

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования "Национальный Исследовательский Университет ИТМО"  
Мегафакультет Компьютерных Технологий и Управления  
Факультет Программной Инженерии и Компьютерной Техники



**Домашнее задание 1**  
по дисциплине  
**Компьютерные сети**

Выполнил Студент группы Р33102  
**Лапин Алексей Александрович**  
Преподаватель:  
**Авксентьева Елена Юрьевна**

г. Санкт-Петербург  
2023г.

# Содержание

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Часть 1. Методы физического и логического кодирования</b>          | <b>3</b>  |
| 1.1      | Этап 1. Формирование сообщения . . . . .                              | 3         |
| 1.2      | Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения . . . . .          | 4         |
| 1.2.1    | Манчестерский код . . . . .   | 5         |
| 1.2.2    | NRZ код . . . . .   | 6         |
| 1.2.3    | AMI код . . . . .   | 6         |
| 1.3      | Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения . . . | 7         |
| 1.4      | Этап 4. Скремблирование исходного сообщения . . . . .                 | 9         |
| 1.5      | Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования . . . . .        | 16        |
| <b>2</b> | <b>Часть 2. Передача кодированного сообщения по каналу связи</b>      | <b>17</b> |

## Цель работы:

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

## 1 Часть 1. Методы физического и логического кодирования

### 1.1 Этап 1. Формирование сообщения

исходное сообщение: Лапин Алексей Александрович  
в шестнадцатеричном коде:

CB E0 EF E8 ED 20

C0 EB E5 EA F1 E5 E9 20

C0 EB E5 EA F1 E0 ED E4 F0 EE E2 E8 F7

в двоичном коде:

Л cb 11001011

а e0 11100000

п ef 11101111

и e8 11101000

н ed 11101101

20 00100000

А c0 11000000

л eb 11101011

е e5 11100101

к ea 11101010

с f1 11110001

е e5 11100101

й e9 11101001

20 00100000

А c0 11000000

л eb 11101011

е e5 11100101

к ea 11101010

с f1 11110001

а e0 11100000

н ed 11101101

д e4 11100100

р f0 11110000

о ee 11101110

в e2 11100010

и e8 11101000

ч f7 11110111

длина сообщения: 27 байт (216 бит)

## 1.2 Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения

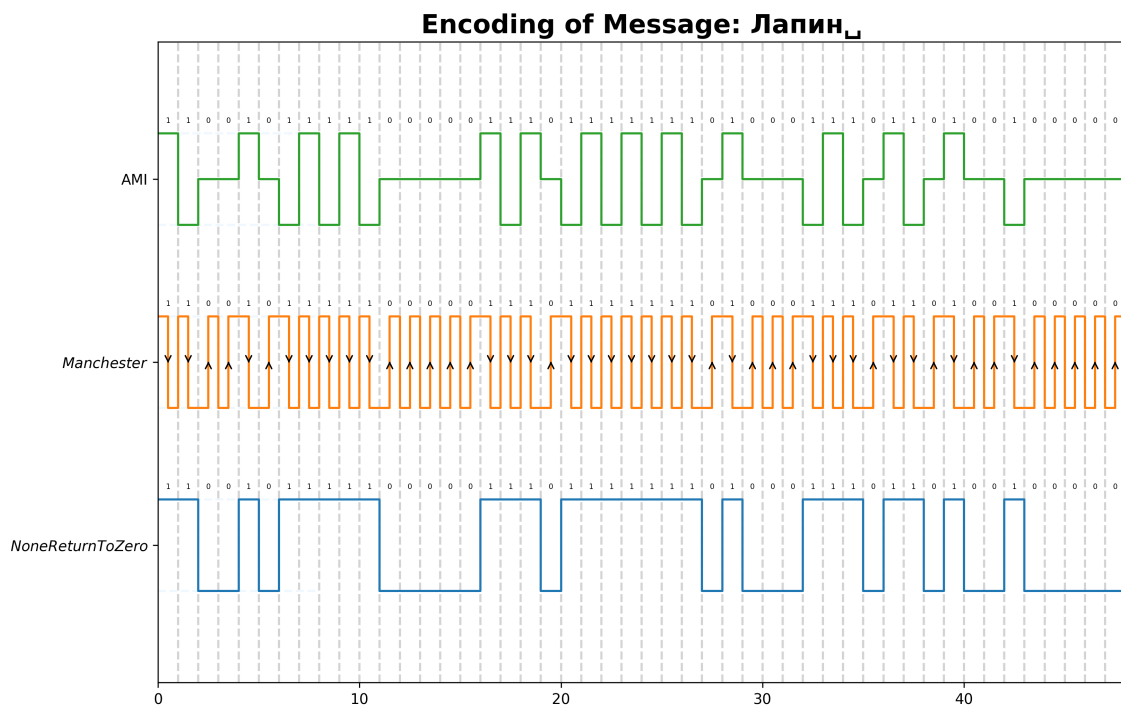


Рис. 1: Физическое кодирование первой части сообщения

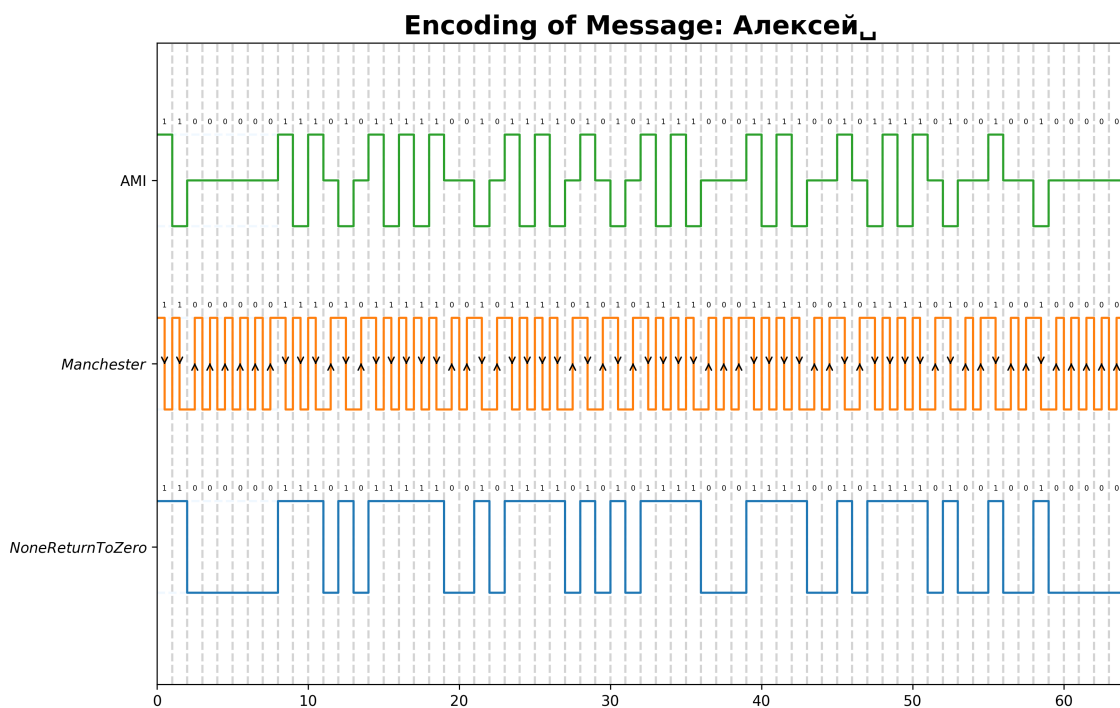


Рис. 2: Физическое кодирование второй части сообщения

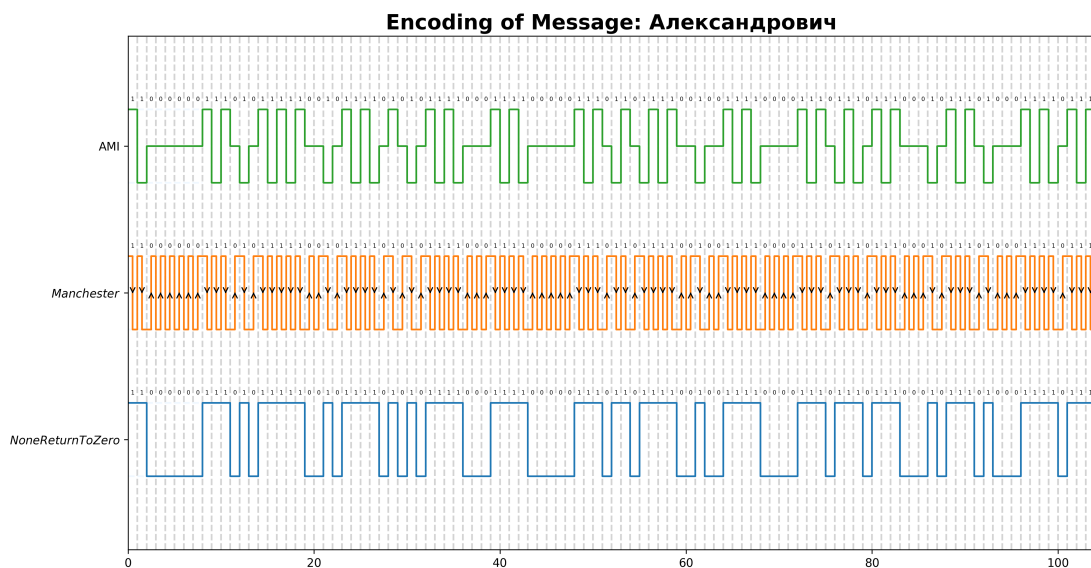


Рис. 3: Физическое кодирование третьей части сообщения

### 1.2.1 Манчестерский код

Верхняя граница частот:  $f_{\text{в}} = C = 100 \text{ МГц}$

Нижняя граница частот:  $f_{\text{н}} = \frac{C}{2} = 50 \text{ МГц}$

Спектр сигнала:  $S = f_{\text{Б}} - f_{\text{H}} = 100 - 50 = 50 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты:  $f_{\text{ср}} = \frac{244 \cdot f_0 + 188 \cdot \frac{f_0}{2}}{432} \approx 78.24 \text{ МГц}$

Середина спектра:  $f_{1/2} = \frac{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}}{2} = \frac{100 + 50}{2} = 75 \text{ МГц}$

Спектр сигнала:  $S = 7 \cdot f_0 - \frac{f_0}{2} = 100 \cdot (7 - 0.5) = 650 \text{ МГц}$

Полоса пропускания:  $F = 650 \text{ МГц}$

### 1.2.2 NRZ код

Fundamental frequency:  $f_0 = \frac{C}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ МГц}$

Верхняя граница частот:  $T = 2t$ ,  $t = \frac{1}{C} \rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 50 \text{ МГц}$

Нижняя граница частот:  $f_{\text{н}} = \frac{f_0}{7} = \frac{50}{7} \approx 7.143 \text{ МГц}$

Спектр сигнала:  $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 50 - 7.143 = 42.857 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты:  $f_{\text{ср}} = \frac{45 \cdot f_0 + 28 \cdot \frac{f_0}{2} + 45 \cdot \frac{f_0}{3} + 44 \cdot \frac{f_0}{4} + 35 \cdot \frac{f_0}{5} + 12 \cdot \frac{f_0}{6} + 7 \cdot \frac{f_0}{7}}{216} \approx 21.99 \text{ МГц}$

Середина спектра:  $f_{1/2} = \frac{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}}{2} = \frac{50 + 7.143}{2} = 28.571 \text{ МГц}$

Спектр сигнала:  $S = 7 \cdot f_0 - \frac{f_0}{7} = 50 \cdot \left(7 - \frac{1}{7}\right) = 342.857 \text{ МГц}$

Полоса пропускания:  $F = 343 \text{ МГц}$

### 1.2.3 AMI код

Fundamental frequency:  $f_0 = \frac{C}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ МГц}$

Верхняя граница частот:  $T = 2t$ ,  $t = \frac{1}{C} \rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 50 \text{ МГц}$

Нижняя граница частот:  $f_{\text{н}} = \frac{f_0}{6} = \frac{50}{6} \approx 8.334 \text{ МГц}$

Спектр сигнала:  $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 50 - 8.334 = 41.666 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты:  $f_{\text{ср}} = \frac{147 \cdot f_0 + 18 \cdot \frac{f_0}{2} + 15 \cdot \frac{f_0}{3} + 4 \cdot \frac{f_0}{4} + 20 \cdot \frac{f_0}{5} + 12 \cdot \frac{f_0}{6}}{216} \approx 38.889 \text{ МГц}$

Середина спектра:  $f_{1/2} = \frac{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}}{2} = \frac{50 + 8.334}{2} = 29.167 \text{ МГц}$

Спектр сигнала:  $S = 7 \cdot f_0 - \frac{f_0}{6} = 50 \cdot \left(7 - \frac{1}{6}\right) = 341.667 \text{ МГц}$

Полоса пропускания:  $F = 342 \text{ МГц}$

| Метод кодирования | Спектор сигнала (МГц) | Само синхронизация | Постоянная составляющая | Обнаружение ошибок | Стоимость реализации |
|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|
| M2                | 50                    | есть               | нет                     | есть               | 2                    |
| NRZ               | 43                    | нет                | есть                    | нет                | 1                    |
| AMI               | 42                    | нет                | есть                    | есть               | 3                    |

В результате сравнения можно сделать вывод, что лучшим способом кодирования является M2. Он обладает самосинхронизацией, обнаружением ошибок, требует всего

два уровня сигнала и не имеет постоянной составляющей. Однако есть и недостаток в большем спектре сигнала по сравнению с NRZ и AMI.

На втором месте, я бы взял AMI, так как он обладает обнаружением ошибок и самым маленьким спектром сигнала.

### 1.3 Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения

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

В двоичном коде: 110101011111100111101110011101111001001011100110111010011110  
110101111011100101111110001011111001011011101010011110001011  
111001001110100111101101011110111001011111100010111110010110  
111010100111100111101110011011111000101011101111101110011100  
111001010011100100101110101111

В шестнадцатеричном коде: 0x357e7b9de4b9ba7b5ee5f8be5ba9e2f93a7b5ee5f8be5ba9  
e7b9be2bbe7394e4baf

Длина сообщения: 33.75 байт (270 бит)

Избыточность: 25%







$$B_{14} = A_{14} = 0$$

$$B_{15} = A_{15} = 0$$

$$B_{16} = A_{16} \oplus B_1 = 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{17} = A_{17} \oplus B_2 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{18} = A_{18} \oplus B_3 \oplus B_2 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B_{19} = A_{19} \oplus B_4 \oplus B_3 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B_{20} = A_{20} \oplus B_5 \oplus B_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{21} = A_{21} \oplus B_6 \oplus B_5 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B_{22} = A_{22} \oplus B_7 \oplus B_6 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B_{23} = A_{23} \oplus B_8 \oplus B_7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{24} = A_{24} \oplus B_9 \oplus B_8 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{25} = A_{25} \oplus B_{10} \oplus B_9 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{26} = A_{26} \oplus B_{11} \oplus B_{10} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{27} = A_{27} \oplus B_{12} \oplus B_{11} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B_{28} = A_{28} \oplus B_{13} \oplus B_{12} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B_{29} = A_{29} \oplus B_{14} \oplus B_{13} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B_{30} = A_{30} \oplus B_{15} \oplus B_{14} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B_{31} = A_{31} \oplus B_{16} \oplus B_{15} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{32} = A_{32} \oplus B_{17} \oplus B_{16} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_{33} = A_{33} \oplus B_{18} \oplus B_{17} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B_{34} = A_{34} \oplus B_{19} \oplus B_{18} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B_{35} = A_{35} \oplus B_{20} \oplus B_{19} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{36} = A_{36} \oplus B_{21} \oplus B_{20} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{37} = A_{37} \oplus B_{22} \oplus B_{21} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B_{38} = A_{38} \oplus B_{23} \oplus B_{22} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B_{39} = A_{39} \oplus B_{24} \oplus B_{23} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_{40} = A_{40} \oplus B_{25} \oplus B_{24} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{41} = A_{41} \oplus B_{26} \oplus B_{25} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_{42} = A_{42} \oplus B_{27} \oplus B_{26} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{43} = A_{43} \oplus B_{28} \oplus B_{27} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B_{44} = A_{44} \oplus B_{29} \oplus B_{28} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{45} = A_{45} \oplus B_{30} \oplus B_{29} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{46} = A_{46} \oplus B_{31} \oplus B_{30} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{47} = A_{47} \oplus B_{32} \oplus B_{31} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{48} = A_{48} \oplus B_{33} \oplus B_{32} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B_{49} = A_{49} \oplus B_{34} \oplus B_{33} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$\begin{aligned}
B_{50} &= A_{50} \oplus B_{35} \oplus B_{34} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{51} &= A_{51} \oplus B_{36} \oplus B_{35} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{52} &= A_{52} \oplus B_{37} \oplus B_{36} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{53} &= A_{53} \oplus B_{38} \oplus B_{37} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{54} &= A_{54} \oplus B_{39} \oplus B_{38} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{55} &= A_{55} \oplus B_{40} \oplus B_{39} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{56} &= A_{56} \oplus B_{41} \oplus B_{40} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{57} &= A_{57} \oplus B_{42} \oplus B_{41} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{58} &= A_{58} \oplus B_{43} \oplus B_{42} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{59} &= A_{59} \oplus B_{44} \oplus B_{43} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{60} &= A_{60} \oplus B_{45} \oplus B_{44} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{61} &= A_{61} \oplus B_{46} \oplus B_{45} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{62} &= A_{62} \oplus B_{47} \oplus B_{46} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{63} &= A_{63} \oplus B_{48} \oplus B_{47} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{64} &= A_{64} \oplus B_{49} \oplus B_{48} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{65} &= A_{65} \oplus B_{50} \oplus B_{49} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{66} &= A_{66} \oplus B_{51} \oplus B_{50} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{67} &= A_{67} \oplus B_{52} \oplus B_{51} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{68} &= A_{68} \oplus B_{53} \oplus B_{52} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{69} &= A_{69} \oplus B_{54} \oplus B_{53} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{70} &= A_{70} \oplus B_{55} \oplus B_{54} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{71} &= A_{71} \oplus B_{56} \oplus B_{55} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{72} &= A_{72} \oplus B_{57} \oplus B_{56} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{73} &= A_{73} \oplus B_{58} \oplus B_{57} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{74} &= A_{74} \oplus B_{59} \oplus B_{58} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{75} &= A_{75} \oplus B_{60} \oplus B_{59} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{76} &= A_{76} \oplus B_{61} \oplus B_{60} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{77} &= A_{77} \oplus B_{62} \oplus B_{61} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{78} &= A_{78} \oplus B_{63} \oplus B_{62} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{79} &= A_{79} \oplus B_{64} \oplus B_{63} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{80} &= A_{80} \oplus B_{65} \oplus B_{64} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{81} &= A_{81} \oplus B_{66} \oplus B_{65} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{82} &= A_{82} \oplus B_{67} \oplus B_{66} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{83} &= A_{83} \oplus B_{68} \oplus B_{67} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{84} &= A_{84} \oplus B_{69} \oplus B_{68} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{85} &= A_{85} \oplus B_{70} \oplus B_{69} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{86} &= A_{86} \oplus B_{71} \oplus B_{70} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{87} &= A_{87} \oplus B_{72} \oplus B_{71} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{88} &= A_{88} \oplus B_{73} \oplus B_{72} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{89} &= A_{89} \oplus B_{74} \oplus B_{73} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{90} &= A_{90} \oplus B_{75} \oplus B_{74} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{91} &= A_{91} \oplus B_{76} \oplus B_{75} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{92} &= A_{92} \oplus B_{77} \oplus B_{76} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{93} &= A_{93} \oplus B_{78} \oplus B_{77} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{94} &= A_{94} \oplus B_{79} \oplus B_{78} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{95} &= A_{95} \oplus B_{80} \oplus B_{79} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{96} &= A_{96} \oplus B_{81} \oplus B_{80} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{97} &= A_{97} \oplus B_{82} \oplus B_{81} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{98} &= A_{98} \oplus B_{83} \oplus B_{82} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{99} &= A_{99} \oplus B_{84} \oplus B_{83} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{100} &= A_{100} \oplus B_{85} \oplus B_{84} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{101} &= A_{101} \oplus B_{86} \oplus B_{85} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{102} &= A_{102} \oplus B_{87} \oplus B_{86} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{103} &= A_{103} \oplus B_{88} \oplus B_{87} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{104} &= A_{104} \oplus B_{89} \oplus B_{88} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{105} &= A_{105} \oplus B_{90} \oplus B_{89} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{106} &= A_{106} \oplus B_{91} \oplus B_{90} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{107} &= A_{107} \oplus B_{92} \oplus B_{91} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{108} &= A_{108} \oplus B_{93} \oplus B_{92} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{109} &= A_{109} \oplus B_{94} \oplus B_{93} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{110} &= A_{110} \oplus B_{95} \oplus B_{94} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{111} &= A_{111} \oplus B_{96} \oplus B_{95} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{112} &= A_{112} \oplus B_{97} \oplus B_{96} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{113} &= A_{113} \oplus B_{98} \oplus B_{97} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{114} &= A_{114} \oplus B_{99} \oplus B_{98} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{115} &= A_{115} \oplus B_{100} \oplus B_{99} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{116} &= A_{116} \oplus B_{101} \oplus B_{100} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{117} &= A_{117} \oplus B_{102} \oplus B_{101} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{118} &= A_{118} \oplus B_{103} \oplus B_{102} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{119} &= A_{119} \oplus B_{104} \oplus B_{103} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{120} &= A_{120} \oplus B_{105} \oplus B_{104} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{121} &= A_{121} \oplus B_{106} \oplus B_{105} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{122} &= A_{122} \oplus B_{107} \oplus B_{106} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{123} &= A_{123} \oplus B_{108} \oplus B_{107} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{124} &= A_{124} \oplus B_{109} \oplus B_{108} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{125} &= A_{125} \oplus B_{110} \oplus B_{109} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{126} &= A_{126} \oplus B_{111} \oplus B_{110} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{127} &= A_{127} \oplus B_{112} \oplus B_{111} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{128} &= A_{128} \oplus B_{113} \oplus B_{112} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{129} &= A_{129} \oplus B_{114} \oplus B_{113} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{130} &= A_{130} \oplus B_{115} \oplus B_{114} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{131} &= A_{131} \oplus B_{116} \oplus B_{115} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{132} &= A_{132} \oplus B_{117} \oplus B_{116} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{133} &= A_{133} \oplus B_{118} \oplus B_{117} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{134} &= A_{134} \oplus B_{119} \oplus B_{118} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{135} &= A_{135} \oplus B_{120} \oplus B_{119} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{136} &= A_{136} \oplus B_{121} \oplus B_{120} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{137} &= A_{137} \oplus B_{122} \oplus B_{121} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{138} &= A_{138} \oplus B_{123} \oplus B_{122} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{139} &= A_{139} \oplus B_{124} \oplus B_{123} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{140} &= A_{140} \oplus B_{125} \oplus B_{124} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{141} &= A_{141} \oplus B_{126} \oplus B_{125} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{142} &= A_{142} \oplus B_{127} \oplus B_{126} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{143} &= A_{143} \oplus B_{128} \oplus B_{127} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{144} &= A_{144} \oplus B_{129} \oplus B_{128} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{145} &= A_{145} \oplus B_{130} \oplus B_{129} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{146} &= A_{146} \oplus B_{131} \oplus B_{130} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{147} &= A_{147} \oplus B_{132} \oplus B_{131} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{148} &= A_{148} \oplus B_{133} \oplus B_{132} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{149} &= A_{149} \oplus B_{134} \oplus B_{133} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{150} &= A_{150} \oplus B_{135} \oplus B_{134} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{151} &= A_{151} \oplus B_{136} \oplus B_{135} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{152} &= A_{152} \oplus B_{137} \oplus B_{136} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{153} &= A_{153} \oplus B_{138} \oplus B_{137} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{154} &= A_{154} \oplus B_{139} \oplus B_{138} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{155} &= A_{155} \oplus B_{140} \oplus B_{139} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{156} &= A_{156} \oplus B_{141} \oplus B_{140} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{157} &= A_{157} \oplus B_{142} \oplus B_{141} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{158} &= A_{158} \oplus B_{143} \oplus B_{142} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{159} &= A_{159} \oplus B_{144} \oplus B_{143} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{160} &= A_{160} \oplus B_{145} \oplus B_{144} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{161} &= A_{161} \oplus B_{146} \oplus B_{145} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{162} &= A_{162} \oplus B_{147} \oplus B_{146} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{163} &= A_{163} \oplus B_{148} \oplus B_{147} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{164} &= A_{164} \oplus B_{149} \oplus B_{148} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{165} &= A_{165} \oplus B_{150} \oplus B_{149} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{166} &= A_{166} \oplus B_{151} \oplus B_{150} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{167} &= A_{167} \oplus B_{152} \oplus B_{151} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{168} &= A_{168} \oplus B_{153} \oplus B_{152} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{169} &= A_{169} \oplus B_{154} \oplus B_{153} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{170} &= A_{170} \oplus B_{155} \oplus B_{154} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{171} &= A_{171} \oplus B_{156} \oplus B_{155} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{172} &= A_{172} \oplus B_{157} \oplus B_{156} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{173} &= A_{173} \oplus B_{158} \oplus B_{157} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{174} &= A_{174} \oplus B_{159} \oplus B_{158} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{175} &= A_{175} \oplus B_{160} \oplus B_{159} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{176} &= A_{176} \oplus B_{161} \oplus B_{160} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{177} &= A_{177} \oplus B_{162} \oplus B_{161} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{178} &= A_{178} \oplus B_{163} \oplus B_{162} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{179} &= A_{179} \oplus B_{164} \oplus B_{163} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{180} &= A_{180} \oplus B_{165} \oplus B_{164} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{181} &= A_{181} \oplus B_{166} \oplus B_{165} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{182} &= A_{182} \oplus B_{167} \oplus B_{166} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{183} &= A_{183} \oplus B_{168} \oplus B_{167} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{184} &= A_{184} \oplus B_{169} \oplus B_{168} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{185} &= A_{185} \oplus B_{170} \oplus B_{169} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{186} &= A_{186} \oplus B_{171} \oplus B_{170} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{187} &= A_{187} \oplus B_{172} \oplus B_{171} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{188} &= A_{188} \oplus B_{173} \oplus B_{172} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{189} &= A_{189} \oplus B_{174} \oplus B_{173} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{190} &= A_{190} \oplus B_{175} \oplus B_{174} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{191} &= A_{191} \oplus B_{176} \oplus B_{175} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{192} &= A_{192} \oplus B_{177} \oplus B_{176} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{193} &= A_{193} \oplus B_{178} \oplus B_{177} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{194} &= A_{194} \oplus B_{179} \oplus B_{178} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{195} &= A_{195} \oplus B_{180} \oplus B_{179} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{196} &= A_{196} \oplus B_{181} \oplus B_{180} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{197} &= A_{197} \oplus B_{182} \oplus B_{181} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{198} &= A_{198} \oplus B_{183} \oplus B_{182} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{199} &= A_{199} \oplus B_{184} \oplus B_{183} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{200} &= A_{200} \oplus B_{185} \oplus B_{184} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{201} &= A_{201} \oplus B_{186} \oplus B_{185} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{202} &= A_{202} \oplus B_{187} \oplus B_{186} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{203} &= A_{203} \oplus B_{188} \oplus B_{187} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{204} &= A_{204} \oplus B_{189} \oplus B_{188} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{205} &= A_{205} \oplus B_{190} \oplus B_{189} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{206} &= A_{206} \oplus B_{191} \oplus B_{190} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{207} &= A_{207} \oplus B_{192} \oplus B_{191} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{208} &= A_{208} \oplus B_{193} \oplus B_{192} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{209} &= A_{209} \oplus B_{194} \oplus B_{193} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{210} &= A_{210} \oplus B_{195} \oplus B_{194} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{211} &= A_{211} \oplus B_{196} \oplus B_{195} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{212} &= A_{212} \oplus B_{197} \oplus B_{196} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{213} &= A_{213} \oplus B_{198} \oplus B_{197} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{214} &= A_{214} \oplus B_{199} \oplus B_{198} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{215} &= A_{215} \oplus B_{200} \oplus B_{199} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{216} &= A_{216} \oplus B_{201} \oplus B_{200} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0
\end{aligned}$$

Получившиеся сообщение: 1 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0  
0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0  
1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1  
0 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1  
0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0

В шестнадцатеричном виде: cbe0efeb094390acc9a723fa061b6cf9fb9c2efef80865ebfac105

Длина сообщения: 216 бит (27 байт)

Максимальное количество повторяющихся символов: 4

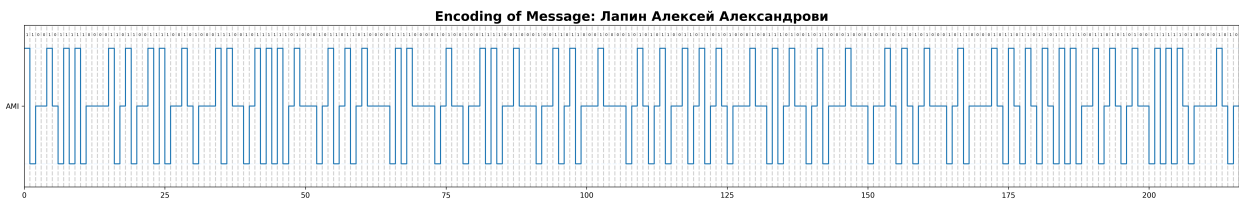


Рис. 7: Скремблирование АМІ кода

Верхняя граница частот:  $f_v = \frac{C}{2} = 50 \text{ МГц}$

Нижняя граница частот:  $f_n = \frac{f_0}{4} = 12.5 \text{ МГц}$

Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{140 \cdot f_0 + 14 \cdot 2 \cdot \frac{f_0}{2} + 8 \cdot 3 \cdot \frac{f_0}{3} + 6 \cdot 4 \cdot \frac{f_0}{4}}{216} \approx 38.89 \text{ МГц}$

Середина спектра:  $f_{1/2} = \frac{f_v + f_n}{2} = \frac{50 + 12.5}{2} = 31.25 \text{ МГц}$

Спектр сигнала:  $S = f_v - f_n = 50 - 12.5 = 37.5 \text{ МГц}$

Полоса пропускания:  $F = 38 \text{ МГц}$

Сравнивая с АМІ кодом в этапе 2, можно сказать, что спектр сигнала немного уменьшился. Также мы уменьшили постоянную составляющую.

## 1.5 Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования

| Метод кодирования | Спектр сигнала (МГц)    | Полезная пропускная способность | Само синхронизация | Постоянная составляющая | Обнаружение ошибок        | Дополнительные затраты                     |
|-------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|--|
| Избыточное 4В/5В  | Немного уменьшился (38) | Уменьшается                     | есть               | Уменьшается (3)         | есть более сильное        | таблица перекодировки                      |
| Скремблирование   | Немного уменьшился (34) | Сохраняется                     | нет                | Уменьшается (4)         | есть от оригинального АМІ | алгоритм скремблирования-дескремблирования |
| Оригинальный АМІ  | 42                      | -                               | нет                | есть (6)                | есть                      | -  |

Рис. 8: Сравнительная таблица результатов кодирования

В результате мы видим, что каждый из методов логического кодирования обладает своими плюсами и минусами.

В избыточном кодировании мы уменьшаем спектр сигнала, получаем свойство самосинхронизации, и обнаружение ошибок за счет запрещенных комбинаций единиц и нулей (16 комбинаций в 4В/5В). Также реализация является довольно простой (таблица перекодировки). Но у нас уменьшается полезная пропускная способность из-за добавления дополнительных битов.

В скремблировании у нас иногда может уменьшаться спектр сигнала, также у нас сохраняется пропускная способность и уменьшается постоянная составляющая. Но у нас нет свойства самосинхронизации и обнаружения ошибок только на последовательные единицы от оригинального АМІ. Кроме того реализация скремблирования требует больших затрат, чем в избыточном кодировании.



## 2 Часть 2. Передача кодированного сообщения по каналу связи

| Шестнадцатеричный код сообщения:                                      |                 |     | Метод кодирования |      |      |       |        |
|---|-----------------|-----|-------------------|------|------|-------|--------|
|   |                 |     | NRZ               | RZ   | M2   | 4B/5B | Scramb |
| Полоса пропускания идеального канала связи                            | Номера гармоник | min | 6                 | 6    | 30   | 8     | 6      |
|   |                 | max | 20                | 42   | 44   | 42    | 22     |
|   | Частоты, МГц    | min | 1.3               | 1.3  | 6.3  | 1.3   | 1.3    |
|   |                 | max | 4.2               | 8.8  | 9.2  | 7     | 4.6    |
| Минимальная полоса пропускания идеального канала связи, МГц           |                 |     | 2.9               | 7.5  | 2.9  | 5.7   | 3.3    |
| Уровень шума  |                 | max | 0.13              | 0.25 | 0.44 | 0.1   | 0.07   |
| Уровень рассинхронизации  |                 | max | 0.16              | 0.3  | 0.12 | 0.96  | 0.39   |
| Уровень граничного напряж.  |                 | max | 0.07              | 0.34 | 1    | 0.07  | 0.03   |
| Процент ошибок при max уровнях и минимальной полосе пропускания КС, % |                 |     | 2.73              | 3.2  | 1.14 | 3.04  | 2.11   |
| Уровень шума  |                 | ср. | 0.20              |      |      |       |        |
| Уровень рассинхронизации  |                 | ср. | 0.39              |      |      |       |        |
| Уровень граничного напряж.  |                 | ср. | 0.30              |      |      |       |        |
| Полоса пропускания реального канала связи                             | Гармоники       | min | 2                 | 10   | 9    | 0     | 2      |
|   |                 | max | 16                | 54   | 52   | 33    | 22     |
|   | Частоты, МГц    | min | 0.4               | 2.1  | 2.7  | 0     | 0.4    |
|   |                 | max | 3.3               | 11.3 | 10.8 | 5.5   | 4.6    |
| Требуемая полоса пропускания реального канала связи, МГц              |                 |     | 2.9               | 9.2  | 8.1  | 5.5   | 4.2    |

Вывод: Для данного сообщения и помех в канале связи лучше всего подходит NRZ код, так как у него наименьшая необходимая полоса пропускания. Но у него довольно скромные результаты в противодействии помехам.

В противодействии шуму и граничному напряжению лучше всего себя показал M2 код, но за это приходится платить довольно широкой полосой пропускания.

С рассинхронизацией лучше всех справился 4B/5B код, также у него средняя величина полосы пропускания.

Скремблирование уступает 4B/5B коду по помехоустойчивости, но имеет меньшую полосу пропускания.

RZ код уступает M2 по всем показателям и обладает самой широкой полосой пропускания.