

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет ИТМО»  
Факультет программной инженерии и компьютерной техники

Компьютерные сети  
Лабораторная работа №1

Выполнил: Борисенко Е. А.

Группа: Р33011

Преподаватель: Маркина Т. А.

г. Санкт-Петербург

2021

## Этап 1. Формирование сообщения

Исходное сообщение: Борисенко Е. А.

Шестнадцатеричный код: C1 EE F0 E8 F1 E5 ED EA EE 20 C5 2E 20 C0 2E

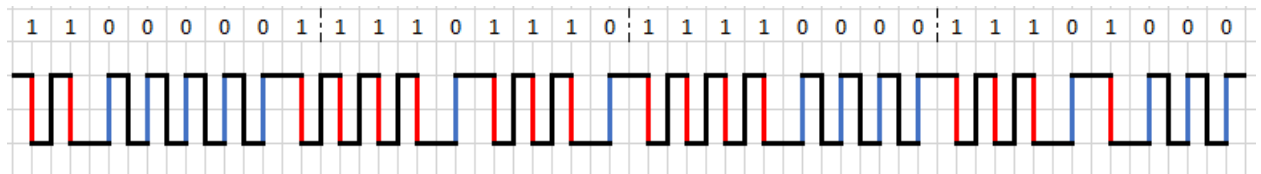
Двоичный код: 11000001 11101110 11110000 11101000 11110001 11100101 11101101 11101010  
11101110 00100000 11000101 00101110 00100000 11000000 00101110

Длина сообщения: 15 байт (120 бит)

Первые 4 байта: 11000001 11101110 11110000 11101000

## Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения

### 1. Манчестерский код

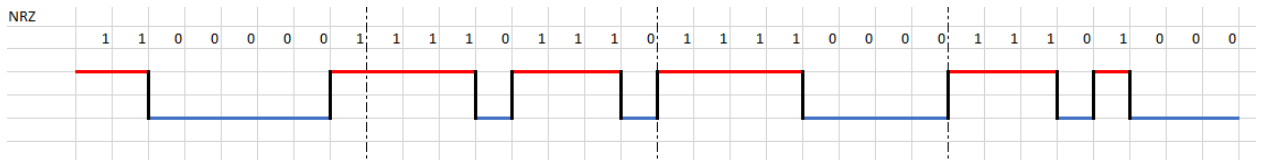


$$f_0 = \frac{1}{t_b} = C = 1 \text{ ГГц}; f_H = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 7000 \text{ МГц}$$

$$S = f_B - f_H = 7000 - 500 = 6500 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(21f_0 + 11\frac{f_0}{2}\right) * \frac{1}{32} = \frac{26,5f_0}{32} = 828,125 \text{ МГц}$$

### 2. Потенциальный код без возврата к нулю (NRZ)

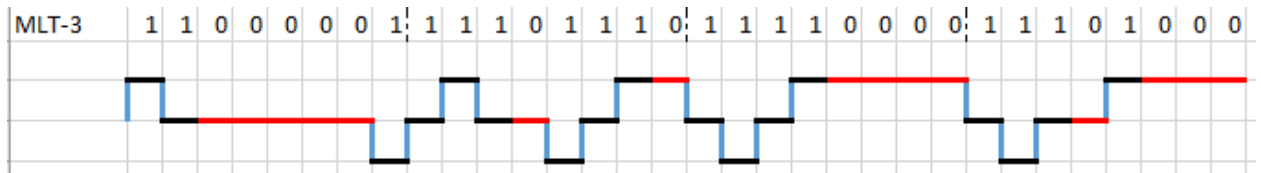


$$f_0 = \frac{1}{2t_b} = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц}; f_H = \frac{1}{10t_b} = \frac{C}{10} = 100 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 3500 \text{ МГц}$$

$$S = f_B - f_H = 3500 - 100 = 3400 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(4f_0 + 2\frac{f_0}{2} + 9\frac{f_0}{3} + 12\frac{f_0}{4} + 5\frac{f_0}{5}\right) * \frac{1}{32} = \frac{12f_0}{32} = 187,5 \text{ МГц}$$

### 3. Код трехуровневой передачи MLT-3

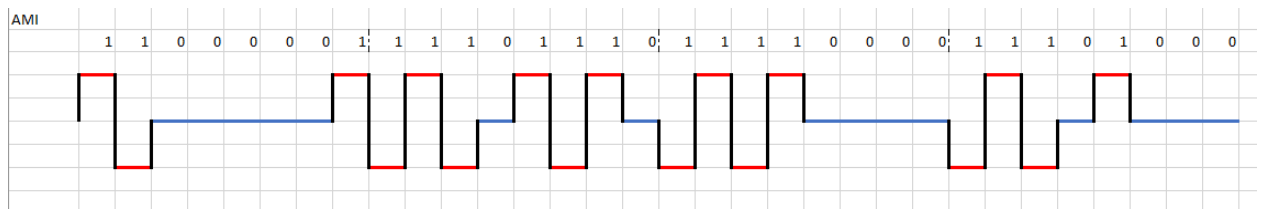


$$f_0 = \frac{1}{2t_b} = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц}; f_H = \frac{1}{12t_b} = \frac{C}{12} = 83,333 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 3500 \text{ МГц};$$

$$S = f_B - f_H = 3500 - 83,333 = 3416,667 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(11f_0 + 6\frac{f_0}{2} + 4\frac{f_0}{4} + 5\frac{f_0}{5} + 6\frac{f_0}{6}\right) * \frac{1}{32} = \frac{17f_0}{32} = 265,625 \text{ МГц}$$

### 4. AMI

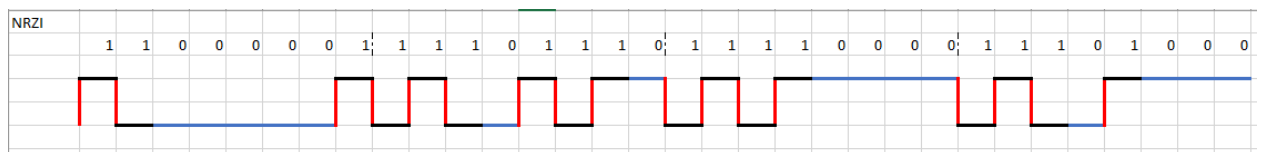


$$f_0 = \frac{1}{2t_b} = \frac{c}{2} = 500 \text{ МГц}; f_H = \frac{1}{10t_b} = \frac{c}{10} = 100 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 3500 \text{ МГц}$$

$$S = f_B - f_H = 3500 - 100 = 3400 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(20f_0 + 3\frac{f_0}{3} + 4\frac{f_0}{4} + 5\frac{f_0}{5}\right) * \frac{1}{32} = \frac{23f_0}{32} = 359,375 \text{ МГц}$$

##### 5. NRZI



$$f_0 = \frac{1}{2t_b} = \frac{c}{2} = 500 \text{ МГц}; f_H = \frac{1}{12t_b} = \frac{c}{12} = 83,333 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 3500 \text{ МГц}$$

$$S = f_B - f_H = 3500 - 83,33 = 3416,667 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(11f_0 + 6\frac{f_0}{2} + 4\frac{f_0}{4} + 5\frac{f_0}{5} + 6\frac{f_0}{6}\right) * \frac{1}{32} = \frac{17f_0}{32} = 265,625 \text{ МГц}$$

##### Сравнительный анализ

	Спектр сигнала, МГц	Само-синхронизация	Отсутствие постоянной составляющей	Обнаружение ошибок	Низкая стоимость реализации
Манчестерский	6500	+	+		+
NRZ	3400				+
MLT-3	3416,667			+	
AMI	3400			+	
NRZI	3416,667			+	+

Одним из лучших способов кодирования для передачи может быть Манчестерский код благодаря наличию самосинхронизации и низкой стоимости реализации, однако из-за отсутствия постоянной составляющей применять логическое кодирование к нему не будем.

Из оставшихся методов выберем NRZI и NRZ. Первый благодаря низкой стоимости и обнаружению ошибок, второй так же из-за низкой стоимости и меньшего спектра сигнала.

##### Этап 3. Логическое кодирование

Начальное сообщение: 11000001 11101110 11110000 11101000 11110001 11100101 11101101 11101010 11101110 00100000 11000101 00101110 00100000 11000000 00101110

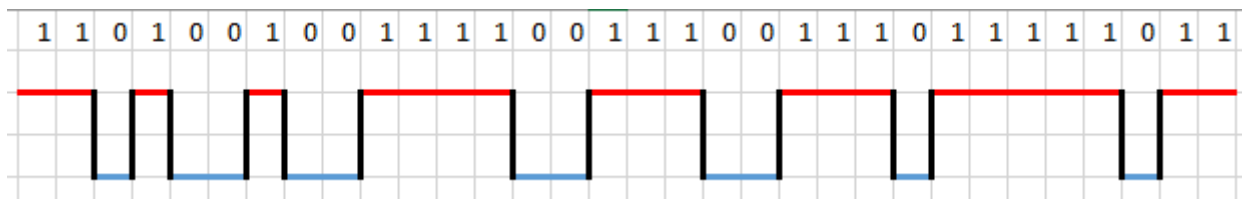
После преобразования: 11010010 01111001 11001110 11111011 10010010 11101010 01111000 10111110 01101111 11010110 11100111 00101001 11101101 00101110 10011100 10100111 10110101 11101010 0111100

Шестнадцатеричный код: D2 79 CE FB 92 EA 78 BE 6F 96 E7 29 ED 2E 9C A7 B5 EA 70

Длина: 18,75 байт (150 бит)

Избыточность:  $3,75/15=30/120=0,25$  (25%)

### 1. NRZ

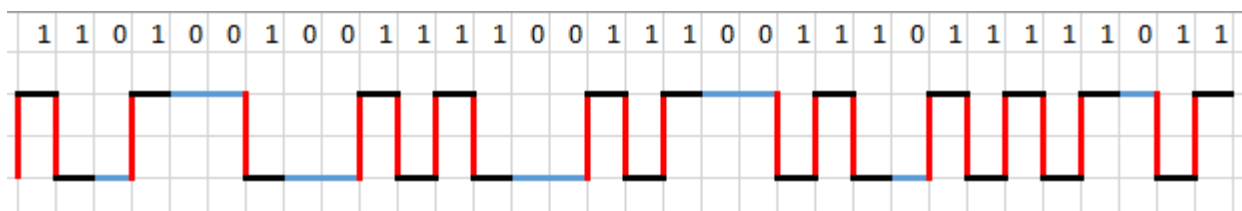


$$f_0 = \frac{1}{2t_h} = \frac{c}{2} = 500 \text{ M}\Gamma_{\text{c}}; f_{\text{H}} = \frac{1}{10t_h} = \frac{c}{10} = 100 \text{ M}\Gamma_{\text{c}}; f_{\text{B}} = 7f_0 = 3500 \text{ M}\Gamma_{\text{c}}$$

$$S = f_{\text{R}} - f_{\text{H}} = 3500 - 100 = 3400 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(5f_0 + 12\frac{f_0}{2} + 6\frac{f_0}{3} + 4\frac{f_0}{4} + 5\frac{f_0}{5}\right) * \frac{1}{32} = \frac{15f_0}{32} = 234,375 \text{ МГц}$$

## 2. NRZI



$$f_0 = \frac{1}{2t_h} = \frac{c}{2} = 500 \text{ МГц}; f_h = \frac{1}{6t_h} = \frac{c}{6} = 166,667 \text{ МГц}; f_b = 7f_0 = 3500 \text{ МГц}$$

$$S = f_{\text{R}} - f_{\text{H}} = 3500 - 166,667 = 3333,333 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(14f_0 + 6\frac{f_0}{2} + 12\frac{f_0}{3}\right) * \frac{1}{32} = \frac{21f_0}{32} = 328,125 \text{ МГц}$$

### 3. Манчестерский

$$f_0 = \frac{1}{t_h} = C = 1 \text{ ГГц}; f_H = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 7000 \text{ МГц}$$

$$S = f_{\text{B}} - f_{\text{L}} = 7000 - 500 = 6500 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(19f_0 + 13\frac{f_0}{2}\right) * \frac{1}{32} = \frac{25,5f_0}{32} = 796,875 \text{ МГц}$$

#### 4. AMI

$$f_0 = \frac{1}{2t_b} = \frac{c}{2} = 500 \text{ M}\Gamma_{\text{c}}; f_{\text{H}} = \frac{1}{4t_b} = \frac{c}{4} = 250 \text{ M}\Gamma_{\text{c}}; f_{\text{B}} = 7f_0 = 3500 \text{ M}\Gamma_{\text{c}}$$

$$S = f_{\text{в}} - f_{\text{г}} = 3500 - 250 = 3250 \text{ МГц} < F$$

$$f_{\text{cp}} = \left(24f_0 + 8\frac{f_0}{2}\right) * \frac{1}{32} = \frac{28f_0}{32} = 437,5 \text{ МГц}$$

## 5. MLT-3

$$f_0 = \frac{1}{2t_h} = \frac{c}{2} = 500 \text{ МГц}; f_H = \frac{1}{6t_h} = \frac{c}{6} = 166,667 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 3500 \text{ МГц}$$

$$S = f_{\text{r}} - f_{\text{H}} = 3500 - 166,667 = 3333,333 \text{ МГц} < F$$

$$f_{\text{cp}} = \left(14f_0 + 10\frac{f_0}{2} + 8\frac{f_0}{3}\right) * \frac{1}{32} = \frac{21,667f_0}{32} = 338,542 \text{ МГц}$$

## Выбор наилучшего способа

	$f_0$ , МГц	$f_H$ , МГц	$f_B$ , МГц	$f_{cp}$ , МГц	$F$ , МГц
NRZ	500	100	3500	234,375	3400
NRZI	500	166,667	3500	328,125	3333,333

При логическом кодировании лучшим способом для передачи данного сообщения является метод NRZI, так как полоса пропускания в этом методе меньше, чем в NRZ, и средняя частота больше.

#### Этап 4. Скремблирование

Для скремблирования лучше подойдет полином  $B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$ , так как при использовании метода 3-7 возникают длинные последовательности единиц.

Начальное сообщение: 11000001 11101110 11110000 11101000 11110001 11100101 11101101  
11101010 11101110 00100000 11000101 00101110 00100000 11000000 00101110

Последовательность получения разрядов:

$B[1]=A[1]=1$   
 $B[2]=A[2]=1$   
 $B[3]=A[3]=0$   
 $B[4]=A[4] \oplus B[1]=1$   
 $B[5]=A[5] \oplus B[2]=1$   
 $B[6]=A[6] \oplus B[3] \oplus B[1]=1$   
 $B[7]=A[7] \oplus B[4] \oplus B[2]=0$   
 $B[8]=A[8] \oplus B[5] \oplus B[3]=0$   
 $B[9]=A[9] \oplus B[6] \oplus B[4]=1$   
 $B[10]=A[10] \oplus B[7] \oplus B[5]=0$   
 $B[11]=A[11] \oplus B[8] \oplus B[6]=0$   
 $B[12]=A[12] \oplus B[9] \oplus B[7]=1$   
 $B[13]=A[13] \oplus B[10] \oplus B[8]=1$   
 $B[14]=A[14] \oplus B[11] \oplus B[9]=0$   
 $B[15]=A[15] \oplus B[12] \oplus B[10]=0$   
 $B[16]=A[16] \oplus B[13] \oplus B[11]=1$   
 $B[17]=A[17] \oplus B[14] \oplus B[12]=0$   
 $B[18]=A[18] \oplus B[15] \oplus B[13]=0$   
 $B[19]=A[19] \oplus B[16] \oplus B[14]=0$   
 $B[20]=A[20] \oplus B[17] \oplus B[15]=1$   
 $B[21]=A[21] \oplus B[18] \oplus B[16]=1$   
 $B[22]=A[22] \oplus B[19] \oplus B[17]=0$   
 $B[23]=A[23] \oplus B[20] \oplus B[18]=1$   
 $B[24]=A[24] \oplus B[21] \oplus B[19]=1$   
 $B[25]=A[25] \oplus B[22] \oplus B[20]=0$   
 $B[26]=A[26] \oplus B[23] \oplus B[21]=1$   
 $B[27]=A[27] \oplus B[24] \oplus B[22]=0$   
 $B[28]=A[28] \oplus B[25] \oplus B[23]=1$   
 $B[29]=A[29] \oplus B[26] \oplus B[24]=1$   
 $B[30]=A[30] \oplus B[27] \oplus B[25]=0$   
 $B[31]=A[31] \oplus B[28] \oplus B[26]=0$   
 $B[32]=A[32] \oplus B[29] \oplus B[27]=1$   
 $B[33]=A[33] \oplus B[30] \oplus B[28]=0$   
 $B[34]=A[34] \oplus B[31] \oplus B[29]=0$   
 $B[35]=A[35] \oplus B[32] \oplus B[30]=0$   
 $B[36]=A[36] \oplus B[33] \oplus B[31]=1$

$B[37]=A[37]^{\wedge}B[34]^{\wedge}B[32]=1$   
 $B[38]=A[38]^{\wedge}B[35]^{\wedge}B[33]=0$   
 $B[39]=A[39]^{\wedge}B[36]^{\wedge}B[34]=1$   
 $B[40]=A[40]^{\wedge}B[37]^{\wedge}B[35]=0$   
 $B[41]=A[41]^{\wedge}B[38]^{\wedge}B[36]=0$   
 $B[42]=A[42]^{\wedge}B[39]^{\wedge}B[37]=1$   
 $B[43]=A[43]^{\wedge}B[40]^{\wedge}B[38]=1$   
 $B[44]=A[44]^{\wedge}B[41]^{\wedge}B[39]=1$   
 $B[45]=A[45]^{\wedge}B[42]^{\wedge}B[40]=1$   
 $B[46]=A[46]^{\wedge}B[43]^{\wedge}B[41]=0$   
 $B[47]=A[47]^{\wedge}B[44]^{\wedge}B[42]=0$   
 $B[48]=A[48]^{\wedge}B[45]^{\wedge}B[43]=1$   
 $B[49]=A[49]^{\wedge}B[46]^{\wedge}B[44]=0$   
 $B[50]=A[50]^{\wedge}B[47]^{\wedge}B[45]=0$   
 $B[51]=A[51]^{\wedge}B[48]^{\wedge}B[46]=0$   
 $B[52]=A[52]^{\wedge}B[49]^{\wedge}B[47]=0$   
 $B[53]=A[53]^{\wedge}B[50]^{\wedge}B[48]=0$   
 $B[54]=A[54]^{\wedge}B[51]^{\wedge}B[49]=1$   
 $B[55]=A[55]^{\wedge}B[52]^{\wedge}B[50]=0$   
 $B[56]=A[56]^{\wedge}B[53]^{\wedge}B[51]=1$   
 $B[57]=A[57]^{\wedge}B[54]^{\wedge}B[52]=0$   
 $B[58]=A[58]^{\wedge}B[55]^{\wedge}B[53]=1$   
 $B[59]=A[59]^{\wedge}B[56]^{\wedge}B[54]=1$   
 $B[60]=A[60]^{\wedge}B[57]^{\wedge}B[55]=0$   
 $B[61]=A[61]^{\wedge}B[58]^{\wedge}B[56]=1$   
 $B[62]=A[62]^{\wedge}B[59]^{\wedge}B[57]=1$   
 $B[63]=A[63]^{\wedge}B[60]^{\wedge}B[58]=0$   
 $B[64]=A[64]^{\wedge}B[61]^{\wedge}B[59]=0$   
 $B[65]=A[65]^{\wedge}B[62]^{\wedge}B[60]=0$   
 $B[66]=A[66]^{\wedge}B[63]^{\wedge}B[61]=0$   
 $B[67]=A[67]^{\wedge}B[64]^{\wedge}B[62]=0$   
 $B[68]=A[68]^{\wedge}B[65]^{\wedge}B[63]=0$   
 $B[69]=A[69]^{\wedge}B[66]^{\wedge}B[64]=1$   
 $B[70]=A[70]^{\wedge}B[67]^{\wedge}B[65]=1$   
 $B[71]=A[71]^{\wedge}B[68]^{\wedge}B[66]=1$   
 $B[72]=A[72]^{\wedge}B[69]^{\wedge}B[67]=1$   
 $B[73]=A[73]^{\wedge}B[70]^{\wedge}B[68]=1$   
 $B[74]=A[74]^{\wedge}B[71]^{\wedge}B[69]=0$   
 $B[75]=A[75]^{\wedge}B[72]^{\wedge}B[70]=1$   
 $B[76]=A[76]^{\wedge}B[73]^{\wedge}B[71]=0$   
 $B[77]=A[77]^{\wedge}B[74]^{\wedge}B[72]=1$   
 $B[78]=A[78]^{\wedge}B[75]^{\wedge}B[73]=0$   
 $B[79]=A[79]^{\wedge}B[76]^{\wedge}B[74]=0$   
 $B[80]=A[80]^{\wedge}B[77]^{\wedge}B[75]=0$   
 $B[81]=A[81]^{\wedge}B[78]^{\wedge}B[76]=1$   
 $B[82]=A[82]^{\wedge}B[79]^{\wedge}B[77]=0$   
 $B[83]=A[83]^{\wedge}B[80]^{\wedge}B[78]=0$   
 $B[84]=A[84]^{\wedge}B[81]^{\wedge}B[79]=1$   
 $B[85]=A[85]^{\wedge}B[82]^{\wedge}B[80]=0$   
 $B[86]=A[86]^{\wedge}B[83]^{\wedge}B[81]=0$

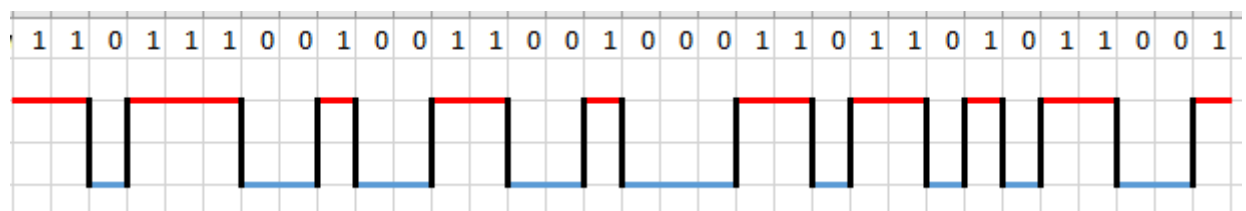
$B[87]=A[87]^{\wedge}B[84]^{\wedge}B[82]=1$   
 $B[88]=A[88]^{\wedge}B[85]^{\wedge}B[83]=1$   
 $B[89]=A[89]^{\wedge}B[86]^{\wedge}B[84]=1$   
 $B[90]=A[90]^{\wedge}B[87]^{\wedge}B[85]=1$   
 $B[91]=A[91]^{\wedge}B[88]^{\wedge}B[86]=0$   
 $B[92]=A[92]^{\wedge}B[89]^{\wedge}B[87]=0$   
 $B[93]=A[93]^{\wedge}B[90]^{\wedge}B[88]=1$   
 $B[94]=A[94]^{\wedge}B[91]^{\wedge}B[89]=0$   
 $B[95]=A[95]^{\wedge}B[92]^{\wedge}B[90]=0$   
 $B[96]=A[96]^{\wedge}B[93]^{\wedge}B[91]=1$   
 $B[97]=A[97]^{\wedge}B[94]^{\wedge}B[92]=0$   
 $B[98]=A[98]^{\wedge}B[95]^{\wedge}B[93]=1$   
 $B[99]=A[99]^{\wedge}B[96]^{\wedge}B[94]=0$   
 $B[100]=A[100]^{\wedge}B[97]^{\wedge}B[95]=0$   
 $B[101]=A[101]^{\wedge}B[98]^{\wedge}B[96]=0$   
 $B[102]=A[102]^{\wedge}B[99]^{\wedge}B[97]=0$   
 $B[103]=A[103]^{\wedge}B[100]^{\wedge}B[98]=1$   
 $B[104]=A[104]^{\wedge}B[101]^{\wedge}B[99]=0$   
 $B[105]=A[105]^{\wedge}B[102]^{\wedge}B[100]=1$   
 $B[106]=A[106]^{\wedge}B[103]^{\wedge}B[101]=0$   
 $B[107]=A[107]^{\wedge}B[104]^{\wedge}B[102]=0$   
 $B[108]=A[108]^{\wedge}B[105]^{\wedge}B[103]=0$   
 $B[109]=A[109]^{\wedge}B[106]^{\wedge}B[104]=0$   
 $B[110]=A[110]^{\wedge}B[107]^{\wedge}B[105]=1$   
 $B[111]=A[111]^{\wedge}B[108]^{\wedge}B[106]=0$   
 $B[112]=A[112]^{\wedge}B[109]^{\wedge}B[107]=0$   
 $B[113]=A[113]^{\wedge}B[110]^{\wedge}B[108]=1$   
 $B[114]=A[114]^{\wedge}B[111]^{\wedge}B[109]=0$   
 $B[115]=A[115]^{\wedge}B[112]^{\wedge}B[110]=0$   
 $B[116]=A[116]^{\wedge}B[113]^{\wedge}B[111]=1$   
 $B[117]=A[117]^{\wedge}B[114]^{\wedge}B[112]=1$   
 $B[118]=A[118]^{\wedge}B[115]^{\wedge}B[113]=0$   
 $B[119]=A[119]^{\wedge}B[116]^{\wedge}B[114]=0$   
 $B[120]=A[120]^{\wedge}B[117]^{\wedge}B[115]=1$

После преобразования: 11011100 10011001 00011011 01011001 00011010 01111001 00000101 01101100 00001111 10101000 10010011 11001001 01000010 10000100 10011001

Шестнадцатеричный код: DC 99 1B 59 1A 79 05 6C 0F A8 93 C9 42 84 99

Длина сообщения: 15 байт (120 бит)

#### 1. NRZ

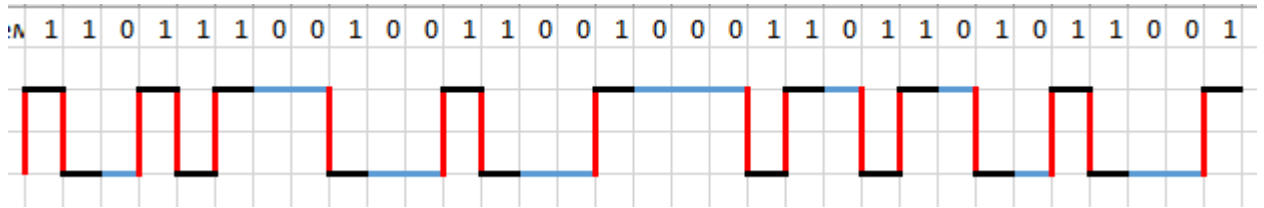


$$f_0 = \frac{1}{2t_b} = \frac{c}{2} = 500 \text{ МГц}; f_H = \frac{1}{6t_b} = \frac{c}{6} = 166,667 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 3500 \text{ МГц}$$

$$S = f_B - f_H = 3500 - 166,667 = 3333,333 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(8f_0 + 18\frac{f_0}{2} + 6\frac{f_0}{3}\right) * \frac{1}{32} = \frac{19f_0}{32} = 296,875 \text{ МГц}$$

## 2. NRZI



$$f_0 = \frac{1}{2t_b} = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц}; f_H = \frac{1}{8t_b} = \frac{C}{8} = 125 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 3500 \text{ МГц}$$

$$S = f_B - f_H = 3500 - 125 = 3375 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(8f_0 + 8\frac{f_0}{2} + 12\frac{f_0}{3} + 4\frac{f_0}{4}\right) * \frac{1}{32} = \frac{17f_0}{32} = 265,625 \text{ МГц}$$

## 3. Манчестерский

$$f_0 = \frac{1}{t_b} = C = 1 \text{ ГГц}; f_H = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 7000 \text{ МГц}$$

$$S = f_B - f_H = 7000 - 500 = 6500 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(14f_0 + 18\frac{f_0}{2}\right) * \frac{1}{32} = \frac{23f_0}{32} = 718,75 \text{ МГц}$$

## 4. AMI

$$f_0 = \frac{1}{2t_b} = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц}; f_H = \frac{1}{6t_b} = \frac{C}{6} = 166,667 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 3500 \text{ МГц}$$

$$S = f_B - f_H = 3500 - 166,667 = 3333,333 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(21f_0 + 8\frac{f_0}{2} + 3\frac{f_0}{3}\right) * \frac{1}{32} = \frac{26f_0}{32} = 406,25 \text{ МГц}$$

## 5. MLT-3

$$f_0 = \frac{1}{2t_b} = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц}; f_H = \frac{1}{8t_b} = \frac{C}{8} = 125 \text{ МГц}; f_B = 7f_0 = 3500 \text{ МГц}$$

$$S = f_B - f_H = 3500 - 125 = 3375 \text{ МГц} < F$$

$$f_{cp} = \left(8f_0 + 8\frac{f_0}{2} + 12\frac{f_0}{3} + 4\frac{f_0}{4}\right) * \frac{1}{32} = \frac{17f_0}{32} = 265,625 \text{ МГц}$$

## Выбор наилучшего способа

	$f_0$ , МГц	$f_H$ , МГц	$f_B$ , МГц	$f_{cp}$ , МГц	$F$ , МГц
NRZ	500	166,667	3500	296,875	3333,333
NRZI	500	125	3500	265,625	3375

При скремблировании лучшим способом для передачи данного сообщения является метод NRZ, так как полоса пропускания в этом методе меньше, чем в NRZI, и средняя частота больше.

## Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования

	$f_0$ , МГц			$f_H$ , МГц			$f_B$ , МГц			$f_{cp}$ , МГц			$F$ , МГц		
Физ.	4В/5В	Скрем.	Физ. з.	4В/5В	Скрем.	Физ. з.	4В/5В	Скрем.	Физ. з.	4В/5В	Скрем.	Физ. з.	4В/5В	Скрем.	Физ. з.



N RZ	50 0	50 0	500	100	100	166, 667	35 00	35 00	350 0	187, 5	234, 375	296, 875	3400	3400	3333 ,333
N RZ I	50 0	50 0	500	83, 333	166, 667	125	35 00	35 00	350 0	265, 625	328, 125	265, 625	3416 ,667	3333 ,333	3375

Избыточное кодирование и скремблирование оба положительно влияют на характеристики. Оба метода и для NRZ, и для NRZI повышают среднее значение частоты. Скремблирование также увеличивает нижнюю границу частот и уменьшает полосу пропускания, однако избыточное кодирование не делает этого для NRZ. Помимо скремблирование эффективнее, к тому, в нем отсутствуют избыточные сигналы.