

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики»**



ITMO UNIVERSITY

Факультет Программной Инженерии и Компьютерной Техники

Учебно-исследовательская работа №1 (УИР 1)
по дисциплине
«ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»:

Выполнил:
Ястребов-Амирханов Алекси
ГРУППА: Р332
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ: Алиев Тауфик Измайлович

Санкт-Петербург,
2025

Оглавление

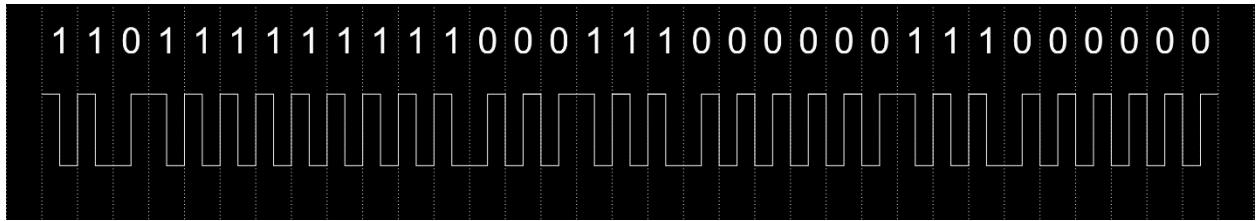
Формирование сообщения	3
Манчестерский код.....	4
Дифференциальный манчестерский код.....	5
Потенциальный код без возврата к нулю (NRZ – Non Return to Zero).....	6
Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI).....	7
Логическое кодирование исходного сообщения	10
Избыточное кодирование (4B/5B)	10
Скремблирование	12
Сравнительный анализ методов логического кодирования.....	15
Вывод	16

Формирование сообщения

- **Исходное сообщение:** ЯсАА
- **В шестнадцатеричном коде:** DF F1 C0 C0
- **В двоичном коде:** 1101 1111 1111 0001 1100 0000 1100 0000
- **Длина сообщения:** 4 байт (32 бит)

Манчестерский код

Временная диаграмма кодирования:



Расчёт значений данного кодирования:

$$\begin{aligned} \text{Расчёт верхней границы: } C &= 100 \frac{\text{Mбит}}{c}; f_{\text{в}} = \frac{1}{T}; C = \frac{1}{t}; T = t \rightarrow f_{\text{в}} = C \text{ Гц} = \\ &= 100 \text{ МГц}; \end{aligned}$$

$$\text{Расчёт нижней границы: } T = 2t \rightarrow f_{\text{н}} = \frac{C}{2} \text{ Гц} = 50 \text{ МГц};$$

$$\text{Следовательно спектр сообщения: } S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 0.5C \text{ Гц} = 50 \text{ МГц};$$

$$\text{Средняя частота спектра: } f_{\text{ср}} = \frac{(52f_0 + \frac{7f_0}{2})}{59} = 0.9406f_0 = 94,06 \text{ МГц};$$

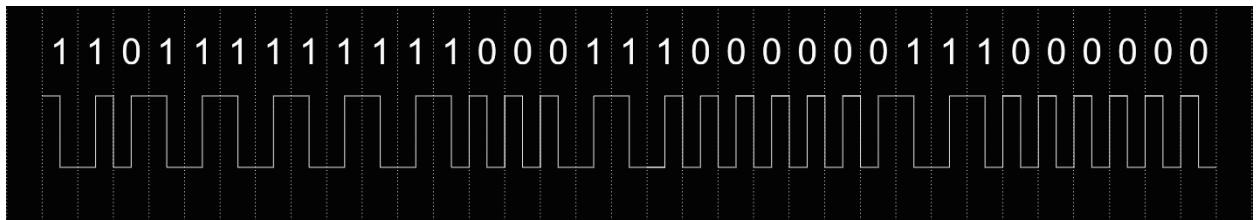
Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{(f_{\text{в}} + f_{\text{н}})}{2} = 75 \text{ МГц}; f_{\text{ср}} > f_{\frac{1}{2}} \Rightarrow \text{следовательно в спектре сигнала преобладают высокие частоты.}$

Полоса пропускания, необходимая для точной передачи данного сообщения данным кодом, например: $F = 55 \text{ МГц};$

Отсюда можно сделать вывод, что манчестерский код очень даже неплох, так как не имеет постоянной составляющей и обладает способностью самосинхронизации. Но он уступает NRZ в спектре сигнала в общем случае, потому что больше, чем у потенциального. Также манчестерский имеет всего два уровня потенциала, что делает реализацию данного кодирования не очень дорогой.

Дифференциальный манчестерский код

Временная диаграмма кодирования:



Расчёт значений данного кодирования:

$$\begin{aligned} \text{Расчёт верхней границы: } C &= 100 \frac{\text{Мбит}}{c}; f_{\text{в}} = \frac{1}{T}; C = \frac{1}{t}; T = t \rightarrow f_{\text{в}} = C \text{ Гц} = \\ &= 100 \text{ МГц}; \end{aligned}$$

$$\text{Расчёт нижней границы: } T = 2t \rightarrow f_{\text{н}} = \frac{C}{2} \text{ Гц} = 50 \text{ МГц};$$

$$\text{Следовательно спектр сообщения: } S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 0.5C \text{ Гц} = 50 \text{ МГц};$$

$$\text{Средняя частота спектра: } f_{\text{ср}} = \frac{(34f_0 + \frac{16f_0}{2})}{50} = 0.84f_0 = 84 \text{ МГц};$$

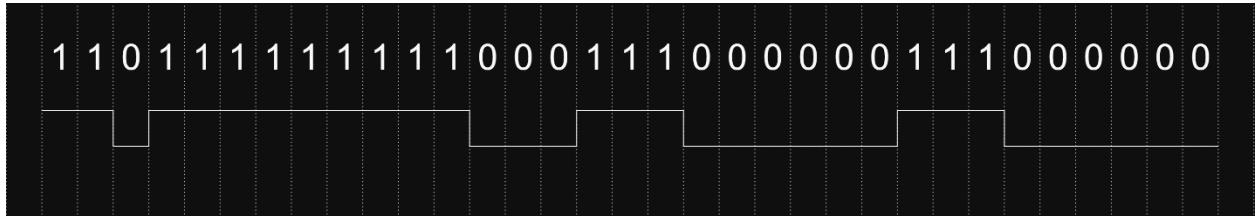
Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{(f_{\text{в}} + f_{\text{н}})}{2} = 75 \text{ МГц}; f_{\text{ср}} > f_{\frac{1}{2}} \Rightarrow \text{следовательно в спектре сигнала преобладают высокие частоты.}$

Полоса пропускания, необходимая для точной передачи данного сообщения данным кодом, например: $F = 55 \text{ МГц};$

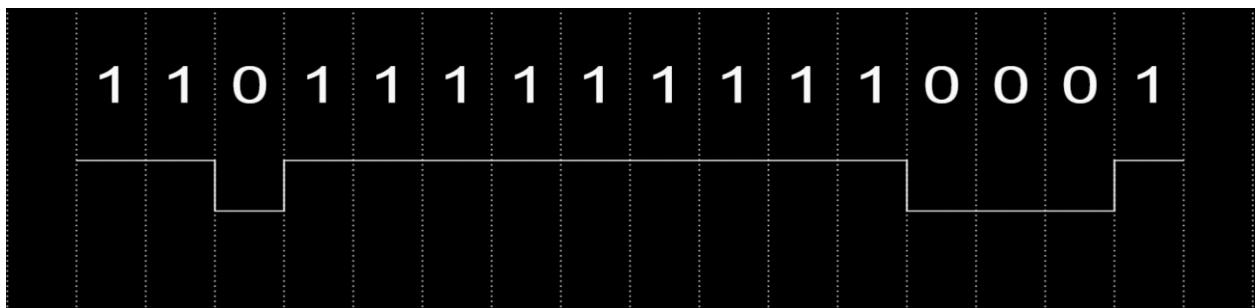
Отсюда можно сделать вывод, что Дифференциальный манчестерский код очень даже неплох, так как не имеет постоянной составляющей и обладает способностью самосинхронизации. Но он уступает NRZ в спектре сигнала в общем случае, потому что больше, чем у потенциального. Также имеет всего два уровня потенциала, что делает реализацию данного кодирования не очень дорогой.

Потенциальный код без возврата к нулю (NRZ – Non Return to Zero)

Временная диаграмма кодирования первых 4 байт:



Временная диаграмма кодирования первых 2 байт:



Расчёт верхней границы: $C = 100 \frac{M\text{бит}}{c}$; $f_{\text{в}} = \frac{1}{T}$; $C = \frac{1}{t}$; $T = 2t \rightarrow f_{\text{в}} = \frac{C}{2}$ Гц = $= 50$ МГц;

Расчёт нижней границы: $T = 18t \rightarrow f_{\text{н}} = \frac{C}{18}$ Гц = 5.556 МГц;

Следовательно спектр сообщения: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 0.4444C$ Гц = 44.444 МГц;

Средняя частота спектра: $f_{\text{ср}} = \frac{\left(1f_0 + \frac{1}{2}f_0 + \frac{3}{3}f_0 + \frac{2}{6}f_0 + \frac{1}{9}f_0\right)}{8} = 0.368f_0 = 18.4$ МГц;

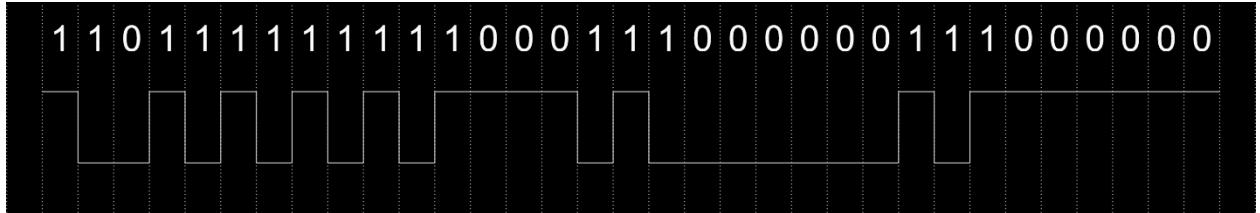
Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{(f_{\text{в}} + f_{\text{н}})}{2} = 27.778$ МГц; $f_{\text{ср}} < f_{\frac{1}{2}}$ => **следовательно в спектре сигнала преобладают низкие частоты.**

Полоса пропускания, необходимая для точной передачи данного сообщения данным кодом, например: $F = 45$ МГц

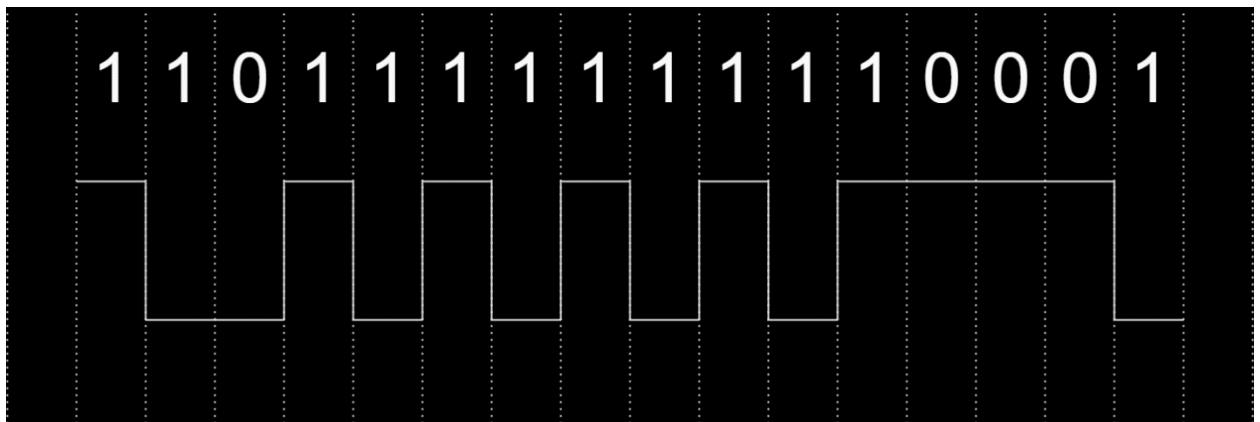
Отсюда можно сделать вывод, что потенциальный код уязвим к шумам и не обладает способностью распознавания ошибок. Также NRZ обладает постоянной составляющей и не имеет синхронизации. Но NRZ неплох в том, что в общем случае имеет относительно небольшой спектр сигнала. Также потенциальный код легко реализовать, и он имеет неплохую скорость передачи. В классическом виде на практике не используется.

Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI)

Временная диаграмма кодирования первых 4 байт:



Временная диаграмма кодирования первых 2 байт:



Расчёт верхней границы: $C = 100 \frac{M\text{бит}}{c}$; $f_{\text{в}} = \frac{1}{T}$; $C = \frac{1}{t}$; $T = 2t \rightarrow f_{\text{в}} = \frac{C}{2} \text{ Гц} = 50 \text{ МГц}$;

Расчёт нижней границы: $T = 12t \rightarrow f_{\text{н}} = \frac{C}{12} \text{ Гц} = 8.333 \text{ МГц}$;

Следовательно спектр сообщения: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 0.417C \text{ Гц} = 41.667 \text{ МГц}$;

Средняя частота спектра: $f_{\text{ср}} = \frac{\left(13f_0 + \frac{1}{2}f_0 + \frac{4}{4}f_0 + \frac{2}{7}f_0\right)}{20} = 0.739f_0 = 36.95 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{(f_{\text{в}} + f_{\text{н}})}{2} = 29.1665 \text{ МГц}$; $f_{\text{ср}} < f_{\frac{1}{2}}$ => **следовательно в спектре сигнала преобладают низкие частоты.**

Полоса пропускания, необходимая для точной передачи данного сообщения данным кодом, например: $F = 45 \text{ МГц}$

Неплохой способ передачи сообщения, но постоянные составляющие, отсутствие самосинхронизации и спектр шире, чем у NRZ, не делает этот метод полезным для нас.

Таблица сравнения всех методов:

	1	2	3	4	5
Diff Manch	$f_0 = C$	Есть	Нет	Нет	2
Manchester	$f_0 = C$	Есть	Нет	Нет	2
NRZ	$f_0 = \frac{C}{2}$	Нет	Есть	Нет	2
RZ	$f_0 = C$	Есть	Нет	Есть	3
NRZI	$f_0 = \frac{C}{2}$	Нет	Есть	Нет	2

Параметры сравнения:

1. Спектр сигнала
2. Самосинхронизация
3. Постоянная составляющая
4. Обнаружение ошибок
5. Стоимость реализации

Проанализировав характеристики различных методов кодирования, можно сделать следующие выводы:

- **NRZ** отличается простотой реализации и узким спектром, что позволяет достигать высокой скорости передачи. К существенным недостаткам относятся наличие постоянной составляющей и низкая способность к самосинхронизации, особенно при передаче длинных последовательностей одинаковых бит, что снижает общую надёжность.
- **NRZI** устраняет проблему постоянной составляющей лишь частично по сравнению с NRZ, сохраняя при этом простоту реализации. Его главный минус — зависимость от статистики данных: длинные последовательности нулей приводят к потере синхронизации. Тем не менее, в сравнении с более сложными методами, такими как AMI, использование двух уровней сигнала делает NRZI более экономичным решением.
- **Манчестерский код** обеспечивает превосходную синхронизацию и не имеет постоянной составляющей, значительно повышая надёжность передачи. Расплатой за это становится двукратное увеличение полосы пропускания и возросшая сложность схемы кодирования.
- **Дифференциальный манчестерский код** сохраняет все достоинства манчестерского кодирования и добавляет к ним устойчивость к инверсии сигнала, что критически важно в условиях помех. Несмотря на сложность реализации и широкий спектр, его преимущества с лихвой окупают эти недостатки.

Вывод: наиболее сбалансированными по сочетанию надёжности и функциональности представляются методы манчестерского и дифференциального манчестерского кодирования.

Логическое кодирование исходного сообщения

Избыточное кодирование (4B/5B)

Воспользуемся таблицей перекодировки:

Исходные символы	Результирующие символы	Исходные символы	Результирующие символы
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: $A = 1101\ 1111\ 1111\ 0001\ 1100\ 0000\ 1100\ 0000$

Результат: $B = 11011\ 11101\ 11101\ 01001\ 11010\ 11110\ 11010\ 11110$

Шестнадцатеричный код: 1B 1D 1D 09 1A 1E 1A 1E

Длина сообщения: 40 бит (5 байт)

Избыточность 25%

Временная диаграмма для манчестерского кода, модифицированного с помощью избыточного кодирования:



Расчёт верхней границы: $C = 100 \frac{M\text{бит}}{c} ; f_{\text{в}} = \frac{1}{T} ; C = \frac{1}{t} ; T = t \rightarrow f_{\text{в}} = C \text{ Гц} = 100 \text{ МГц} ;$

Расчёт нижней границы: $T = 2t \rightarrow f_{\text{н}} = \frac{C}{2} \text{ Гц} = 50 \text{ МГц} ;$

Следовательно спектр сообщения: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 0.5C \text{ Гц} = 50 \text{ МГц} ;$

Средняя частота спектра: $f_{cp} = \frac{(38f_0 + \frac{21f_0}{2})}{59} = 0.8220f_0 = 82.20\text{МГц}$;

Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{(f_b + f_h)}{2} = 75\text{ МГц}$; $f_{cp} > f_{\frac{1}{2}}$ => **следовательно в спектре сигнала преобладают высокие частоты.**

Полоса пропускания, необходимая для точной передачи данного сообщения данным кодом, например: $F = 55\text{ МГц}$;

Так как избыточное кодирование применяется для модификации физического кодирования рассмотрим, как манчестерский код улучшился. Так как мы использовали манчестерский код спектр сигнала никак не изменился, но мы получили возможность обнаруживать ошибки в передаче сообщения, благодаря запрещённым кодировкам. Но в целом избыточное кодирование никак сильно не повлияло на качество кодирования.

Скремблирование

Исходное сообщение: $A = 1101\ 1111\ 1111\ 0001\ 1100\ 0000\ 1100\ 0000$

Полином для скремблирования: $B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$;

Выбор обосновывается тем, что первые три символа это 110, поэтому не будет постоянной составляющей и такой выбор выгоден для нас.

$$B_1 = A_1 = 1;$$

$$B_2 = A_2 = 1;$$

$$B_3 = A_3 = 0;$$

$$B_4 = A_4 \oplus B_1 = 0;$$

$$B_5 = A_5 \oplus B_2 = 0;$$

$$B_6 = A_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 0;$$

$$B_7 = A_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 0;$$

$$B_8 = A_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 1;$$

$$B_9 = A_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 1;$$

$$B_{10} = A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 1;$$

$$B_{11} = A_{11} \oplus B_8 \oplus B_6 = 0;$$

$$B_{12} = A_{12} \oplus B_9 \oplus B_7 = 0;$$

$$B_{13} = A_{13} \oplus B_{10} \oplus B_8 = 0;$$

$$B_{14} = A_{14} \oplus B_{11} \oplus B_9 = 1;$$

$$B_{15} = A_{15} \oplus B_{12} \oplus B_{10} = 1;$$

$$B_{16} = A_{16} \oplus B_{13} \oplus B_{11} = 1;$$

$$B_{17} = A_{17} \oplus B_{14} \oplus B_{12} = 0;$$

$$B_{18} = A_{18} \oplus B_{15} \oplus B_{13} = 0;$$

$$B_{19} = A_{19} \oplus B_{16} \oplus B_{14} = 0;$$

$$B_{20} = A_{20} \oplus B_{17} \oplus B_{15} = 1;$$

$$B_{21} = A_{21} \oplus B_{18} \oplus B_{16} = 1;$$

$$B_{22} = A_{22} \oplus B_{19} \oplus B_{17} = 0;$$

$$B_{23} = A_{23} \oplus B_{20} \oplus B_{18} = 1;$$

$$B_{24} = A_{24} \oplus B_{21} \oplus B_{19} = 1;$$

$$B_{25} = A_{25} \oplus B_{22} \oplus B_{20} = 0;$$

$$B_{26} = A_{26} \oplus B_{23} \oplus B_{21} = 1;$$

$$B_{27} = A_{27} \oplus B_{24} \oplus B_{22} = 1;$$

$$B_{28} = A_{28} \oplus B_{25} \oplus B_{23} = 1;$$

$$B_{29} = A_{29} \oplus B_{26} \oplus B_{24} = 0;$$

$$B_{30} = A_{30} \oplus B_{27} \oplus B_{25} = 1;$$

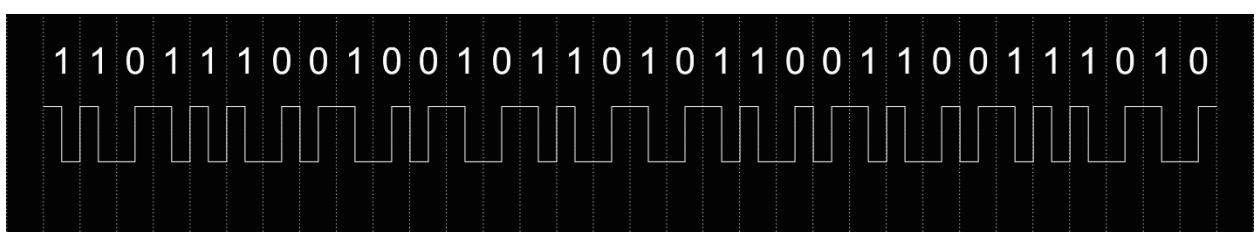
$$B_{31} = A_{31} \oplus B_{28} \oplus B_{26} = 0;$$

$$B_{32} = A_{32} \oplus B_{29} \oplus B_{27} = 1;$$

Результат: $B = 1101\ 1100\ 1001\ 0110\ 1011\ 0011\ 0011\ 1010$

Шестнадцатеричный код: DC 96 B3 3A

Временная диаграмма для манчестерского кода, модифицированного с помощью скремблирования:



Расчёт верхней границы: $C = 100 \frac{M\text{бит}}{c}; f_{\text{в}} = \frac{1}{T}; C = \frac{1}{t}; T = t \rightarrow f_{\text{в}} = C \text{ Гц} = 100 \text{ МГц};$

Расчёт нижней границы: $T = 2t \rightarrow f_{\text{н}} = \frac{C}{2} \text{ Гц} = 50 \text{ МГц};$

Следовательно спектр сообщения: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 0.5C \text{ Гц} = 50 \text{ МГц};$

Средняя частота спектра: $f_{\text{ср}} = \frac{(26f_0 + \frac{19f_0}{2})}{45} = 0.78889f_0 = 78.889 \text{ МГц};$

Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{(f_{\text{в}} + f_{\text{н}})}{2} = 75 \text{ МГц}; f_{\text{ср}} > f_{\frac{1}{2}} \Rightarrow \text{следовательно в спектре сигнала преобладают высокие частоты.}$

Полоса пропускания, необходимая для точной передачи данного сообщения данным кодом, например: $F = 55 \text{ МГц};$

Отсюда мы можем сделать вывод, что скремблирование и вправду помогло избавиться от длинных последовательностей нулей и единиц, и если бы мы использовали какой-либо код, находящийся в зоне риска постоянных

составляющих, то скремблирование нам бы очень помогло. Но так как мы выбрали скремблировать манчестерский код, то скремблирование не дало нам никакой выгоды.

Сравнительный анализ методов логического кодирования

Таблица сравнения методов кодирования:

	1	2	3	4	5
Избыточное	$f_0 = C$	Есть	Нет	Есть	2
Скремблирование	$f_0 = C$	Есть	Нет	Нет	2

Параметры сравнения:

1. Спектр сигнала
2. Самосинхронизация
3. Постоянная составляющая
4. Обнаружение ошибок
5. Стоимость реализации

Проведя сравнение, можно прийти к выводу, что использование избыточного кодирования для модификации манчестерского кода демонстрирует более высокую эффективность по сравнению со скремблированием. Это объясняется следующими причинами:

1. **Целесообразность:** Скремблирование не решает ключевых задач, актуальных для манчестерского кода и нашей системы, таких как обнаружение ошибок.
2. **Сложность реализации:** Алгоритмы скремблирования и дескремблирования требуют значительных вычислительных ресурсов для своей реализации.
3. **Преимущества избыточного кодирования:** Данный метод не только реализуется крайне просто, но и привносит полезную функциональность — возможность обнаружения ошибок за счёт введения запрещённых комбинаций символов.

Таким образом, избыточное кодирование предлагает более выгодное соотношение простоты, стоимости и полезности.

Вывод

В ходе выполнения данной лабораторной работы было изучено несколько методов физического и логического кодирования. На основе анализа характеристик передаваемого сообщения было установлено, что наиболее подходящими являются методы манчестерского кодирования и дифференциального манчестерского кодирования.

Данные методы демонстрируют оптимальный баланс характеристик:

- обеспечивают достаточную скорость передачи данных
- не содержат постоянной составляющей
- отличаются относительной простотой реализации

Что касается логического кодирования, то его применение для манчестерского кода показало неоднозначные результаты. Скремблирование не приносит существенных преимуществ, в то время как избыточное кодирование хотя и обеспечивает обнаружение ошибок, но снижает общую скорость передачи на 25% из-за введения избыточности.

Таким образом, для данного сообщения наиболее рациональным решением является использование стандартного манчестерского кодирования без дополнительного логического кодирования.