

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО»**

**Отчет**

Дисциплина «Телекоммуникационные системы»

Учебно-исследовательская работа №1

«Кодирование данных в телекоммуникационных системах»

Автор: Рахматов Неъматджон

Факультет: ПИиКТ

Группа: Р3333

Поток: 1.1

Преподаватель: Алиев Тауфик Измайлович

**ИТМО**

2024

## Этап 1. Формирование сообщения

Исходное сообщение: PaHH.

Закодируем исходное сообщение с помощью таблицы кодировки (см. [1], Таблица 2):

Кодировка в HEX: D0 E0 CD CD.

Кодировка в BIN: 1101 0000 1110 0000 1100 1101 1100 1101.

Длина сообщение: 32 бита (4 байта).

Пропускная способность канала связи:  $C = 10$  Мбит/с.

## Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения

### 2.1 Манчестерский код

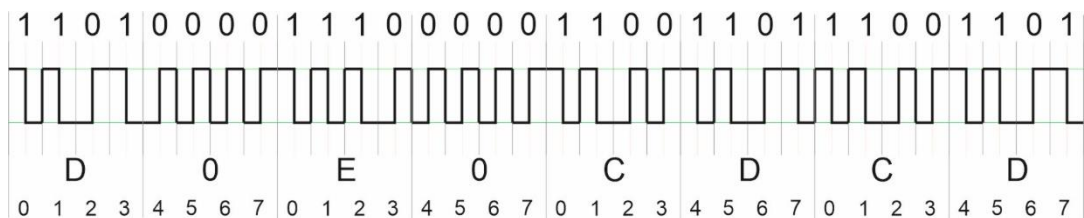


Рисунок 2.1 – Временная диаграмма сообщения, кодированного манчестерским кодом

Верхняя граница частоты:  $f_B = C = 10$  МГц.

Нижняя граница частоты:  $f_H = C/2 = 5$  МГц.

Ширина спектра сообщения:  $S = f_B - f_H = 0,5C = 5$  МГц.

Для передачи сообщения по каналу связи требуется 4 гармоники, занимающие полосу:  $S = 7f_B - f_H = 65$  МГц.

Средняя частота сообщения:  $f_{cp} = (36f_0 + 14\frac{f_0}{2})/50 = 8,6$  МГц.

Середина спектра сообщения:  $f_{1/2} = (10 + 5)/2 = 7,5$  МГц  $\Rightarrow f_{cp} > f_{1/2}$ .

Из требования  $F > S$  полоса пропускания канала связи должна быть не менее  $F = 66$  МГц.

### 2.2 Потенциальный код без возврата к нулю (NRZ)

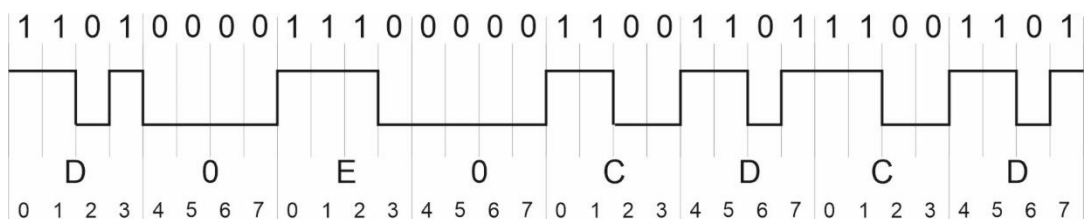


Рисунок 2.2 – Временная диаграмма сообщения, кодированного кодом NRZ

Верхняя граница частоты:  $f_B = C/2 = 5$  МГц.

Так как  $T_H/2 = 5t = 5/C$ , то нижняя граница частоты рассматриваемого сообщения:  $f_H = 1/T_H = C/10 = 1 \text{ МГц}$ .

Ширина спектра сообщения:  $S = f_B - f_H = (0,5 - 0,1)C = 4 \text{ МГц}$ .

Для передачи сообщения по каналу связи требуется 4 гармоники, занимающие полосу:  $S = 7f_B - f_H = 35 - 4 = 31 \text{ МГц}$ .

Средняя частота сообщения:

$$f_{cp} = \left( 5f_0 + 6\frac{f_0}{2} + 2\frac{f_0}{3} + 1\frac{f_0}{4} + 1\frac{f_0}{5} \right) / 15 = \\ = \frac{(5 + 3 + 0,67 + 0,25 + 0,2)f_0}{15} \approx 6,1 \text{ МГц}.$$

Середина спектра сообщения:  $f_{1/2} = (5 + 1)/2 = 3 \text{ МГц} \Rightarrow f_{cp} > f_{1/2}$ .

Из требования  $F > S$  следует, что полоса пропускания канала связи должна быть не менее  $F = 32 \text{ МГц}$ .

## 2.3 Биполярный код с альтернативной инверсией (AMI)

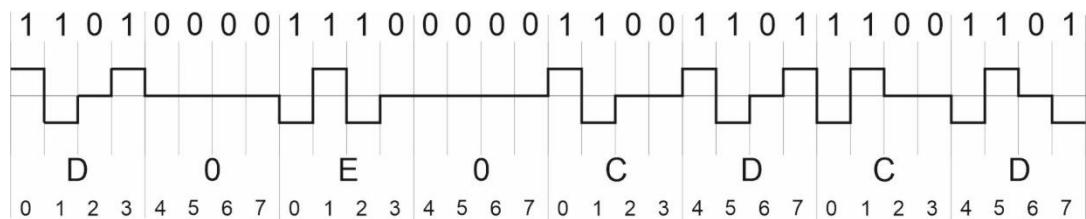


Рисунок 2.3 – Временная диаграмма сообщения, кодированного кодом AMI

Верхняя граница частоты:  $f_B = C/2 = 5 \text{ МГц}$ .

Так как  $T_H/2 = 5t = 5/C$ , то нижняя граница частоты рассматриваемого сообщения:  $f_H = 1/T_H = C/10 = 1 \text{ МГц}$ .

Ширина спектра сообщения:  $S = f_B - f_H = 5 - 1 = 4 \text{ МГц}$ .

Для передачи сообщения по каналу связи требуется 4 гармоники, занимающие полосу:  $S = 7f_B - f_H = 35 - 1 = 34 \text{ МГц}$ .

Средняя частота сообщения:

$$f_{cp} = \left( 16f_0 + 2\frac{f_0}{2} + 3\frac{f_0}{3} + \frac{f_0}{4} + \frac{f_0}{5} \right) / 23 = \frac{18,45}{23} f_0 \approx 4,01 \text{ МГц}.$$

Середина спектра сообщения:  $f_{1/2} = (5 + 1)/2 \approx 3 \text{ МГц} \Rightarrow f_{cp} > f_{1/2}$ .

Из требования  $F > S$  следует, что полоса пропускания канала связи должна быть не менее  $F = 35 \text{ МГц}$ .

## 2.4 Биполярный импульсный код (с возвратом к нулю – RZ)

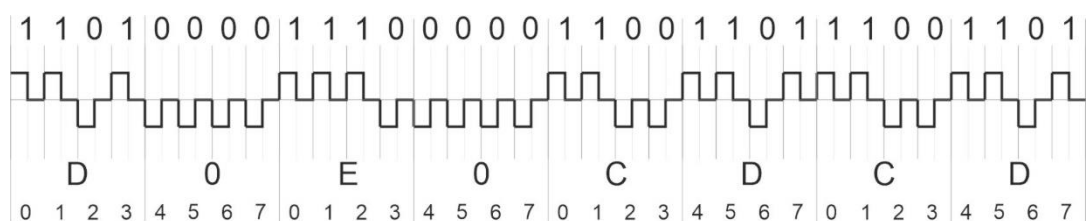


Рисунок 2.4 – Временная диаграмма сообщения, кодированного кодом RZ

Верхняя граница частоты:  $f_B = C = 10$  МГц.

Нижняя граница частоты:  $f_H = C/4 = 2,5$  МГц.

Ширина спектра сообщения:  $S = f_B - f_H = 10 - 2,5 = 7,5$  МГц.

Для передачи сообщения по каналу связи требуется 4 гармоники, занимающие полосу:  $S = 7f_B - f_H = 67,5$  МГц.

Средняя частота сообщения:  $f_{cp} = (20f_0 + 6\frac{f_0}{2,5})/26 = \frac{22,4f_0}{26} = 8,6$  МГц.

Середина спектра сообщения:  $f_{1/2} = (10 + 2,5)/2 = 6,25$  МГц  $\Rightarrow f_{cp} > f_{1/2}$ .

Из требования  $F > S$  следует, что полоса пропускания канала связи должна быть не менее  $F = 68$  МГц.

## Сравнение методов физического кодирования

Таблица 1 – Частотные параметры

Код	$f_B$ , МГц	$f_H$ , МГц	$f_{cp}$ , МГц	$F$ , МГц
Манчестерский	10	5	8,6	66
NRZ	5	1	6,1	32
AMI	5	1	4,1	35
RZ	10	2,5	8,6	68

Таблица 2 – Качественные показатели

Показатель	Метод кодирования			
	Манчестерский	NRZ	AMI	RZ
Узкая полоса пропускания канала связи	Нет	Да	Да	Нет
Отсутствие постоянной составляющей	Да	Нет	Нет	Да
Возможность обнаружения ошибок	Нет	Нет	Да	Да
Способность самосинхронизации	Да	Нет	Нет	Да
Малое количество уровней сигнала (экономичность реализации)	Да	Да	Нет	Нет

Из приведенных данных следует, что по частотным параметрам определенные преимущества имеют методы кодирования NRZ и AMI из-за относительно узкой полосы пропускания канала связи, необходимой для передачи сообщений. Однако вследствие увеличенного числа уровней сигнала в AMI требуется повышенная мощность и сложность оборудования и, следовательно, его большая стоимость.

К недостаткам метода NRZ можно отнести отсутствие самосинхронизации, приводящей к потере синхронизации между передатчиком и приемником при передаче длинных последовательностей одинаковых символов, а также невозможность использования в электрических каналах связи при наличии гальванических развязок между приёмником и передатчиком.

Преимуществами манчестерского метода и метода RZ является отсутствие постоянной составляющей и способность самосинхронизации. Простота реализации и экономичность манчестерского метода обеспечивается наличием только двух уровней потенциала. В то же время по частотным параметрам эти методы требуют более широкополосных каналов передачи.

Несмотря на некоторые недостатки по совокупности положительных показателей мной выбираются методы кодирования манчестерский и RZ.

### Этап 3. Логическое кодирование исходного сообщения

Применим метод логического кодирования 4B/5B к сообщению, кодированному манчестерским кодом. Перекодируем исходное сообщение с помощью таблицы перекодировки (см. [1], Таблица 1). В результате получим сообщение:

BIN: 1101 1111 1011 1001 1110 1101 0110 1111 0101 1011.

HEX: DF B9 ED 6F 5B

Длина: 40 бит (5 байт)

Избыточность:  $((40/32) - 1) * 100 = 25\%$

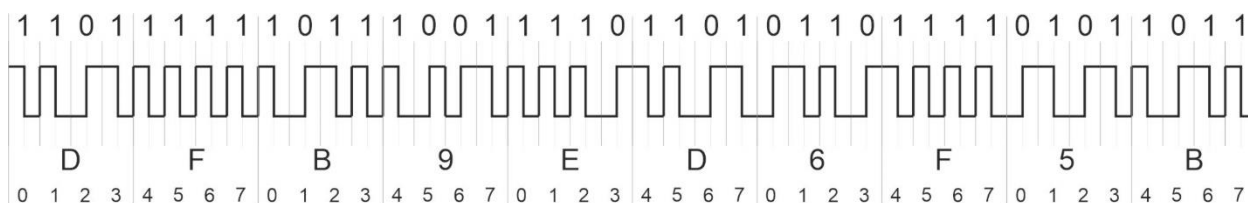


Рисунок 3.1 – Временная диаграмма сообщения, кодированного манчестерским кодом, после применения логического кодирования 4B/5B

Верхняя граница частоты:  $f_B = C = 10$  МГц.

Нижняя граница частоты:  $f_H = C/2 = 5$  МГц.

Ширина спектра сообщения:  $S = f_B - f_H = 0,5C = 5$  МГц.

Для передачи сообщения по каналу связи требуется 4 гармоники, занимающие полосу:  $S = 7f_B - f_H = 65$  МГц.

Средняя частота сообщения:  $f_{cp} = (40f_0 + 20\frac{f_0}{2})/60 = 8,3$  МГц.

Середина спектра сообщения:  $f_{1/2} = (10 + 5)/2 = 7,5$  МГц  $\Rightarrow f_{cp} > f_{1/2}$ .

Из требования  $F > S$  полоса пропускания канала связи должна быть не менее  $F = 66$  МГц.

### Этап 4. Скремблирование исходного сообщения

Применим скремблирование к исходному сообщению

BIN: 1101 0000 1110 0000 1100 1101 1100 1101,

используя алгоритм преобразования

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}, (i = 1, 2, \dots),$$

где  $A_i, B_i$  – значения  $i$ -го разряда соответственно исходного и результирующего кода,  $\oplus$  – операция «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ». Выбор данного алгоритма обусловлен простотой его реализации. Результат преобразования приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Результат скремблирования исходного сообщения

Номер разряда $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$A_i$	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
$B_i$	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Номер разряда $i$	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
$A_i$	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1
$B_i$	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0

Цветом выделены ячейки, образующие некий «трафарет» для вычисления результирующего разряда  $B_i$  (зеленый цвет) по аргументам

$A_i, B_{i-3}$  и  $B_{i-5}$  (желтый цвет). Запишем результирующее сообщение в двоичной и шестнадцатеричном представлениях:

BIN: 1100 1111 0111 0101 1101 1000 0000 1100;

HEX: CF 75 D8 0C.

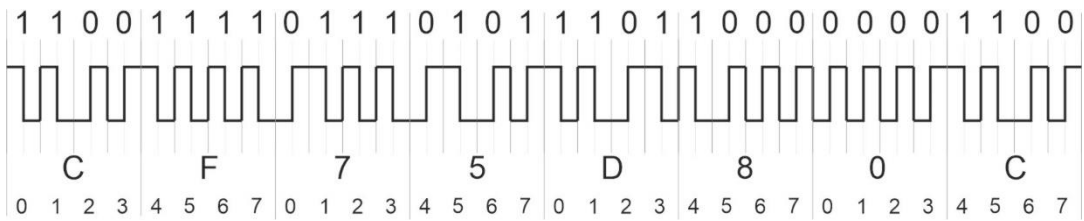


Рисунок 4.1 – Временная диаграмма сообщения, кодированного манчестерским кодом, после применения скремблирования

Верхняя граница частоты:  $f_B = C = 10$  МГц.

Нижняя граница частоты:  $f_H = C/2 = 5$  МГц.

Ширина спектра сообщения:  $S = f_B - f_H = 0,5C = 5$  МГц.

Для передачи сообщения по каналу связи требуется 4 гармоники, занимающие полосу:  $S = 7f_B - f_H = 65$  МГц.

Средняя частота сообщения:  $f_{cp} = (38f_0 + 13\frac{f_0}{2})/51 = 8,7$  МГц.

Середина спектра сообщения:  $f_{1/2} = (10 + 5)/2 = 7,5$  МГц  $\Rightarrow f_{cp} > f_{1/2}$ .

Из требования  $F > S$  следует, что полоса пропускания канала связи должна быть не менее  $F = 66$  МГц.

## Этап 5. Сравнительный анализ методов логического кодирования

Таблица 4 – Анализ результатов логического кодирования

Метод кодирования	$f_{\text{ср}}$ , МГц	Преимущества	Недостатки
4B/5B	8,3	Простая реализация. Возможность обнаружения ошибок. Сужение спектра сигнала в связи с отсутствием постоянной составляющей	Снижение полезной пропускной способности канала связи из-за избыточного кодирования. Дополнительные временные затраты в узлах сети на реализацию логического кодирования
Скремблирование	8,7	Сохранение полезной пропускной способности канала связи	Дополнительные затраты на реализацию алгоритма. Отсутствие гарантированного исключения длинных последовательностей одинаковых символов

Так как в качестве физического метода кодирования был выбран манчестерский код, то частотные параметры (исключая среднюю частоту в сообщении) для обоих методов логического кодирования одинаковы и не включены в таблицу сравнения.

Поскольку возможность сохранения и возникновения новых длинных последовательностей нулей и единиц в результирующем коде является существенным недостатком метода (что имело место для рассматриваемого сообщения), то выбор следует сделать в пользу метода кодирования 4B/5B.

### Выводы

В работе рассмотрены 4 метода физического (потенциального) кодирования и 2 метода логического кодирования. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. Это приводит к необходимости комплексной оценки эффективности методов кодирования исходя из специфики передаваемых сообщений, технических характеристик оборудования и физических свойств каналов связи.

Рассмотрение результатов применения указанных выше методов кодирования к конкретному сообщению дает представление об алгоритмах кодирования и об основных параметрах методов, однако не может быть полностью распространено на оценку их свойств для произвольных сообщений. В частности, описанный в [1] метод расчета средней частоты в спектре сообщения носит, скорее, качественный характер и допускает неоднозначную интерпретацию.