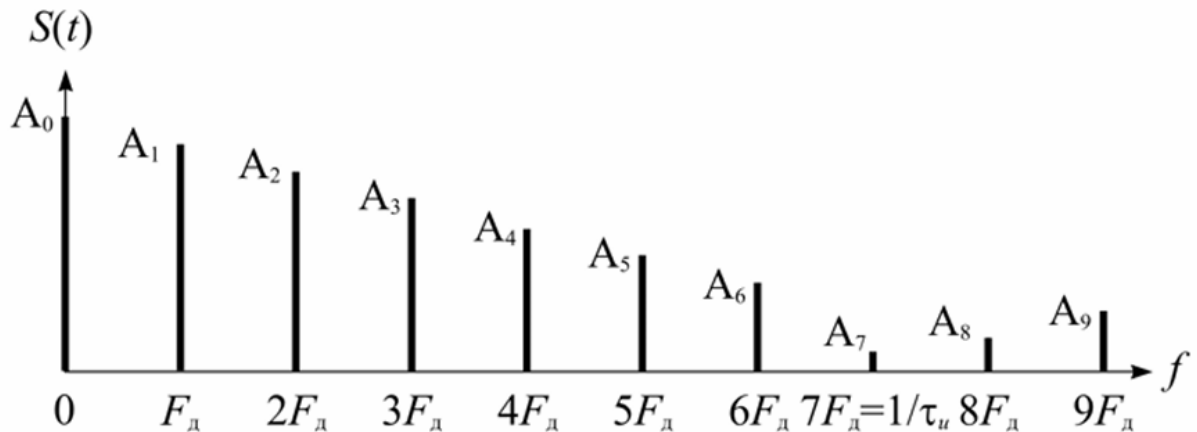


Рисунок 10. Спектр амплитуд ПППИ.

### Решение

#### Код:

<https://colab.research.google.com/drive/1ZtikKXGHo0w3354acvVJ1AUi7xP3O24x?usp=sharing>

#### Задание 1.

```
Частота первичного сигнала 5
Временной интервал 1
Число временных отсчетов 256
Глубина модуляции 0.8
Скважность 2
```

Рисунок 11. Входные данные.

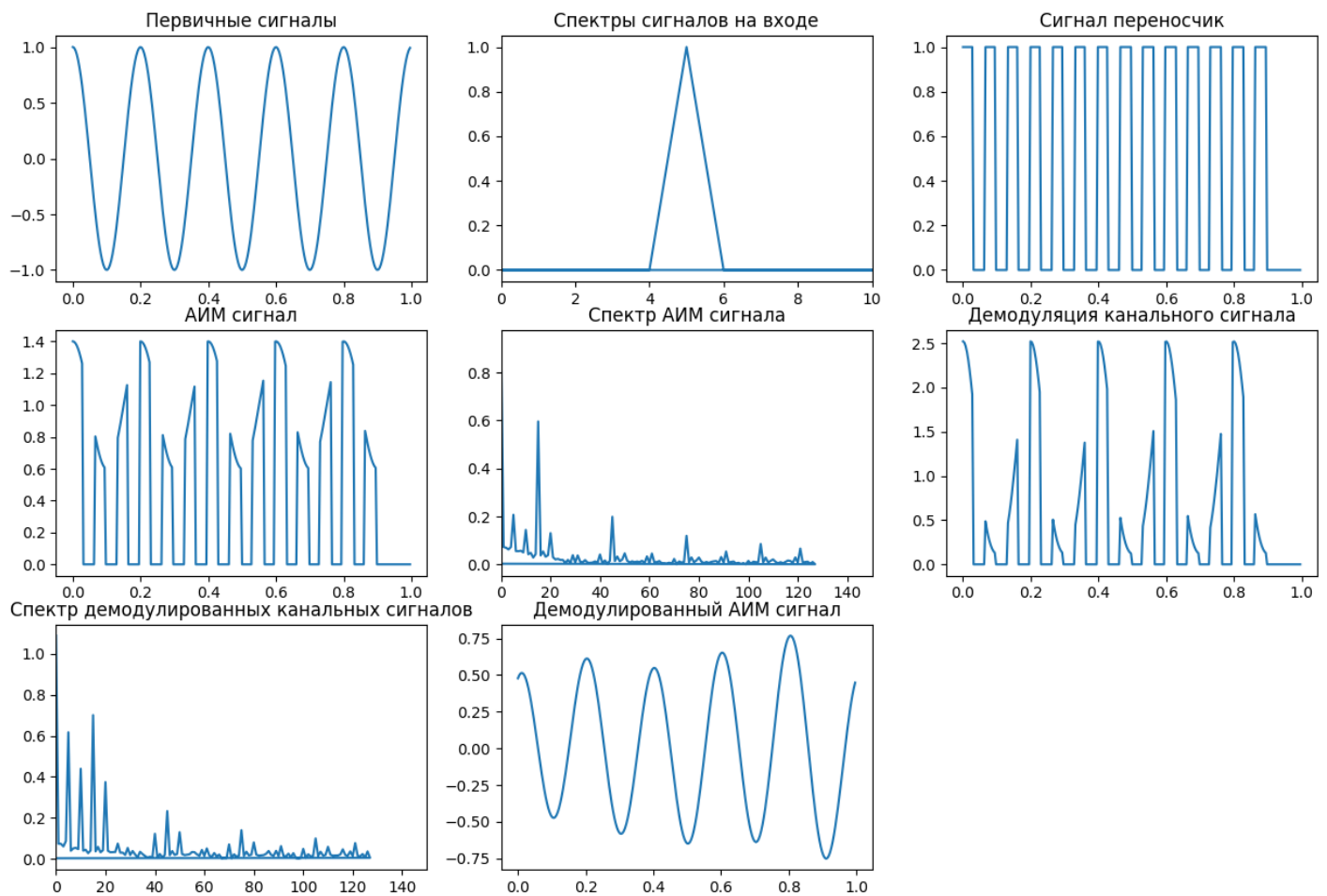


Рисунок 12. Передача первичного сигнала по СП ВРК.

### Задание 2.

Частота первого первичного сигнала: 3  
 Частота второго первичного сигнала: 5  
 Частота третьего первичного сигнала: 6  
 Временной интервал: 1  
 Число временных отсчетов: 256  
 Глубина модуляции: 0.8  
 Скважность: 2

Рисунок 13. Входные данные.

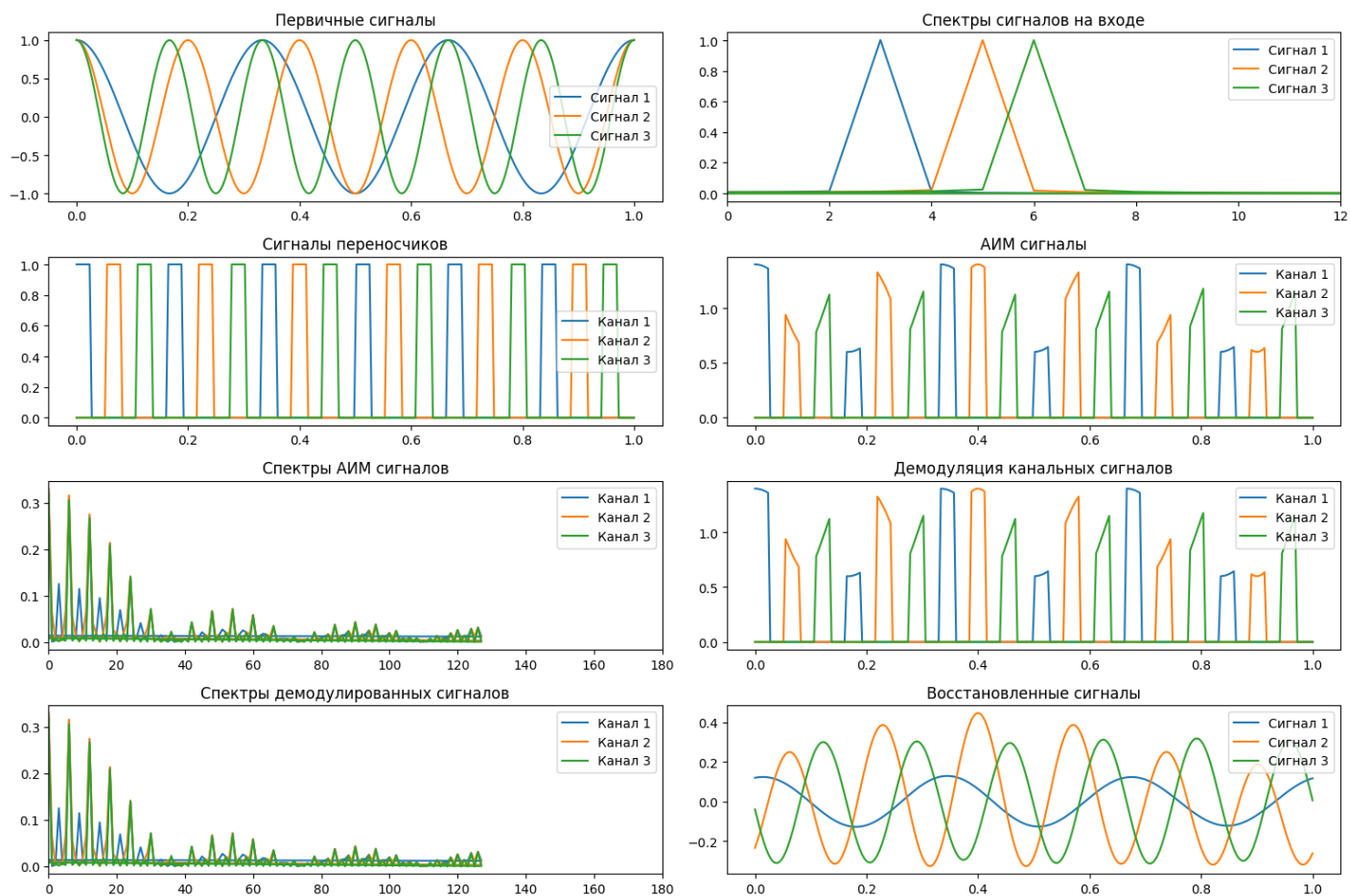


Рисунок 14. Одновременная передача трех первичных сигналов по СП ВРК.

## Выводы

С помощью АИМ и временного разделения каналов, можно передавать несколько сигналов по одному каналу. При увеличении числа сигналов, спектр усложняется.

# Практическое задание №15

## Задание

1. Провести кодирование гармонического сигнала.
2. Провести процедуру получения обратного и инверсного кода исходной последовательности.

## Теория

Преобразование многоуровневого сигнала в код с низким основанием называется **кодированием**.

Основные этапы кодирования:

1. Дискретизация по времени: Аналоговый сигнал разбивается в моменты времени  $t_k = kT$ , где  $T$  — период привязанности.
2. Квантование по направлению: значение сигнала в каждый момент времени опускается до ближайшего уровня из заранее установленного набора (квантовых уровней).
3. Преобразование в двоичный код: каждый квантовый уровень отображается в виде двоичной последовательности (кодовой цифры).

Любой квантованный уровень  $N$  с  $M$  разрешенными состояниями может быть представлен в виде

$$N = \sum_{i=1}^m a_{m-i} 2^{m-i},$$

$m$  — число разрядов кода;  $a_i$  — разрядная цифра (0 или 1).

$m$ -разрядным двоичным кодом можно закодировать число уровней квантования

$$M = 2^m.$$

Типы кодов

- Естественный двойной код: стандартное представление чисел в двойной системе.  
Пример:  
 $111 = 1101111$ .
- Обратный код: изменяется порядок следования кодовых комбинаций.  
Пример:  
 $22$  в естественном кодовом состоянии =  $10110$ , в обратном коде =  $01101$ .
- Инверсный код: Все 1 заменяются на 0 и наоборот.  
Пример:  
 $22$  в инверсном коде =  $01001$ .

## Решение

Код:

<https://colab.research.google.com/drive/1SLK01NgRMJqyeW6ZbO-z-iIvGYhOkGAm?usp=sharing>

Задание 1.

Частота первичного сигнала 5  
Временной интервал 0.1

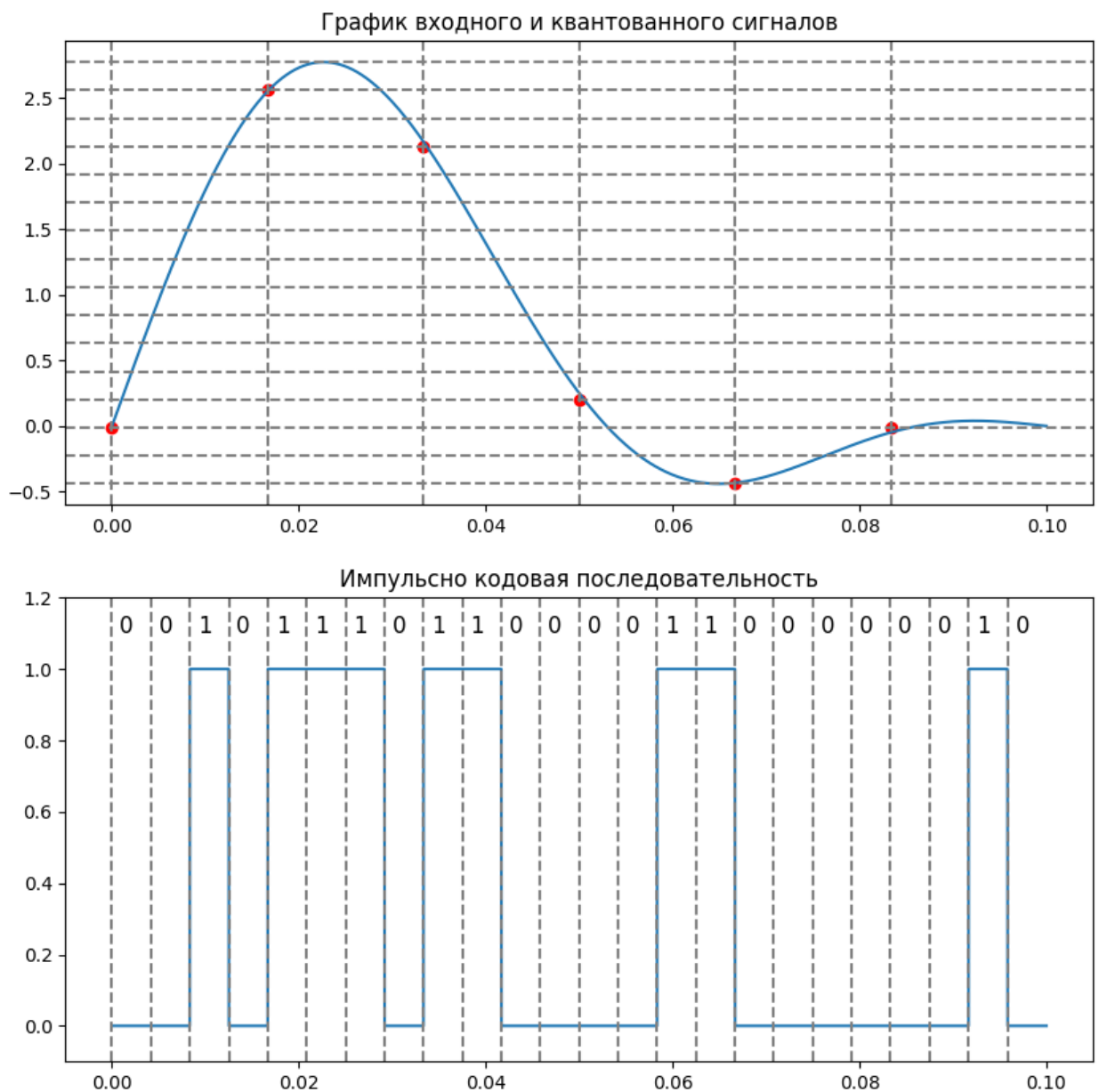


Рисунок 15. Кодирование гармонического сигнала.

Задание 2.

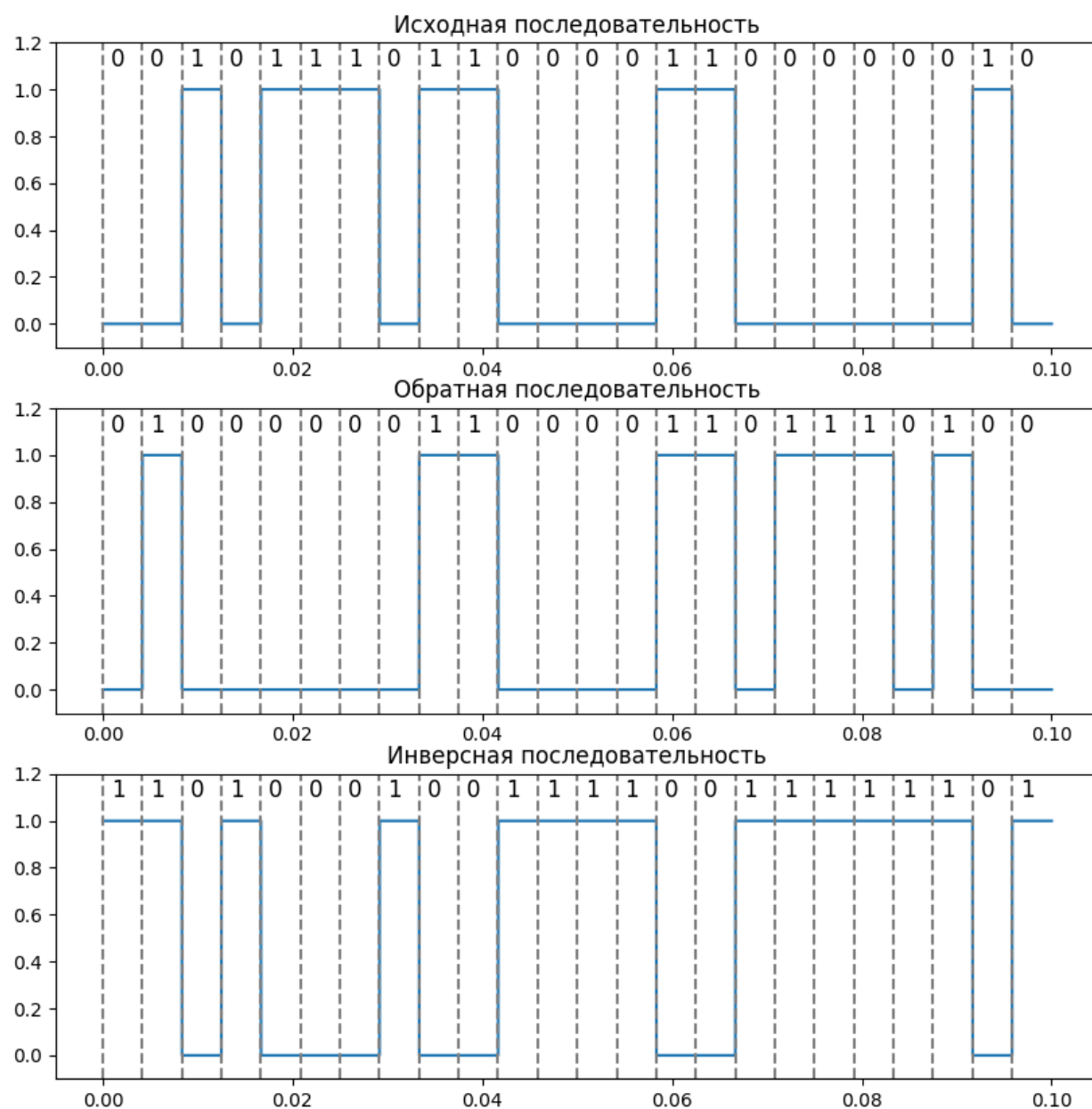


Рисунок 16. Обратный и инверсный код исходной последовательности.

## Выводы

Гармонический сигнал успешно закодирован, а также получены обратная и инверсная последовательности.

# Практическое задание №16

## Задание

1. Провести логическое кодирование биполярным импульсным кодом.
2. Провести логическое кодирование биполярным кодированием АМІ и манчестерским кодом.

## Теория

Преобразование многоуровневого сигнала в код с низким основанием называется **кодированием**.

### Типы кодировок:

1. Потенциальный кодовый код NRZ - используется для передачи данных без возврата к нулевому клиенту.  
Может быть измененным или перевернутым. 1 представляет собой постоянное напряжение, а 0 - нулевой потенциал.
2. Биполярное кодирование с альтернативной инверсией (AMI) - одна из модификаций метода NRZ.  
Использует три уровня потенциала: положительный, отрицательный и нулевой. 0 кодируется, как нулевой потенциал. 1 кодируется, как + или – поочередно.
3. Биполярный импульсный код – наиболее простой импульсный код.  
1 кодируется импульсом одной полярности, а 0 — другой. Импульсы имеют продолжительность половину такта. Обладает отличными самосинхронизирующими свойствами.
4. Манчестерский код - был самым распространенным в локальных сетях. Применяется в технологиях Ethernet и Token Ring.  
Каждый такт разделен на две части. 1 кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а 0 - обратным перепадом.

## Решение

### Код:

[https://colab.research.google.com/drive/1w-ePoIS\\_\\_KEbTnJV41d5ZIDGgDnyucg9?usp=sharing](https://colab.research.google.com/drive/1w-ePoIS__KEbTnJV41d5ZIDGgDnyucg9?usp=sharing)

### Задание 1.



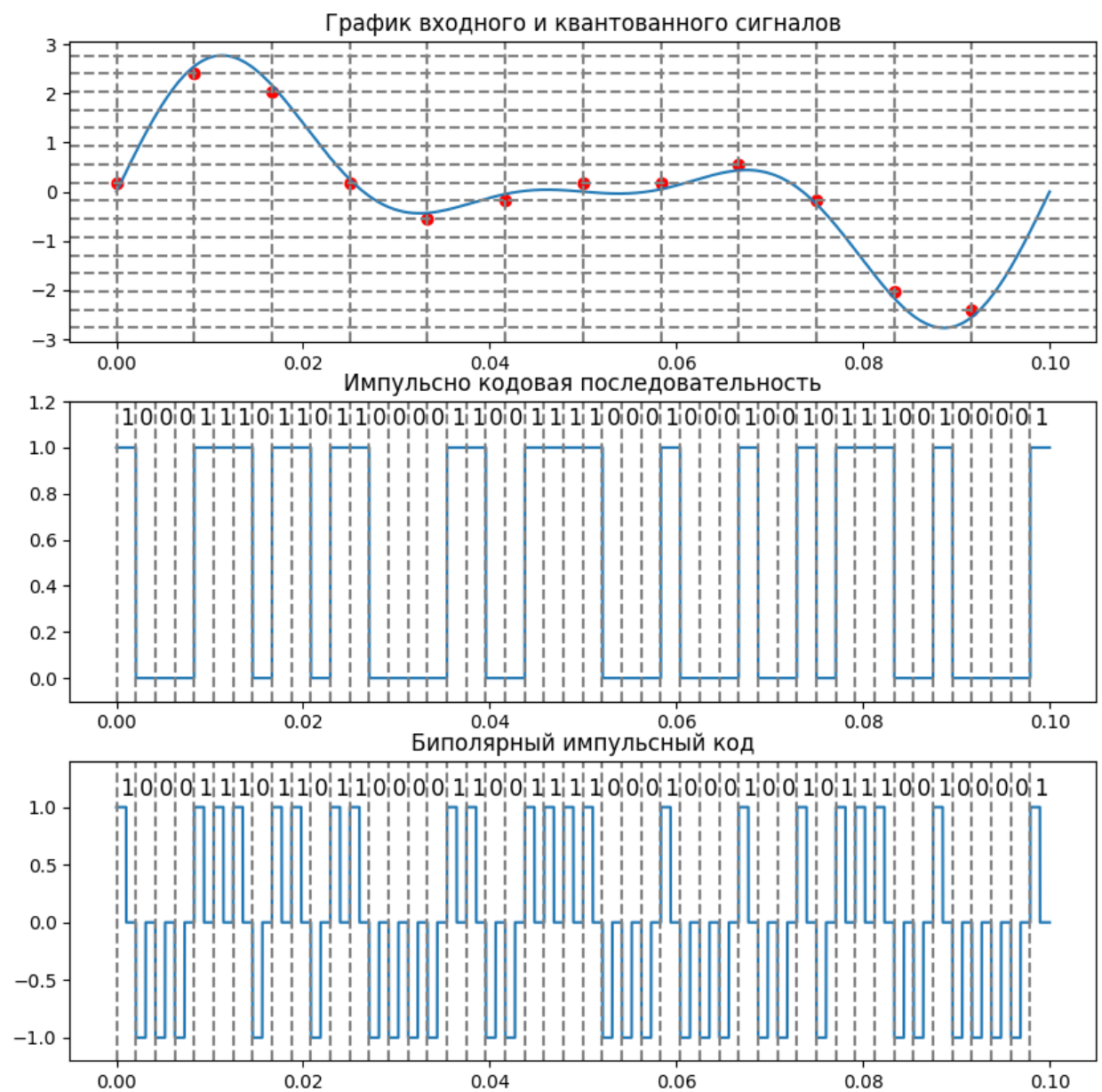


Рисунок 17. Логическое кодирование биполярным импульсным кодом.

Задание 2.

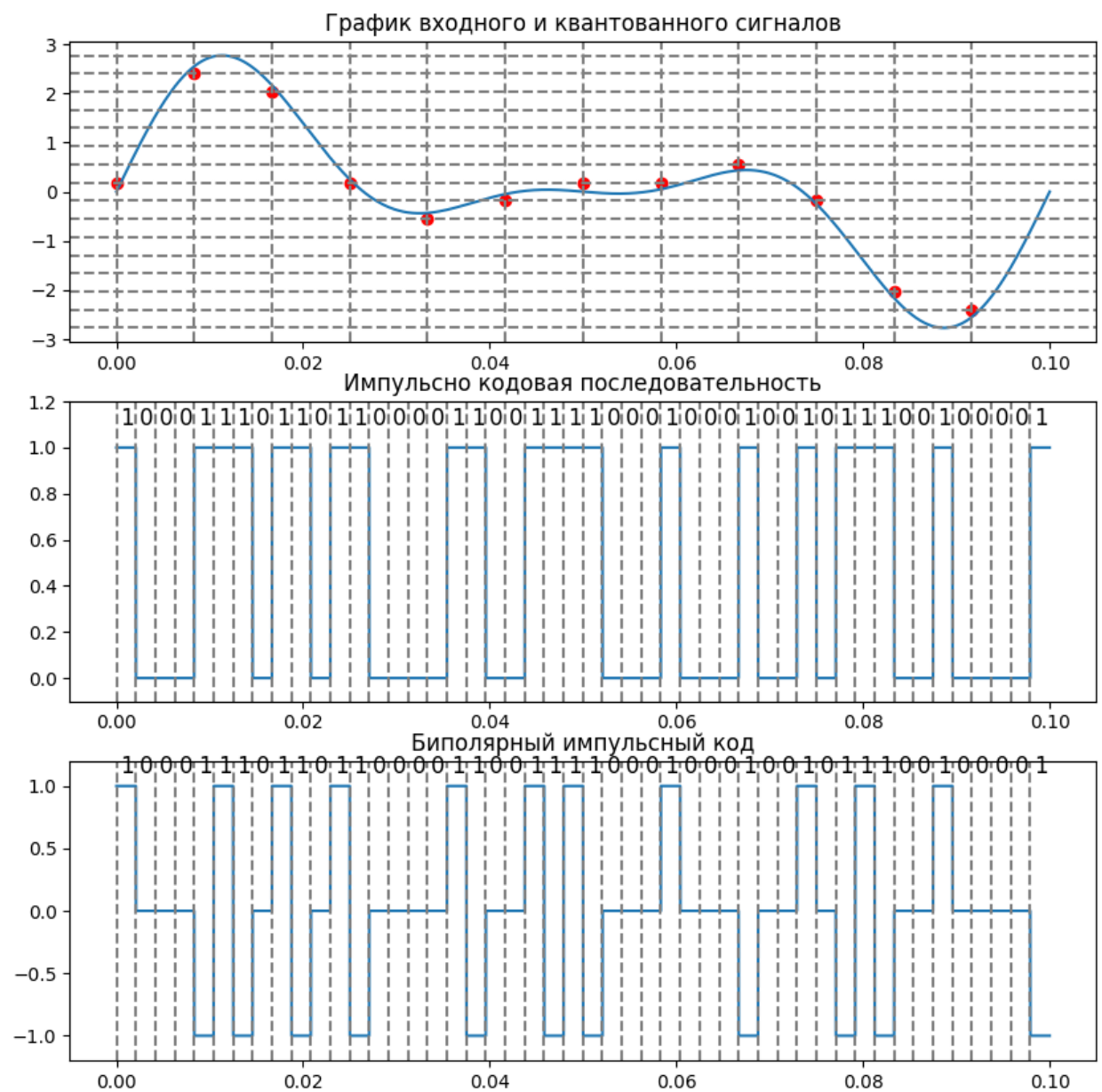


Рисунок 18. Логическое кодирование биполярным кодированием AMI.

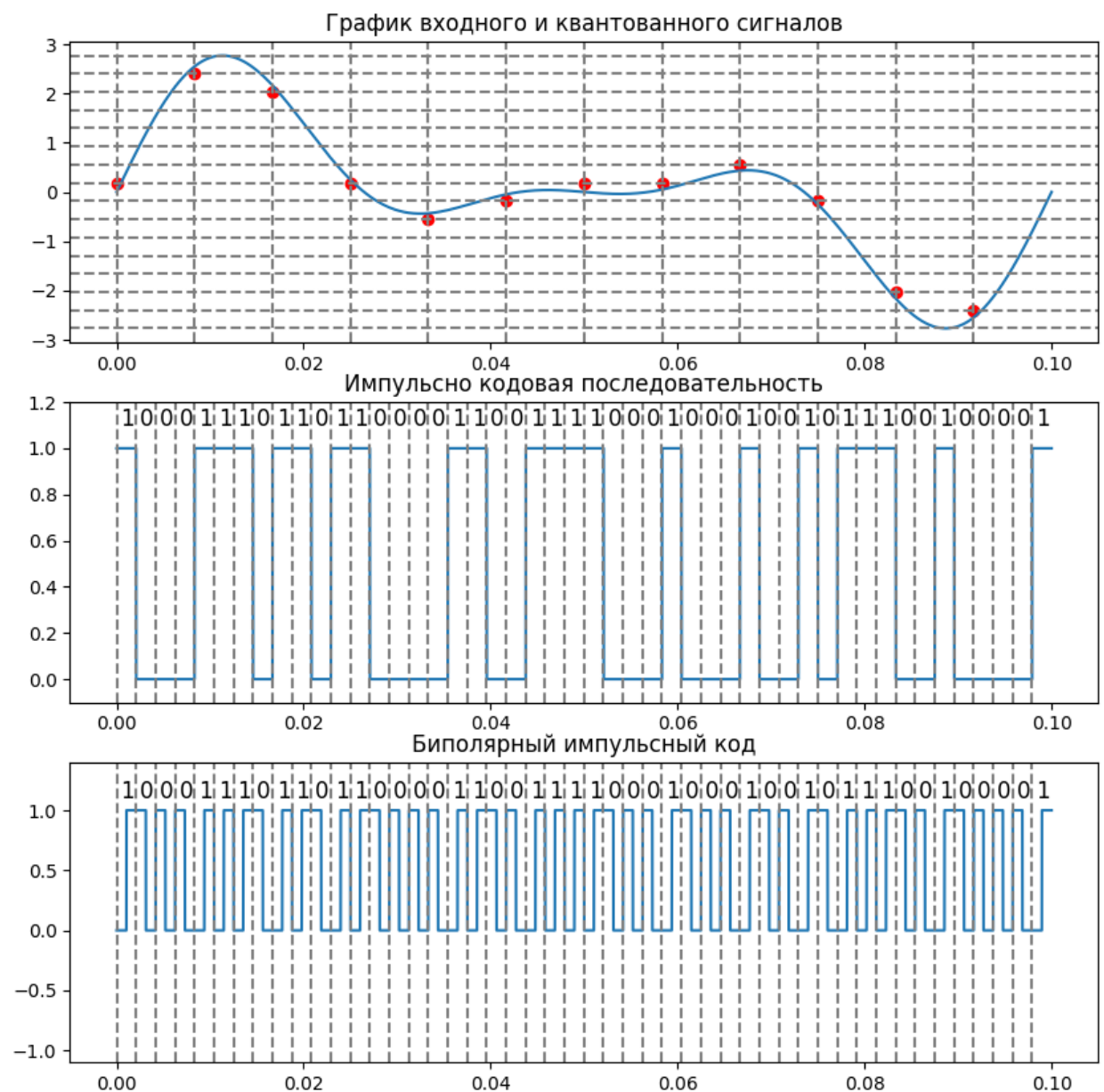


Рисунок 19. Логическое кодирование манчестерским кодом.

### Выводы

Гармонический сигнал закодирован с помощью метода биполярного импульсного кода. По графику понятно, где 0 и 1. К тому же, на графиках видно различие между АМІ кодированием и манчестерским кодом.