

Национальный исследовательский университет ИТМО  
Факультет программной инженерии и компьютерной техники

**Учебно-исследовательская работа №1**  
**по дисциплине Сети ЭВМ и телекоммуникации**

Студент: Саржевский Иван

Группа: Р3302

г. Санкт-Петербург

2020 г.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Цель</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Задание</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Формирование сообщения</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Физическое кодирование</b>	<b>2</b>
4.1	Выделение основной частоты . . . . .	2
4.2	Потенциальный код NRZ . . . . .	3
4.3	Манчестерское кодирование . . . . .	4
4.4	Потенциальный код RZ . . . . .	6
4.5	Пятиуровневый код РАМ-5 . . . . .	7
4.6	Сравнительный анализ физического кодирования . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Логическое кодирование</b>	<b>8</b>
5.1	4В/5В . . . . .	8

# 1 Цель

Изучение методов логического и физического кодирования, используемых в цифровых сетях передачи данных.

# 2 Задание

Выполнить логическое и физическое кодирование исходного сообщения в соответствии с заданными методами кодирования, провести сравнительный анализ рассматриваемых методов кодирования, выбрать и обосновать наилучший метод для передачи исходного сообщения.

# 3 Формирование сообщения

*Сообщение:* Саржевский И.А.

*Hex-код:* D1 E0 F0 E6 E5 E2 F1 EA E8 E9 20 C8 2E C0 2E

11010001 11100000 11110000 11100110 11100101 11100010 11110001

*Bin-код:* 11101010 11101000 11101001 00100000 11001000 00101110 11000000  
00101110

*Длина:* 15 байт (120 бит)

# 4 Физическое кодирование

## 4.1 Выделение основной частоты

Определим частоту основной гармоники бесконечного сигнала 10101010... как базовую частоту  $f_0$ . В таком случае, частоту основной гармоники сигнала с повторением произвольного количества нулей и единиц удобно представить в виде  $f = f_0/x$ , где  $x$  - длина последовательности нулей и единиц (например, очевидно что частота основной гармоники сигнала 110011001100... равна  $f_0/2$ ).

Введение такой переменной позволяет нам записать ряд Фурье для бесконечного сигнала с повторением произвольного количества нулей и единиц таким образом:

$$\sum_y (A_0/y) \sin(2\pi \frac{yf_0}{x} t)$$

, где  $y \in \{1, 3, 5, 7\}$ , а  $x$  - длина периода повторяющихся символов.

Определим  $f_0$  для разных значений пропускной способности. Она будет равна единице, деленной на период основной гармоники, равный времени передачи двух бит сообщения. Таким образом, для пропускной способности  $x$ :

$$B_t = 1/x$$

$$T_0 = 2B_t$$

$$f_0 = 1/T_0$$

Пропускная способность, Мbps	Базовая частота $f_0$ , Гц
10	$0.5 * 10^7$
100	$0.5 * 10^8$
1000	$0.5 * 10^9$

## 4.2 Потенциальный код NRZ

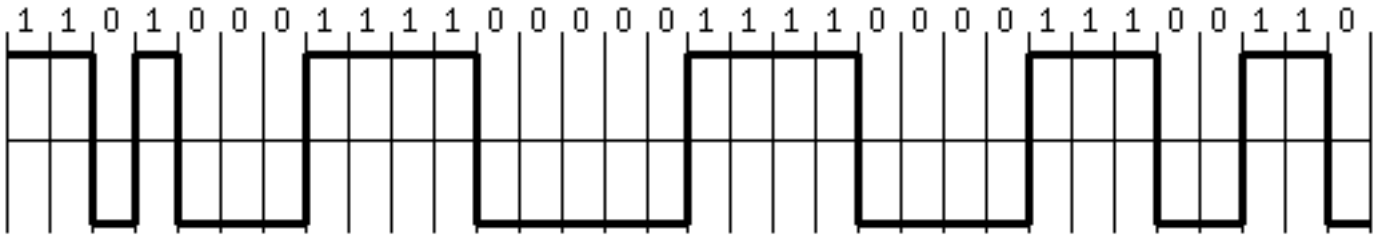


Рис. 1: Кодирование первых четырех байт потенциальным кодом NRZ

Из диаграммы легко понять, что  $T_{min}$  достигается при кодировании чередующихся сигналов, из чего следует, что  $T_{min} = T_0$  и  $f_{max} = f_0$ . Для определения  $T_{max}$  найдем участок с минимальным чередованием. Для данного вида кодирования такой участок достигается при передаче последовательности из 8 символов 0, следовательно  $T_{max} = 8T_0$ , а  $f_{min} = \frac{f_0}{8}$ .

Разложение в ряд Фурье для сигнала представляющего из себя последовательность чередующихся единиц и нулей будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi f_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3f_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5f_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7f_0 t)$$

Аналогичное разложение для сигнала с чередующимися последовательностями из 8 единиц и нулей будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi \frac{f_0}{8} t) + (A_0/3) \sin(2\pi \frac{3f_0}{8} t) + (A_0/5) \sin(2\pi \frac{5f_0}{8} t) + (A_0/7) \sin(2\pi \frac{7f_0}{8} t)$$

Получаем спектр частот  $\frac{f_0}{8} \dots 7f_0$ .

Пропускная способность: 10 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	0 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	35000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	625000 Гц
Необходимая полоса пропускания	625000 : 35000000 Гц
Пропускная способность: 100 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	0 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	350000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	6250000 Гц
Необходимая полоса пропускания	6250000 : 350000000 Гц
Пропускная способность: 1000 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	0 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	3500000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	62500000 Гц
Необходимая полоса пропускания	62500000 : 3500000000 Гц

### Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения

Частота	Участки	Кол-во битовых интервалов	Отношение к $f_0$
$f_1$	1 и 0	25	$f_0/1$
$f_2$	111 и 000	30	$f_0/3$
$f_3$	11111 и 00000	15	$f_0/5$
$f_4$	1111 и 0000	24	$f_0/4$
$f_5$	11 и 00	18	$f_0/2$
$f_6$	11111111 и 00000000	8	$f_0/8$

$$f_{mean} = 25/120 * f_1 + 30/120 * f_2 + 15/120 * f_3 + 24/120 * f_4 + 18/120 * f_5 + 8/120 * f_6$$

Пропускная способность, Mbps	$f_{mean}$ , Гц
10	2250000
100	22500000
1000	225000000

### 4.3 Манчестерское кодирование

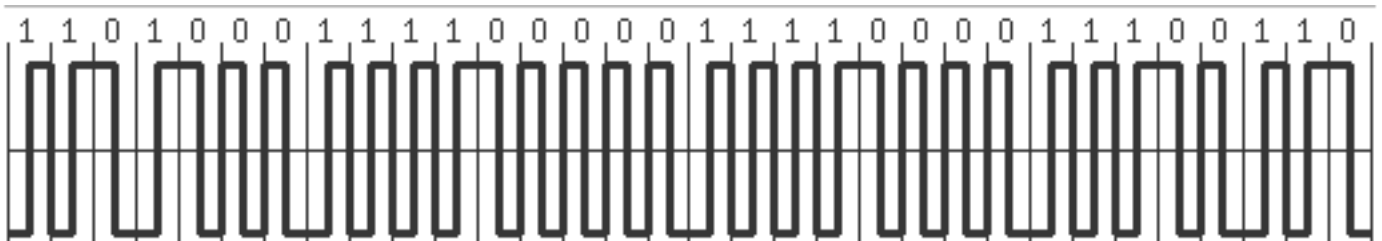


Рис. 2: Кодирование первых четырех байт Манчестерским кодом

Из диаграммы легко понять, что  $T_{min}$  достигается при кодировании последовательных одинаковых бит (00 или 11), при этом  $T_{min} = T_0/2$  и  $f_{max} = 2f_0$ .  $T_{max}$  возникает в

следствие кодирования чередующихся бит (01 и 10) и равен  $f_0$ . Сигнал вида 11111... или 00000... аналогичен последовательности сигналов 11, следовательно частота его основной гармоники равна  $f_{max}$ .

Разложение в ряд Фурье для сигнала представляющего из себя последовательность единиц или нулей будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi 2f_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 6f_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 10f_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 14f_0 t)$$

Аналогичное разложение для сигнала с чередующимися последовательностями из единиц и нулей будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi f_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3f_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5f_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7f_0 t)$$

Получаем спектр частот  $f_0 \dots 14f_0$

Пропускная способность: 10 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	10000000 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	70000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	50000000 Гц
Необходимая полоса пропускания	50000000 : 70000000 Гц
Пропускная способность: 100 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	100000000 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	700000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	500000000 Гц
Необходимая полоса пропускания	500000000 : 700000000 Гц
Пропускная способность: 1000 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	1000000000 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	7000000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	5000000000 Гц
Необходимая полоса пропускания	5000000000 : 7000000000 Гц

### Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения

Частота	Участки	Кол-во битовых интервалов	Отношение к $f_0$
$f_1$	11 и 00	66	$f_0 * 2$
$f_2$	1 и 0	54	$f_0 * 1$

$$f_{mean} = 66/120 * f_1 + 54/120 * f_2$$

Пропускная способность, Mbps	$f_{mean}$ , Гц
10	7750000
100	77500000
1000	775000000

## 4.4 Потенциальный код RZ



Рис. 3: Кодирование первых четырех байт потенциальным кодом RZ

Из диаграммы легко понять, что  $T_{min}$  достигается при кодировании последовательных одинаковых бит (00 или 11), при этом  $T_{min} = T_0/2$  и  $f_{max} = 2f_0$ .  $T_{max}$  возникает в следствие кодирования чередующихся бит (01 и 10) и равен  $f_0$ . Сигнал вида 11111... или 00000... аналогичен последовательности сигналов 11, следовательно частота его основной гармоники равна  $f_{max}$ .

Разложение в ряд Фурье для сигнала представляющего из себя последовательность единиц или нулей будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi 2f_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 6f_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 10f_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 14f_0 t)$$

Аналогичное разложение для сигнала с чередующимися последовательностями из единиц и нулей будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi f_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3f_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5f_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7f_0 t)$$

Получаем спектр частот  $f_0 \dots 14f_0$

Пропускная способность: 10 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	10000000 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	70000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	5000000 Гц
Необходимая полоса пропускания	5000000 : 70000000 Гц
Пропускная способность: 100 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	100000000 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	700000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	50000000 Гц
Необходимая полоса пропускания	50000000 : 700000000 Гц
Пропускная способность: 1000 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	1000000000 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	7000000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	500000000 Гц
Необходимая полоса пропускания	500000000 : 7000000000 Гц

## Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения

Частота	Участки	Кол-во битовых интервалов	Отношение к $f_0$
$f_1$	11 и 00	66	$f_0 * 2$
$f_2$	1 и 0	54	$f_0 * 1$

$$f_{mean} = 66/120 * f_1 + 54/120 * f_2$$

Пропускная способность, Mbps	$f_{mean}$ , Гц
10	7750000
100	77500000
1000	775000000

## 4.5 Пятиуровневый код РАМ-5

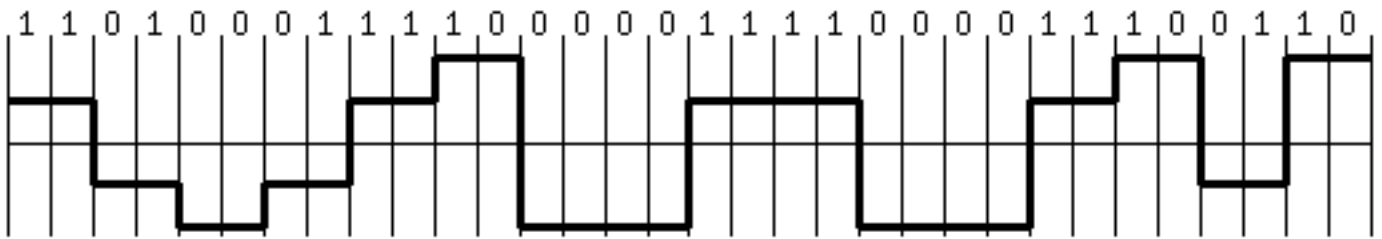


Рис. 4: Кодирование первых четырех байт потенциальным кодом 2BQ1 (РАМ-5)

$T_{max}$  достигается на участке 11101010111010 и равен  $14T_0$ , следовательно  $f_{min} = f_0/14$ .  $T_{min}$  достигается на участках с чередованием 11 и 00 и равна  $2T_0$ , следовательно  $f_{max} = f_0/2$ . Сигналы вида 111111... и 000000... выражаются в прямую линию, поэтому частота в этом случае равна 0.

Разложение в ряд Фурье для сигнала, имеющего период  $T_{min}$  будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi \frac{f_0}{2}t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3 \frac{f_0}{2}t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5 \frac{f_0}{2}t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7 \frac{f_0}{2}t)$$

Аналогичное разложение для сигнала с периодом  $T_{max}$ :

$$A_0 \sin(2\pi \frac{f_0}{14}t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3 \frac{f_0}{14}t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5 \frac{f_0}{14}t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7 \frac{f_0}{14}t)$$

Получаем спектр частот  $f_0/14...3.5f_0$



Пропускная способность: 10 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	0 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	17500000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	357142 Гц
Необходимая полоса пропускания	357142 : 17500000 Гц
Пропускная способность: 100 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	0 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	175000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	3571428 Гц
Необходимая полоса пропускания	3571428 : 175000000 Гц
Пропускная способность: 1000 Mbps	
Частота основной гармоники сигнала 11111...	0 Гц
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении	1750000000 Гц
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении	35714285 Гц
Необходимая полоса пропускания	35714285 : 1750000000 Гц

## Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения

TODO: разобраться как его посчитать

## 4.6 Сравнительный анализ физического кодирования

TODO: сравнительно проанализировать

# 5 Логическое кодирование

## 5.1 4В/5В

Таблица кодирования 4В/5В:

0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Исходное сообщение:

11010001 11100000 11110000 11100110 11100101 11100010 11110001  
11101010 11101000 11101001 00100000 11001000 00101110 11000000  
00101110

Закодированное сообщение:

11011010 01111001 11101110 11111011 10001110 11100010 11111001 01001110 10100111  
10010110 11100100 10111001 00111010 01111011 01010010 10100111 00110101 11101010  
011100