

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет ИТМО»

*Факультет Программной инженерии и компьютерной техники*

**Лабораторная работа №1**  
Телекоммуникационные системы

Вариант – Обляшевский С. А.

Группа: Р33312

Выполнил: Обляшевский С. А.

Проверил(-а):

Алиев Т. И.

Санкт-Петербург, 2023

## Выполнение:

### 1. Исходное сообщение и его представление в шестнадцатеричном и двоичном виде, длина исходного сообщения (в байтах и битах):

Исходное сообщение: Обляшевский С. А.

Шестнадцатеричный код: CE E1 EB FF F8 E5 E2 F1 EA E8 E9 20 D1 2E 20 C0 2E

Двоичный код: 11001110 11100001 11101011 11111111 11111000 11100101 11100010

11110001 11101010 11101000 11101001 00100000 11010001 00101110 00100000

11000000 00101110

Длина сообщения: 17 байт (136 бит)

### 2. Временные диаграммы для рассмотренных способов физического кодирования:

#### 2.1. Потенциальный код (без возврата к нулю - NRZ):



Оценка верхней и нижней границ частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Верхнее: пусть  $C = 10$  Мбит/с, тогда  $t = \frac{1}{C} = 100$  нс;  $T = 2t \Rightarrow f_B = \frac{C}{2} = 5$  МГц

Нижнее:  $T = 8t \Rightarrow f_H = 1,25$  МГц

$S = f_B - f_H = 5 - 1,25 = 3,75$  МГц

4 гармоники:  $S = 7f_B - f_H = 35 - 1,25 = 33,75$  МГц

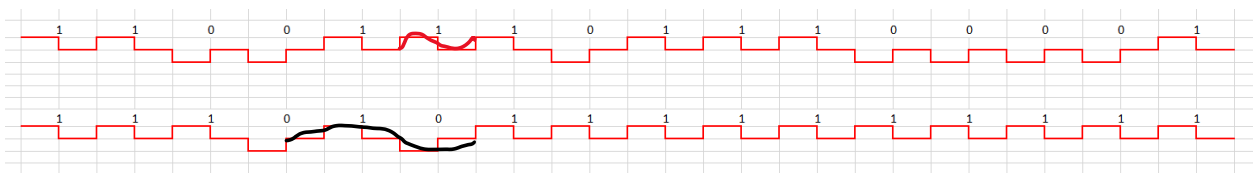
Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = \frac{(4 * 5 + 2 * 2,5 + 2 * 1,67 + 2 * 1,25 + 1 * 0,5)}{11} = 2,84(90) \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$F > S \Rightarrow F > 33,75 \text{ МГц} \Leftrightarrow F = 34 \text{ МГц}$

#### 2.2. Биполярный импульсный код (с возвратом к нулю - RZ):



Оценка верхней и нижней границ частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Верхнее: пусть  $C = 10$  Мбит/с, тогда  $t = \frac{1}{C} = 100$  нс;  $T = t \Rightarrow f_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{t} = C = 10$  МГц

Нижнее:  $T = 2,5t \Rightarrow f_H = 4$  МГц

$S = f_B - f_H = 10 - 4 = 6$  МГц

4 гармоники:  $S = 7f_B - f_H = 70 - 4 = 66$  МГц

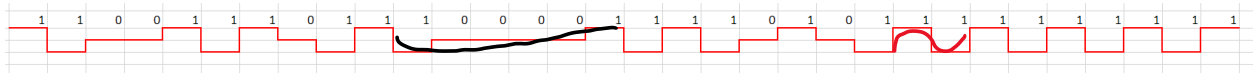
Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = \frac{36 * 10 + 14 * 5}{50} = 8,6 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$F > S \Rightarrow F > 66 \text{ МГц} \Leftrightarrow F = 67 \text{ МГц}$

### 2.3. Биполярный код AMI:



Оценка верхней и нижней границ частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Верхнее: пусть  $C = 10$  Мбит/с, тогда  $t = \frac{1}{C} = 100$  нс;  $T = 2t \Rightarrow f_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t} = C = 5$  МГц

Нижнее:  $T = 12t \Rightarrow f_H = 0,8(3)$  МГц

$S = f_B - f_H = 5 - 0,8(3) = 4,1(6)$  МГц

4 гармоники:  $S = 7f_B - f_H = 35 - 0,8(3) = 34,1(6)$  МГц

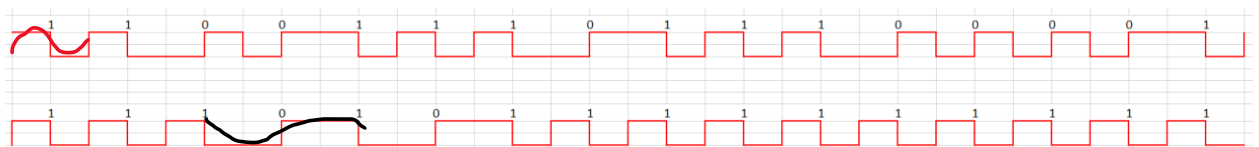
Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = \frac{16 * 5 + 2 * \frac{5}{3} * \frac{5}{3} + 1 * 2,5 + 1 * 0,83}{20, (6)} = 4,247 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$F > S \Rightarrow F > 34,1(6) \text{ МГц} \Leftrightarrow F = 35 \text{ МГц}$

### 2.4. Манчестерский код:



Оценка верхней и нижней границ частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Верхнее: пусть  $C = 10$  Мбит/с, тогда  $t = \frac{1}{C} = 100$  нс;  $T = t \Rightarrow f_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{t} = C = 10$  МГц

Нижнее:  $T = 2t \Rightarrow f_H = 5$  МГц

$S = f_B - f_H = 10 - 5 = 5$  МГц

4 гармоники:  $S = 7f_B - f_H = 70 - 5 = 65$  МГц

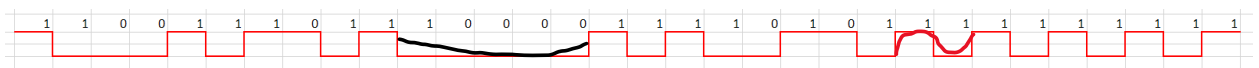
Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = (44 * 10 + 10 * 5) / 54 = 9,07(407) \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$F > S \Rightarrow F > 65 \text{ МГц} \Leftrightarrow F = 66 \text{ МГц}$

### 2.5. Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI):



Оценка верхней и нижней границ частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Верхнее: пусть  $C = 10$  Мбит/с, тогда  $t = \frac{1}{C} = 100$  нс;  $T = 2t \Rightarrow f_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 5$  МГц

Нижнее:  $T = 10t \Rightarrow f_H = 1$  МГц

$S = f_B - f_H = 5 - 1 = 4$  МГц

4 гармоники:  $S = 7f_B - f_H = 35 - 1 = 34$  МГц

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = \frac{18 * 5 + 3 * 2,5 + 1 * 1,67 + 1 * 1}{23} = 4,355217 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$F > S \Rightarrow F > 34 \text{ МГц} \leq F = 35 \text{ МГц}$

Сравнительные таблицы:

	$f_B$	$f_H$	$f_{cp}$	F
NRZ	35	1,25	2,84(90)	34
RZ	70	4	8,6	67
AMI	35	0,8(3)	4,247	35
M2	70	5	9,07(407)	66
NRZI	35	1	4,355217	35

Параметр	NRZ	RZ	AMI	M2	NRZI
Малый спектр сигнала	+	-	+	-	+
Низкая стоимость	+	-	-	+	+
Обнаружение ошибок	-	+	+	-	+
Отсутствие постоянной составляющей	-	+	+/-	+	-
Самосинхронизация	-	+	-	+	-

На основании таблиц, в качестве наилучших методов физического кодирования следует выделить следующие: M2 и NRZI. Они оба обладают низкой стоимостью реализации, так как в них надо поддерживать лишь 2 уровня сигнала. Считаю этот пункт важнейшим в процессе выбора (NRZ не попал в список из-за малого кол-ва достоинств). В остальных аспектах два данных метода дополняют друг друга. У NRZ эффективное использование пропускной способности канала, а избыточность кода позволяет обнаруживать ошибки при передаче. Но присутствие постоянной составляющей может исказить сигнал в процессе передачи, что затруднит его обработку, а отсутствие самосинхронизации может привести к сдвигу сигнала относительно ожидаемого момента его прихода, что чревато ошибками в распознавании и интерпретации, затруднению синхронизации данного сигнала с другими. M2 же, наоборот, менее эффективно использует пропускную способность канала и не имеет избыточности для обнаружения ошибок, но при этом в нем отсутствует постоянная составляющая, также есть самосинхронизация. Из всех рассмотренных мною методов физического кодирования, NRZI и M2 являются, по моему мнению, лучшими. Выбор конкретного способа зависит от определенных ситуаций и предпочтений.

### 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения:

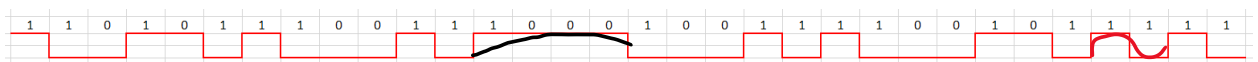
Двоичный код: 1101 0111 0011 1000 1001 1110 0101 1111 1011 1101 1110 1100 1011 1000 1011 1110 0101 0011 1010 1001 1110 0101 1011 1001 0010 1110 0100 1110 1001 1110 1101 1010 0110 1001 1100 1010 0111 1011 0101 1110 1010 0111 00

Шестнадцатеричный код: D7 38 9E 5F BD EC B8 BE 53 A9 E5 B9 2E 4E 9E DA 69 CA 7B 5E A7 0

Длина сообщения: 21,25 байт (170 бит)

Избыточность:  $\left( \left( \frac{170}{136} \right) - 1 \right) * 100\% = 25\%$

3.1. Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI):



Оценка верхней и нижней границ частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала:

Верхнее: пусть  $C = 10$  Мбит/с, тогда  $t = \frac{1}{C} = 100$  нс;  $T = 2t \Rightarrow f_v = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 5$  МГц

Нижнее:  $T = 8t \Rightarrow f_n = 1,25$  МГц

$S = f_v - f_n = 5 - 1,25 = 3,75$  МГц

4 гармоники:  $S = 7f_v - f_n = 35 - 1,25 = 33,75$  МГц

Среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала:

$$f_{cp} = \frac{13 * 5 + 3 * 2,5 + 3 * 1,67 + 1 * 1,25}{20} = 3,938 \text{ МГц}$$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$F > S \Rightarrow F > 33,75 \text{ МГц} \Leftrightarrow F = 34 \text{ МГц}$

### 4. Скремблирование исходного сообщения:

Исходное сообщение: 11001110 11100001 11101011 11111111 11111000 11100101 11100010 11110001 11101010 11101000 11101001 00100000 11010001 00101110 00100000 11000000 00101110

$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$

Полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения:

$$F > S \Rightarrow F > 33,75 \text{ МГц} \Leftrightarrow F = 34 \text{ МГц}$$

Сравнительный анализ результатов логического кодирования:

Метод	Достоинства	Недостатки
4B/5B (NRZI)	Нет постоянной составляющей Есть обнаружение ошибок (но в NRZI оно и так есть)	Избыточность кодирования
Скремблирование (NRZI)	Отсутствие избыточности	Не гарантирует отсутствие постоянной составляющей Отсутствие обнаружения ошибок (но оно есть NRZI)

Для передачи сообщения считаю разумным выбрать метод 4B/5B. Хотя этот метод и избыточен, сообщение само по себе является коротким, поэтому избыточность мала, но при этом устраняется проблема постоянной составляющей. Метод скремблирования для исходного сообщения имеет меньшую постоянную составляющую, чем методы физического кодирования, но ее уменьшение не ощутимо в сравнении с привнесенной дополнительной сложностью кодирования.

## 5. Сравнительный анализ результатов кодирования:

Метод	Комментарий
Манчестерский код	+ Имеет 2 уровня сигнала + Нет постоянной составляющей + Самосинхронизация - Широкий спектр сигнала - Нет обработки ошибок
NRZI	+ Имеет 2 уровня сигнала + Обработка ошибок + Малый спектр сигнала - Есть постоянная составляющая - Нет самосинхронизации
Избыточное кодирование	+ Меньший спектр + Обработка ошибок + Простая реализация - Избыточность (больше бит -> меньше пропускная способность) - Дополнительная сложность при кодировании
Скремблирование	+ Нет избыточности + Постоянная составляющая в основном меньше (не гарантируется) - Дополнительная сложность при кодировании - Нет обработки ошибок

Предпочтительным алгоритмом кодирования в рамках данной работы я считаю избыточное кодирование, так как оно приносит такие плюсы, как уменьшение спектра сигнала, устранение проблемы постоянной составляющей и обработку ошибок при их появлении. Также, данный способ кодирования реализовать проще (а значит, дешевле), чем скремблирование. Да, хоть он и имеет такой недочет, как избыточность, а значит, уменьшение пропускной способности, этот минус с лихвой компенсируется вышеперечисленными достоинствами.