

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт компьютерных наук и кибербезопасности  
Высшая школа программной инженерии

## Самостоятельная работа №2

по дисциплине «Сети и телекоммуникации»

Выполнил:

Группа:

Проверил:

Яровой В. Д.

5130904/00104

Медведев Б. М.

Санкт-Петербург  
2023

## Содержание

1	Цель работы .....	3
2	Порядок выполнения работы .....	3
3	Основная часть .....	4
3.1	Функциональная схема передатчика ОФМ сигналов .....	4
3.2	Временные диаграммы работы передатчика ОФМ .....	5
3.3	Функциональная схема приемника .....	6
3.4	Временные диаграммы работы приемника .....	8
3.5	Вероятность ошибки приема АМ, ЧМ и ФМ сигналов .....	10
4	Вывод .....	11

## 1 Цель работы

Изучить способы передачи двоичных символов по каналам связи с использованием амплитудной (АМ), частотной (ЧМ) и относительной фазовой (ФМ) модуляции путем разработки функциональной схемы передатчика и приемника, а также расчета вероятности ошибки приема АМ, ЧМ и ФМ сигналов.

## 2 Порядок выполнения работы

1. Разработать функциональную схему передатчика ОФМ сигналов.
2. Изобразить временные диаграммы работы передатчика ОФМ сигналов, содержащие случайную последовательность двоичных символов на входе передатчика и форму сигнала на выходе передатчика при скорости передачи 1200 бит/с и частоте, несущей 1800 Гц.
3. Разработать функциональную схему приемника, реализующего алгоритм когерентного приема.
4. Изобразить временные диаграммы работы приемника ОФМ сигналов, содержащие входной сигнал, соответствующий сигналу на выходе передатчика, необходимые промежуточные результаты обработки сигнала и решения о принятых символах на выходе приемника.
5. Рассчитать вероятность ошибки приема АМ, ЧМ и ФМ сигналов. Построить графики зависимостей вероятности ошибки от отношения сигнал/шум в логарифмическом масштабе для вероятности ошибки. Определить выигрыш в помехоустойчивости ФМ сигналов по сравнению с АМ и ЧМ для диапазона вероятности ошибки

## 3 Основная часть

### 3.1 Функциональная схема передатчика ОФМ сигналов

При **ФМ** передаче  $a_k = 1$  соответствует фаза несущего колебания элемента, равная 0, а передаче  $a_k = 0$  - противоположная фаза:

$$S_1(t) = A \sin(2\pi ft), S_0(t) = A \sin(2\pi ft + \pi) = -A \sin(2\pi ft)$$

При относительной фазовой модуляции (**ОФМ**) информация о передаваемом символе закладывается в изменение фазы сигналов двух соседних элементов сигнала. Например, фаза сигнала должна изменяться скачком на 180 градусов всякий раз при передаче «0» и оставаться непрерывной (равной фазе предыдущего элемента сигнала) при передаче «1».

Передатчик **ОФМ** сигналов состоит из 2 блоков:

1. дифференциального кодера, который преобразует последовательность двоичных символов  $a_k$  в символы  $b_k = \pm 1$
2. модулятора, в котором символы  $b_k$  управляют изменением фазы несущего колебания – при  $b_k = 1$  фаза несущего колебания не изменяется, при  $b_k = -1$  изменяется на  $180^\circ$

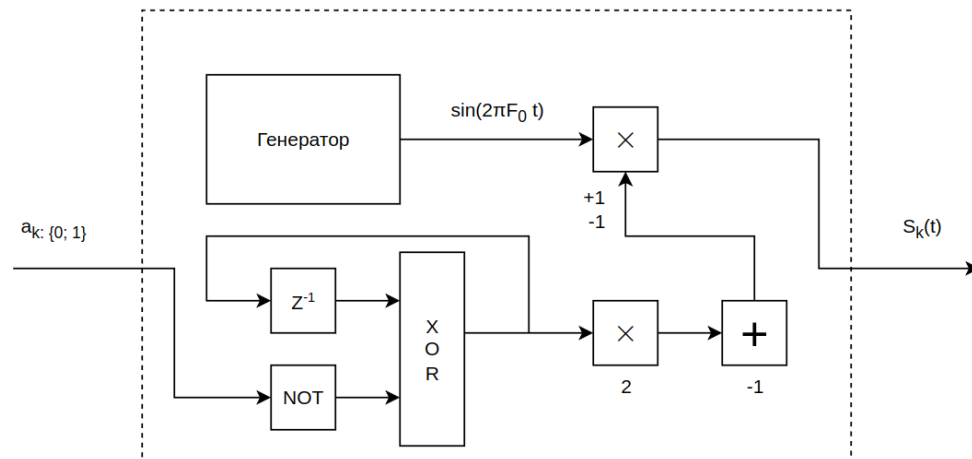
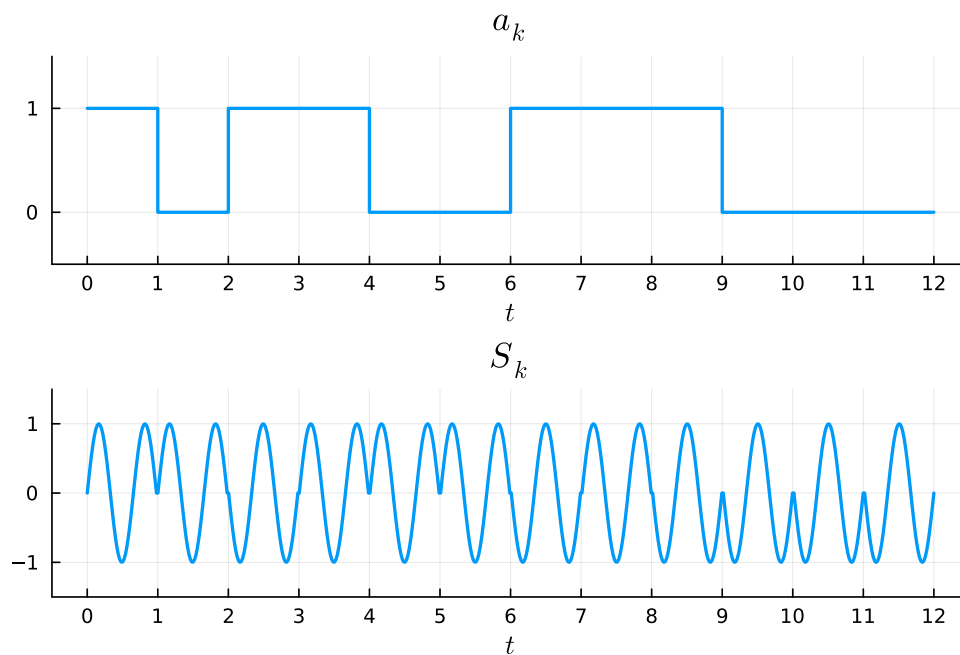


Рисунок 1: Передатчик

### 3.2 Временные диаграммы работы передатчика ОФМ

Нарисуем случайную последовательность двоичных символов на входе передатчика и форму сигнала на выходе передатчика:



### 3.3 Функциональная схема приемника

Оптимальным алгоритмом приема, обеспечивающим минимум вероятности ошибки, является алгоритм когерентного приема:

$$\max_i \left[ \int_0^{T_a} x(t)s(\beta_i, t)dt - \frac{1}{2} \int_0^{T_a} [s(\beta_i, t)]^2 dt \right]$$

Где:

$$x(t) = s(\beta_i, t) + n(t)$$

Формула после преобразований:

$$\int_0^{T_a} x(t)s(\beta_i, t)dt > 0$$

Ожидаемые формы сигнала:

$$S_1(t) = A \sin(2\pi ft), \quad S_0(t) = A \sin(2\pi ft + \pi) = -A \sin(2\pi ft)$$

Когерентная схема приемника включает блок формирования согласованного сигнала с одинаковой фазой как у входящего сигнала. Алгоритм определяет фазу входящего сигнала и декодирует информацию. Дифференциальный декодер сравнивает последовательные фазовые решения: разные - символ 0, иначе символ 1. Система синхронизации поддерживает согласованность между передатчиком и приемником.

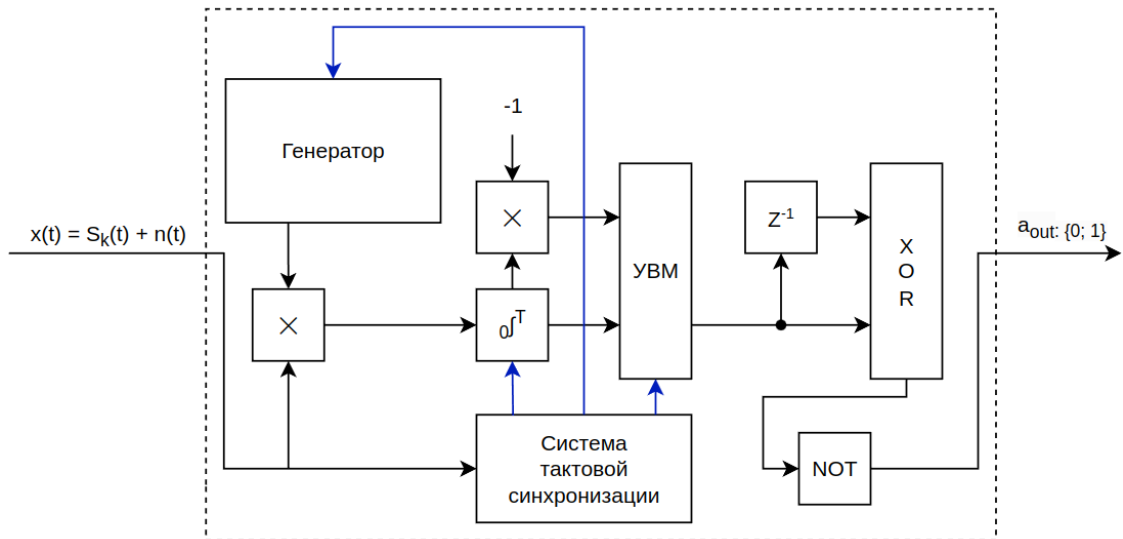


Рисунок 3: Приемник

Схему выше можно упростить:

- нам достаточно знать только одну форму сигнала с генератора
- можно считать только один интеграл
- УВМ можно заменить на элемент  $>$ , так как у увм только 2 канала на входе

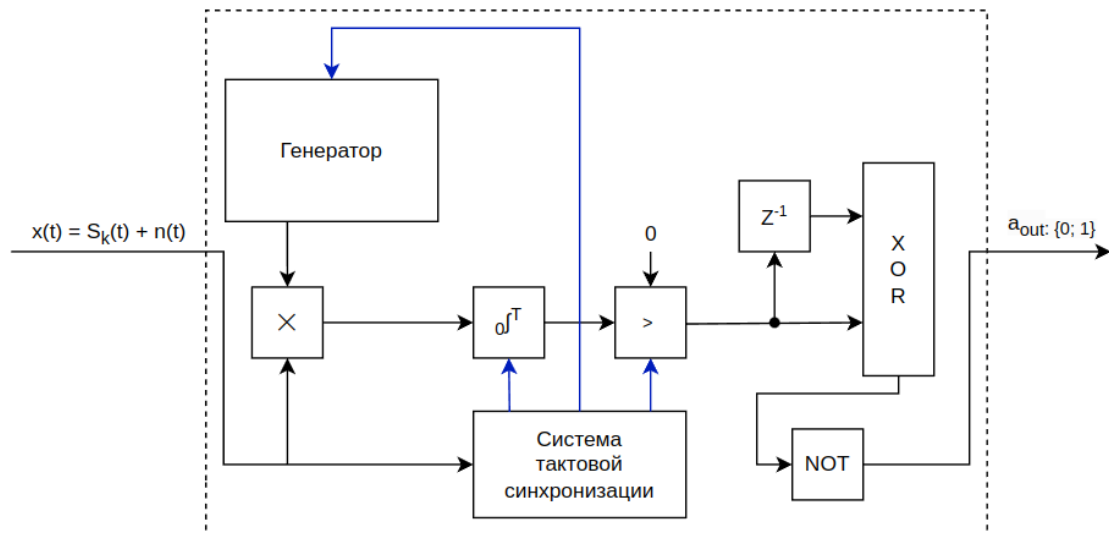


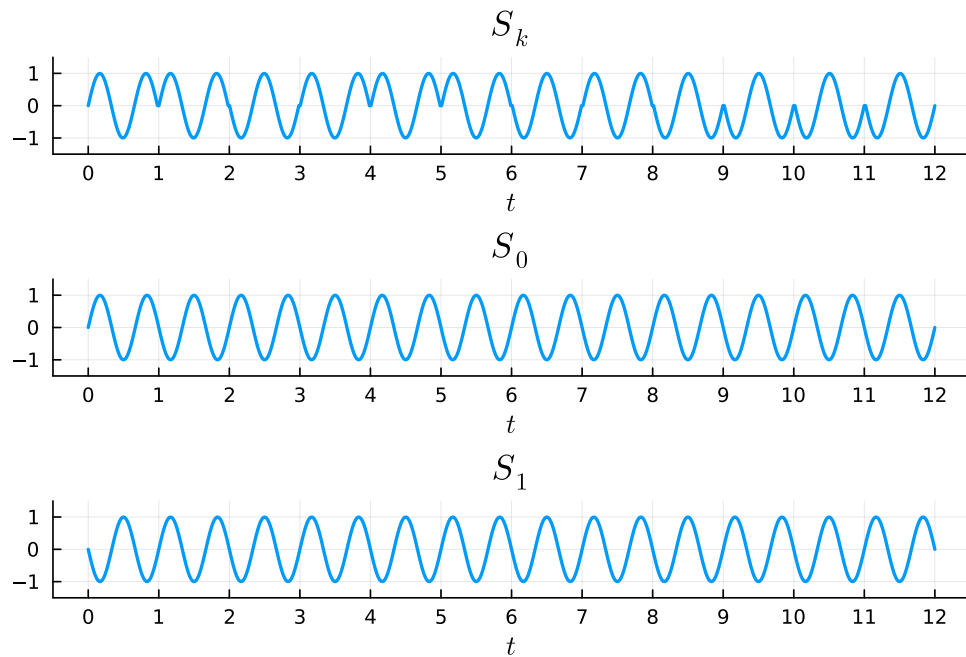
Рисунок 4: Приемник оптимизированный

Далее будем рисовать диаграммы основываясь на первой схеме приемника для большей наглядности. Если бы рисовали по 2 схеме, то кол-во графиков сократилось бы в 2 раза.

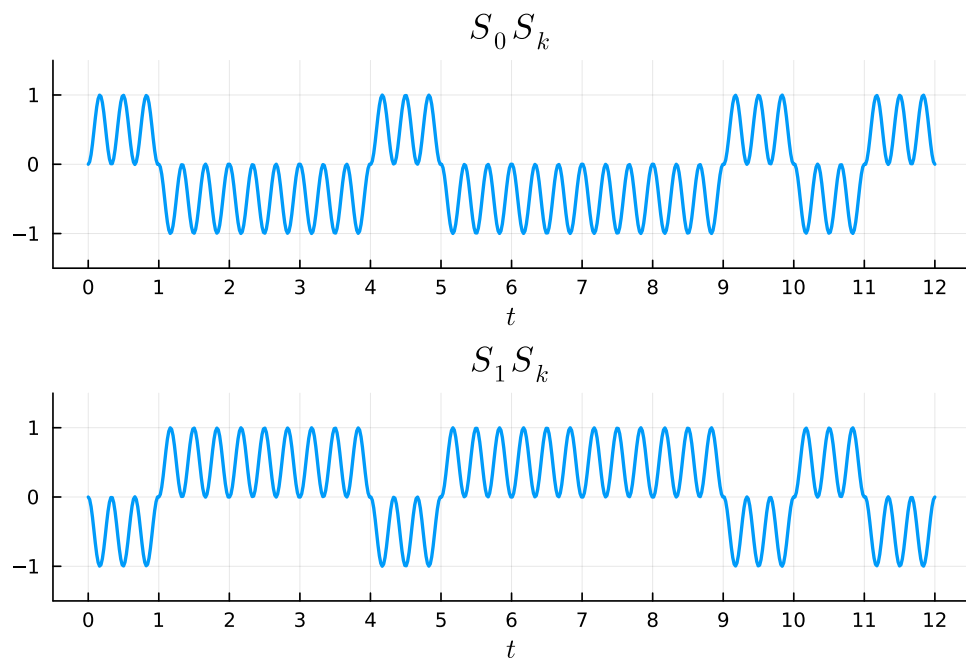
### 3.4 Временные диаграммы работы приемника

Время  $t$  на графиках - относительное, на самом деле оно  $\frac{t}{T}$ .

Нарисуем форму сигнала на выходе передатчика и сгенерированные ожидаемые формы сигнала:

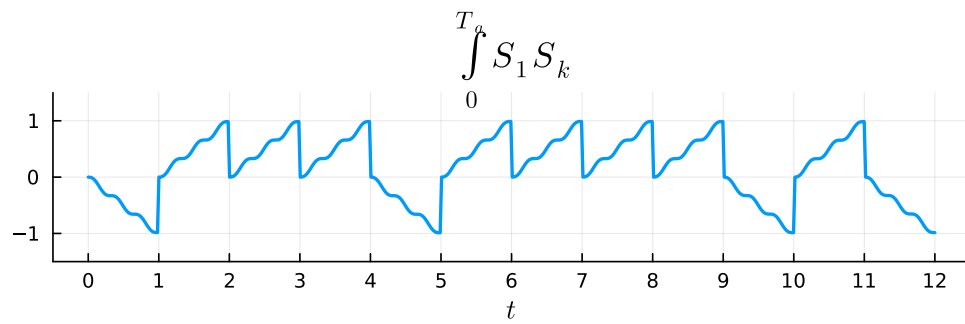
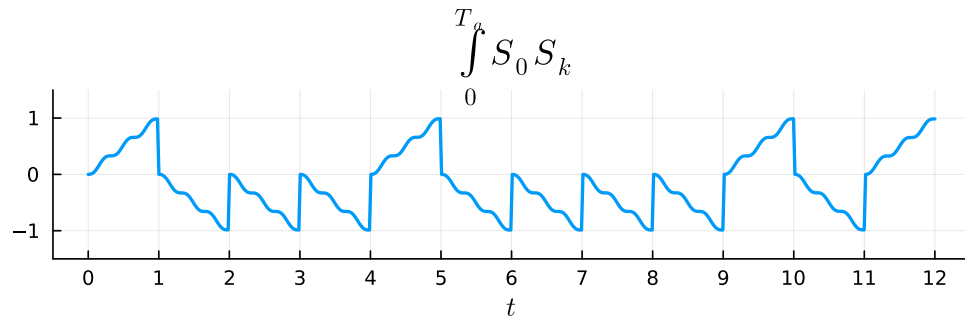


Перемножим входящий сигнал с каждым из сгенерированных:

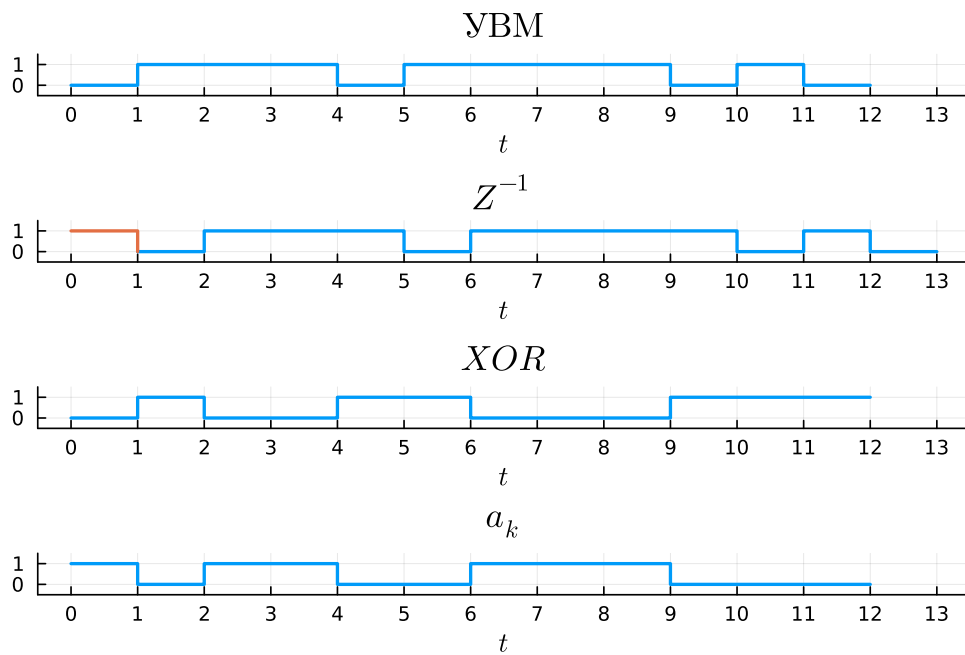




Возьмем интегралы:

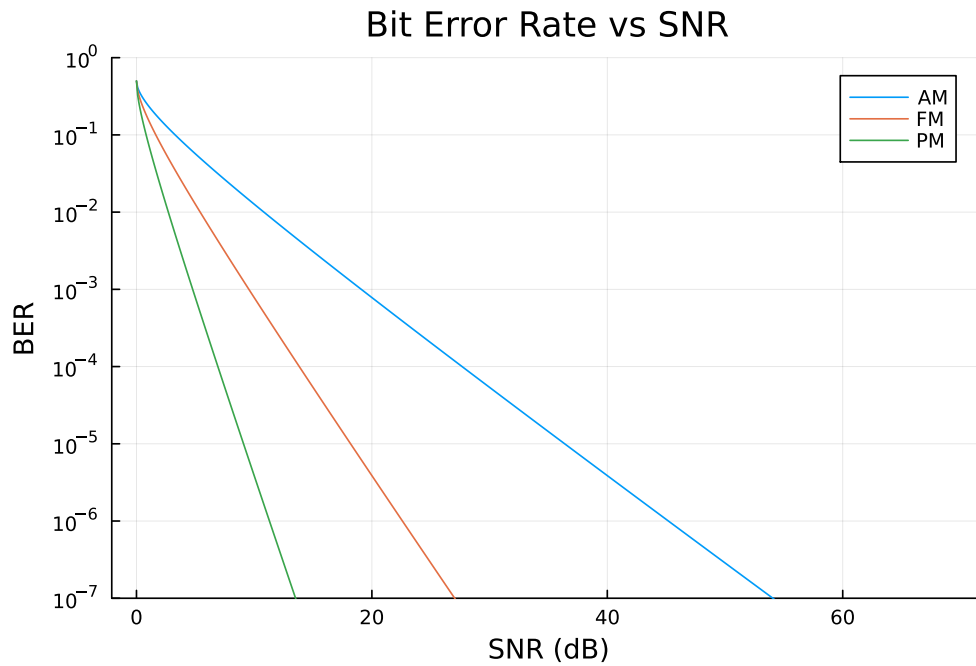


Вычислим выходной сигнал:



Из исходного сигнала  $a_k$  были приняты все значения:  $a_k = a_{out}$ , при условии того, что в передоваемой последовательности первый бит был равен 1

### 3.5 Вероятность ошибки приема АМ, ЧМ и ФМ сигналов



Для достижения одинаковой помехоустойчивости ( $P_{AM} = P_{ЧМ} = P_{ФМ}$ ) энергия сигналов  $E$  при ЧМ должна быть в 2 раза, а при ФМ – в 4 раза меньше чем при АМ, т.е. по пиковой мощности ЧМ обеспечивает двукратный, а ФМ четырехкратный энергетический выигрыш по сравнению с АМ.

На основе полученных результатов можно заключить, что ФМ имеет наименьшую вероятность ошибки по сравнению с АМ и ЧМ, что делает его более эффективным методом передачи данных.

## 4 Вывод

В ходе исследования были изучены методы передачи двоичных данных через каналы связи, используя амплитудную (**АМ**), частотную (**ЧМ**) и фазовую модуляцию (**ФМ**). Были разработаны функциональные схемы для передатчика и приемника ФМ-сигналов, создали временные диаграммы, и провели анализ вероятности ошибки для каждого из методов при одинаковых условиях **SNR** (Signal-to-Noise Ratio).