

## **Задание 2. Передача кодированных данных по каналу связи**

### **2.1. Цель и краткая характеристика работы**

Цель работы: исследование влияния свойств канала связи на качество передачи сигналов при различных методах физического и логического кодирования, используемых в цифровых сетях передачи данных.

В процессе выполнения учебно-исследовательской работы необходимо:

- для заданного исходного сообщения и трех методов кодирования (NRZ, RZ и Manchester) выполнить исследование качества передачи физических сигналов по каналу связи в зависимости от уровня помех и шумов в канале, степени рассинхронизации передатчика и приёмника и уровня граничного напряжения (которое можно трактовать как уровень сигнала, при котором невозможно однозначно идентифицировать значения передаваемых двоичных сигналов);
- сравнить рассматриваемые методы кодирования;
- выбрать и обосновать наилучший метод для передачи исходного сообщения по реальному каналу связи с учетом затухания, шумов в канале и рассинхронизации.

### **2.2. Теоретические сведения**

В простейшем случае двоичные данные могут быть представлены в виде синусоидального сигнала, в котором положительная часть синусоиды соответствует двоичной «1», а отрицательная – «0». Период синусоиды равен  $T = 2t$ , где  $t$  – длительность битового интервала связана с пропускной способностью канала  $C$  зависимостью  $t = 1/C$ . Отсюда частота синусоидального сигнала  $f = C/2$ .

Передача сигнала по реальному каналу связи на большие расстояния характеризуется следующими особенностями.

1. Затухание сигнала в процессе распространения по каналу, в результате которого его мощность в точке приёма оказывается значительно меньше мощности исходного информативного сигнала, причем уменьшение мощности прямо пропорционально длине канала.

2. Искажение формы информативного сигнала из-за шумов каналообразующей аппаратуры и влияния различного рода помех. В результате этого реальный сигнал в точке приёма оказывается мало похожим на исходный сигнал, что может привести к тому, что сигнал пропадет (не будет считан), либо будет считано неверное значение.

3. Наличие внутренних шумов в канале связи, обусловленных техническими характеристиками среды передачи (линии связи) и каналообразующей аппаратуры, которые приводят к появлению фоновых сигналов, искажающих информативный сигнал. Для того чтобы шум в канале связи не воспринимался на приёмной стороне как информативный сигнал, в приёмнике обычно устанавливается некоторое граничное значение уровня сигнала, соответствующее уровню естественного шума. Если мощность информативного сигнала в точке приёма меньше уровня шума, то он будет неразличим и, следовательно, потерян.

4. Необходимость синхронизации приемника с передатчиком для того, чтобы в приемнике снимать отсчёт в центре битового интервала, что позволит с большой уверенностью распознать значение информативного сигнала, поскольку наибольшую мощность синусоидальный сигнал сохраняет в центре битового интервала. Для качественного распознавания сигналов на приёмной стороне необходимо, чтобы часы передатчика и приёмника работали синхронно. Известно, что все часы имеют погрешность, которая со временем приводит к существенной разнице в показаниях часов, находящихся в узле-передатчике и узле-приёмнике. Это может привести к тому, что на приёмной стороне некоторые биты могут быть пропущены, либо значения некоторых битов будут считаны дважды. Для решения проблемы синхронизации в компьютерных сетях применяются самосинхронизирующиеся коды.

При потенциальном кодировании исходный прямоугольный сигнал, отображающий двоичные «1» и «0», является идеальным теоретическим сигналом, обладающим бесконечным спектром частот, который получается непосредственно из формул Фурье для периодической функции. Если дискретные данные, содержащие последовательность чередующихся «1» и «0», передаются с битовой скоростью  $C$  бит/с, то спектр состоит из постоянной составляющей нулевой частоты и бесконечного ряда гармоник с частотами  $f_0, f_1 = 3f_0, f_2 = 5f_0, f_3 = 7f_0, \dots$ , где  $f_0$  – частота основной гармоники, при этом амплитуды гармоник убывают по отношению к амплитуде основной гармоники  $A_0$ :  $A_1 = A_0/3, A_2 = A_0/5, A_3 = A_0/7, \dots$ . Таким образом, спектр потенциального кода требует для качественной передачи данных полосу пропускания в пределе равную бесконечности.

Реальные сигналы обладают ограниченным спектром, обусловленным наличием переднего и заднего фронта потенциального сигнала. Поэтому спектр результирующего сигнала потенциального кода при передаче произвольных данных занимает полосу от некоторой величины, близкой к 0

Гц, до некоторого конечного значения. На практике при передаче таких сигналов верхний предел спектра обычно ограничивается значениями  $3f_0$ ,  $5f_0$  или  $7f_0$ . Гармониками с частотами выше  $7f_0$  можно пренебречь из-за их малого вклада в результирующий сигнал, поскольку амплитуды этих гармоник составляют 11% и менее от амплитуды основной гармоники.

Отметим, что при цифровой передаче данных для восстановления исходного сигнала требуется меньше гармоник, чем при аналоговой передаче. Технология передачи и приема цифровых сигналов позволяет восстановить исходный сигнал по основной гармонике (несущей), однако для уменьшения числа ошибок необходимо присутствие хотя бы первой гармоники, что, правда, вдвое увеличивает спектр передаваемого сигнала и, следовательно, требуемой полосы пропускания канала связи.

### **2.3. Этапы выполнения работы и варианты заданий**

#### ***Этап 1. Освоение программы для исследования качества передачи физических сигналов по каналу связи***

Для исследования качества передачи исходного сообщения (сигналов) по каналу связи используется программа «Network Fourier 2».

**Назначение программы.** Программа «Network Fourier 2» предназначена для имитационного моделирования процесса передачи дискретного сообщения с ограниченным спектром с учетом влияния шумов, рассинхронизации и уровня граничного напряжения.

**Описание интерфейса.** На рисунке 2.1 показан пользовательский интерфейс (окно) программы.

Элементы интерфейса имеют следующие значения.

1. Кнопка выхода.
2. Кнопка вывода окна «о программе».
3. График закодированного сообщения.
4. График физического представления сигнала с учетом ограниченного спектра и шумов.
5. График принятого и дешифрованного сигнала.
6. Панель состояния.
7. Поле редактирования для ввода кодируемого сообщения. Сообщение может быть представлено либо в виде символов ASCII, либо в виде шестнадцатеричных чисел. Для ввода шестнадцатеричных чисел следует перед сообщением поставить символ «\». Например, «\123AB» будет соответствовать шестнадцатеричному числу 123AB. Для ввода текстового сообщения, начинающегося с символа «\»,

следует ввести символ «\» два раза. Например, «\\xyz» будет представлено как «\xyz».

8. Кнопка пересылки сообщения.
9. Счетчик высшей гармоники ряда Фурье, диапазон [0..255].
10. Переключатель логического кодирования.
11. Счётчик для установки уровня шума, диапазон [0..2].
12. Счётчик для установки уровня рассинхронизации, диапазон [0..1].
13. Счетчик для установки граничного напряжения, диапазон [0..1].
14. Информация о передаваемом сообщении, ASCII и шестнадцатеричное представление сигнала, длина, скорость передачи (бит/с).
15. Счетчик низшей гармоники ряда Фурье, диапазон [0..255].
16. Переключатель физического кодирования.
17. Информация о принятом сообщении, количестве принятых бит, ошибочных бит и процентное количество ошибок.
18. Кнопка сброса статистики.
19. Флажковый переключатель отображаемой информации на графике физического представления сигнала.

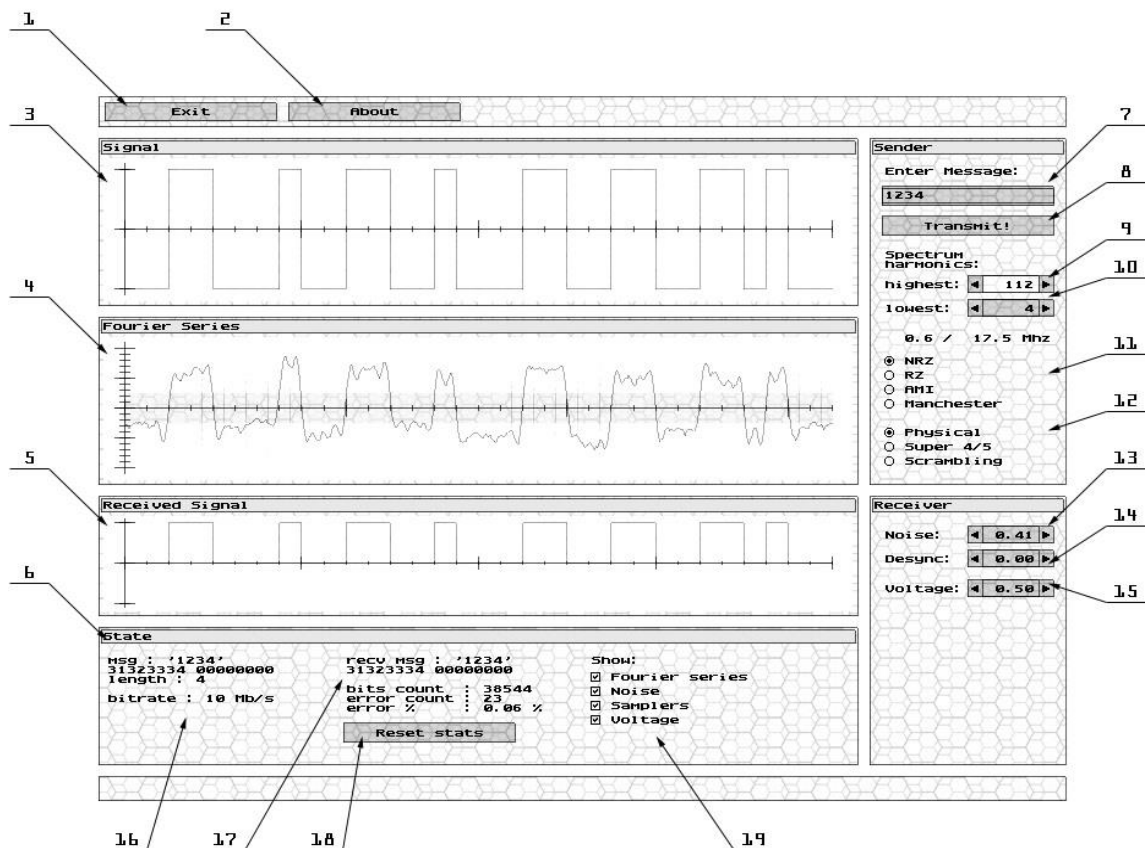


Рисунок 2.1. Интерфейс пользователя

**Примечание:** для ускорения выбора требуемого значения в элементе управления «счётчик» можно использовать клавиши «вправо/влево».

**Описание алгоритма.** Считается, что сообщение является периодическим, например, начальное сообщение «ABCD» будет представлено во времени как «...ABCDABCDABCDABCD...». Приложение постоянно осуществляет пересылку сообщения длиной в один период примерно 50 раз в секунду и производит сбор статистики об ошибках.

Ряд Фурье для функции периодической на интервале длиной  $2m$  имеет вид:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos \frac{k\pi x}{m} + b_k \sin \frac{k\pi x}{m}),$$

где коэффициенты ряда рассчитываются по формулам:

$$a_k = \frac{1}{m} \int_{-m}^m f(x) \cos \frac{k\pi x}{m} dx; \quad b_k = \frac{1}{m} \int_{-m}^m f(x) \sin \frac{k\pi x}{m} dx, \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

Шум представляет собой функцию вида:

$$N(x, t) = \frac{a}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin(ix + i^4 t)}{i},$$

где  $a$  – амплитуда,  $x$  – значение сигнала (напряжение),  $t$  – системное время (это дает практически случайный сдвиг фаз при имитации случайного шума).

Под уровнем рассинхронизации  $\Delta x$  подразумевается ширина интервала, в котором снимается уровень сигнала (напряжения). Расчёт значения сигнала осуществляется следующим образом:

$$x = x_0 + rand(\Delta x) - \frac{\Delta x}{2},$$

где  $rand(a)$  – функция, которая возвращает случайное вещественное значение в интервале  $[0; a]$ .

**Алгоритм моделирования.** При моделировании передачи сообщения по каналу связи в имитационной модели каждые 20 мс выполняются следующие повторяющиеся шаги.

1. Проверка элементов управления и установка начальных параметров.
2. Формирование незакодированного сигнала на основе введённого сообщения.
3. Логическое кодирование сообщения.
4. Физическое кодирование сообщения.
5. Построение ряда Фурье с учетом выбранного спектра.
6. Наложение функции шума.

7. Семплирование сигнала с учетом граничного напряжения и рассинхронизации.
8. Физическое декодирование сигнала.
9. Логическое декодирование сигнала.
10. Подсчёт ошибок и сбор статистики.

**Порядок работы с программой.** Для выполнения экспериментов с помощью имитационной модели необходимо выполнить следующие шаги:

1. Установить требуемые параметры передачи сигнала: спектр, уровень шума (Noise), степень рассинхронизации (Desync) и граничное напряжение (Voltage).
2. Установить нижнюю (lowest) и верхнюю (highest) границу спектра (Spectrum harmonics) передаваемого сигнала.
3. Выбрать метод кодирования (NRZ, RZ, Manchester).
4. Ввести заданное сообщение в поле “Enter Message” и нажать клавишу “Transmit!”.
5. Сбросить статистику (клавиша “Reset stats”).
6. Дождаться выполнения требуемого количества пересылок (порядка 100 000 бит) и зафиксировать процент ошибок (error %).
7. Пункты 1-6 при необходимости выполняются для других параметров и методов кодирования.

**Системные требования.** Для корректного функционирования имитационной модели необходимо наличие не менее 32 МБ ОЗУ, а также операционная система Win98, WinXP или выше. Видеокарта должна иметь 3D-ускоритель для быстрого отображения элементов пользовательского интерфейса. Графический пользовательский интерфейс создан с использованием библиотеки OpenGL.

### ***Этап 2. Определение минимальной полосы пропускания канала связи***

Минимально требуемая полоса пропускания канала связи для качественной передачи сообщения (двоичного сигнала) определяется для *идеального* канала, в котором:

- отсутствуют шумы и помехи, искажающие форму сигнала;
- передающий и принимающий сигналы узлы абсолютно синхронизированы, т.е. нет рассинхронизации между ними;
- сигналы не затухают и нет необходимости устанавливать какой-то уровень граничного напряжения, позволяющего различить единичный и нулевой сигнал.

Для этого необходимо установить нулевые значения уровней: шумов (Noise), рассинхронизации (Desync) и граничного напряжения (Voltage) .

Затем в поле «Enter message» ввести исходное сообщение. В качестве исходного сообщения используется, как и в задании №1, первые четыре байта фамилии студента, выполняющего данное задание.

**Указание.** Символы исходного сообщения вводятся в шестнадцатеричном виде в обратном порядке, т.е. вначале вводится шестнадцатеричный код четвертого байта, затем – третьего и т.д. В качестве признака шестнадцатеричного кода перед вводимым сообщением необходимо поставить символ «\».

Последовательно изменяя значения нижней и верхней гармоник спектра сигнала, определить граничные значения, при которых сообщение передается без ошибок. Соответствующие им значения частот представляют собой нижнюю и верхнюю границы, определяющие минимальную полосу пропускания канала связи.

### **Этап 3. Определение максимально допустимых уровней шумов, рассинхронизации и затухания**

На этом этапе последовательно определяются максимально допустимые уровни шумов, рассинхронизации и затухания, при которых сохраняется качественная передача сообщения, т.е. не наблюдается возникновение ошибок.

Вначале изменяется уровень шумов (Noise) и определяется максимально допустимый уровень шумов, при котором исходное сообщение передается без ошибок. При этом значения уровней рассинхронизации и граничного напряжения должны быть нулевыми.

Затем уровень шумов устанавливается в нулевое значение и изменяется уровень рассинхронизации (Desync) и определяется максимально допустимый уровень рассинхронизации, при котором исходное сообщение будет принято без ошибок.

Затем уровень рассинхронизации устанавливается в нулевое значение и изменяется уровень граничного напряжения (Voltage) и определяется максимально допустимый уровень граничного напряжения, при котором исходное сообщение передается без ошибок.

### **Этап 4. Оценка достоверности распознавания сигналов на приемном конце**

На этом этапе определяется процент ошибок при передаче сообщения при найденных на предыдущем этапе значениях уровней шумов,

рассинхронизации и граничного напряжения и минимальной полосы пропускания канала связи.

Установить найденные на предыдущем этапе максимально допустимые значения уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения и определить процент ошибок на приемном конце канала связи.

***Указание.** Этапы 2–4 последовательно выполняются для методов физического (NRZ, RZ и Manchester) и логического кодирования (NRZ). Полученные значения заносятся в таблицу результатов.*

#### ***Этап 5. Определение значений уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения для реального канала связи***

Рассчитать значения уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения для реального канала связи как средние значения по всем рассмотренным методам кодирования.

#### ***Этап 6. Определение требуемой полосы пропускания реального канала связи***

Требуемая полоса пропускания реального канала связи определяется из условия, что передача сообщения должна происходить без потерь при рассчитанных уровнях шумов, рассинхронизации и граничного напряжения для всех рассмотренных методов кодирования.

Установить рассчитанные значения уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения для реального канала связи.

Последовательно изменяя значения порядкового номера нижней гармоники от нуля и верхней гармоники от максимального значения (255) спектра сигнала, определить граничные значения, при которых сообщение передается без ошибок по реальному каналу связи. Соответствующие им значения частот определяют требуемую полосу пропускания канала связи при рассматриваемом методе кодирования.

***Указание.** Этот пункт выполняется для тех же методов физического и логического кодирования. Полученные значения занести в таблицу результатов.*

#### ***Этап 7. Анализ полученных результатов и выбор наилучшего способа кодирования исходного сообщения***

Проанализировать полученные результаты и выбрать наилучший способ кодирования исходного сообщения из всех рассмотренных способов, аргументировано обосновав это выбор.



## 2.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с постановкой задачи и программой для исследования качества передачи физических сигналов по каналу связи (этап 1).

2. С использованием этой программы выполнить исследования в соответствии с этапами 2–6 и занести результаты в таблицу 2.1.

3. Выполнить сравнительный анализ рассмотренных способов кодирования и выбрать наилучший способ для передачи исходного сообщения (этап 7).

4. Подготовить отчёт по выполненной работе.

Таблица 2.1.

Шестнадцатеричный код сообщения:			Метод кодирования				
			NRZ	RZ	M-II	4B/5B	Scramb
Полоса пропускания идеального канала связи	Номера гармоник	min					
		max					
	Частоты, МГц	min					
		max					
Минимальная полоса пропускания идеального канала связи							
Уровень шума		max					
Уровень рассинхронизации		max					
Уровень граничного напряж.		max					
Процент ошибок при max уровнях и минимальной полосе пропускания КС							
Уровень шума		ср.					
Уровень рассинхронизации		ср.					
Уровень граничного напряж.		ср.					
Полоса пропускания реального канала связи	Гармоники	min					
		max					
	Частоты, МГц	min					
		max					
Требуемая полоса пропускания реального канала связи							

## 2.5. Требования к содержанию отчёта

1. Краткая постановка задачи.
2. Исходное сообщение и его шестнадцатеричное представление.
3. **Скриншоты** результатов моделирования с использованием программы “Network Fourier 2”, на которых отображается передаваемое сообщение и видны характеристики реального канала связи.
4. **Результаты исследований** рассмотренных способов кодирования, представленные в виде таблицы 2.1, анализ полученных результатов и обоснованный выбор наилучшего способа кодирования для передачи исходного сообщения.
5. **Краткие выводы** с обоснованием наилучшего способа физического и логического кодирования для передачи исходного сообщения.

## 2.6. Контрольные вопросы для самопроверки

При подготовке к защите лабораторной работы 2 следует руководствоваться следующим примерным перечнем вопросов и задач для самостоятельной проработки.

1. В чем состоит удобство вычисления затухания сигнала в дБ?
2. Во сколько раз уменьшится мощность сигнала на расстоянии 100 м, если его ослабление равно:  $d=10$  дБ/км?
3. Нарисовать график гармонического сигнала и показать на графике его параметры. Записать функцию, описывающую гармонический сигнал.
4. Записать и пояснить представление функции, отображающей непрерывные данные, в виде ряда Фурье.
5. Понятие сигнала (функции) с ограниченным спектром.
6. Какой спектр частот характерен для дискретных сигналов?
7. При каких условиях обеспечивается качественная передача сигнала?
8. Проиллюстрировать на графике понятие полосы пропускания линии связи. Какую полосу пропускания имеет телефонный канал (аналоговая проводная линия связи)?
9. По каким каналам можно передавать дискретные сигналы в их естественном виде – без модуляции (в первичной полосе частот)?
10. Как передаются сигналы в высокоскоростных каналах связи с резко ограниченной полосой частот?
11. Что такое модуляция и для чего она нужна?
12. Чем манипуляция отличается от модуляции?
13. Пояснить принцип амплитудной, частотной и фазовой модуляции.
14. Что такое ИКМ?

15. Пояснить различие между АИМ и ИКМ.
16. Показать, за счет чего обеспечивается скорость передачи данных в 64 кбит/с (56 кбит/с) при ИКМ.
17. Пояснить принцип адаптивной разностной (дифференциальной) ИКМ.
18. В чём различие между линейным и первичным сигналом?
19. Перечислить характеристики цифрового канала связи.
20. От чего зависит пропускная способность канала связи?
21. В чём отличие пропускной способности от скорости передачи данных?
22. Какие скорости передачи данных обеспечивает телефонный канал?
23. Как называется процесс представления непрерывных данных в виде физических сигналов для их передачи по каналам связи?
24. Как называется процесс представления дискретных данных в виде физических сигналов для их передачи по каналам связи?
25. От чего зависит спектр результирующего модулированного сигнала?
26. Как спектр результирующего модулированного сигнала зависит от скорости модуляции (скорости передачи данных)? Ответ пояснить.
27. Перечислить требования к методам цифрового кодирования.
28. Как битовая скорость связана со спектром результирующего сигнала?
29. В чем заключается проблема синхронизации при передаче цифровых сигналов?
30. Что такое самосинхронизирующийся код?
31. Какие методы кодирования относятся к самосинхронизирующимся?
32. От чего зависит стоимость реализации метода кодирования?
33. Что такое постоянная составляющая спектра сигнала и почему она нежелательна?
34. Какие методы кодирования имеют постоянную составляющую в спектре сигнала?
35. Почему в телекоммуникационных сетях для синхронизации не используется схема, основанная на отдельной тактирующей линии связи?
36. Почему проблема синхронизации в телекоммуникационных сетях решается сложнее, чем при обмене данными между компьютером и принтером?