

Университет ИТМО

Сети ЭВМ и телекоммуникации
Лабораторная работа №1

Выполнила: Калугина Марина
Группа: Р3302

г. Санкт-Петербург

2020 г.

Содержание

Содержание	2
Цель	4
Задание	4
Ход работы	4
Формирование сообщения	4
Физическое кодирование	4
2.1 Определение частот	4
2.2.1 Манчестерский код	5
Физическое кодирование	5
Расчет значений	6
Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения	7
2.2.1 Потенциальный код NRZ	7
Физическое кодирование	7
Расчет значений	8
Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения	9
2.2.3 Потенциальный код RZ	10
Физическое кодирование	10
Расчет значений	10
Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения	11
2.2.5 Пятиуровневый код PAM-5 (Потенциальный код 2B1Q)	11
Физическое кодирование	11
Расчет значений	12
Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения	13
Сравнительный анализ физического кодирования	14
Логическое кодирование	15
4B/5B	15
Логическое кодирование	15
Расчет значений	15
Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения	17
Сравнение 4B/5B с физическим кодированием NRZ	17
Скремблирование 3-5	18
Расчет сообщения	18
Определение значений	19
Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения	20
Сравнение с физическим кодированием	21
Сравнение рассмотренных логических методов кодирования	21

Цель

изучение методов логического и физического кодирования, используемых в цифровых сетях передачи данных.

Задание

Выполнить логическое и физическое кодирование исходного сообщения в соответствии с заданными методами кодирования, провести сравнительный анализ рассматриваемых методов кодирования, выбрать и обосновать наилучший метод для передачи исходного сообщения.

Ход работы

1. Формирование сообщения

Сообщение: Калугина М.М.

Шестнадцатеричный код: CA E0 EB F3 E3 E8 ED E0 20 CC 2E CC 2E

Двоичный код: 11001010 11100000 11101011 11110011 11100011 11101000 11101101
11100000 00100000 11001100 00101110 11001100 00101110

Длина сообщения: 13 байт, 104 бит

2. Физическое кодирование

2.1 Определение частот

За основу берем разложение сигнала 10101010... в ряд Фурье (рис 1)

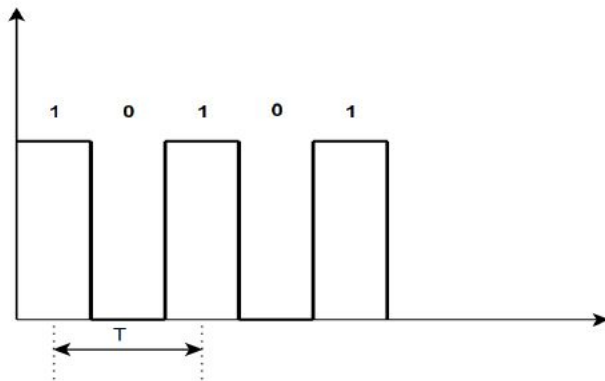


Рис 1

Первые четыре гармоники которого имеют вид:

$$A_0 \sin(2\pi F_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3F_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5F_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7F_0 t)$$

Где F_0 – частота основной гармоники.

T — период основной гармоники, равный времени передачи двух бит сообщения.

$$T = 2 \cdot Bt$$

Для пропускной способности 10Mbps определим F_0 :

$$Bt = 1/10\text{Mbps} = 100\text{нс}$$

$$T = 2 \cdot Bt = 200\text{нс}$$

$$F_0 = 1/T = 1/200\text{нс} = 0,5 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

Аналогично для 100Mbps: $F_0 = 0,5 \cdot 10^8 \text{ Гц}$

Для 1000Mbps $F_0 = 0,5 \cdot 10^9 \text{ Гц}$

В ходе выполнения работы было выполнено 4 физических кодирования с использованием: потенциального кода NRZ, манчестерского кода, потенциального кода RZ и пятиуровневого кода PAM-5

Вот же они сверху вниз:

2.2.1 Манчестерский код

Физическое кодирование

На рисунке 2 представлен результат кодирования первых четырех байт сообщения манчестерским кодом

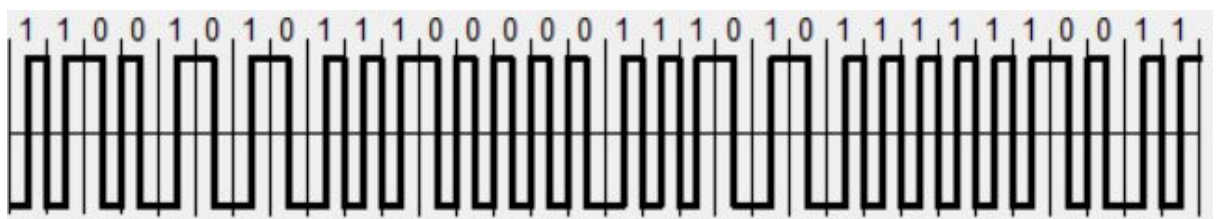


Рис.2

Расчет значений

Из диаграммы на рисунке 2 видно, что T_{\min} достигается при кодировании последовательных одинаковых бит (11 и 00) и равен $T/2$, следовательно $F_{\max} = 2F_0$. T_{\max} достигается при кодировании последовательно чередующихся бит (10 и 01), при этом $F_{\min} = F_0$.

Сигнал вида "111111..." можно представить как повторяющуюся последовательность участков 11, частота основной гармоники сигнала на которых равна F_{\max} , следовательно значение частоты основной гармоники сигнала вида "111111..." будет равно $2F_0$. Для данного способа кодирования частота основной гармоники сигнала вида "000000..." равна частоте основной гармоники сигнала вида "111111..."

Таким образом, используя разложение на ряд Фурье для сигнала из последовательных единиц (нулей) будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi 2F_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 6F_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 10F_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 14F_0 t)$$

Ряд Фурье для последовательно чередующихся сигналов будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi F_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3F_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5F_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7F_0 t)$$

Отсюда получаем спектр частот $F_0 \dots 14F_0$

Для пропускной способности 10Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": $2F_0 = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^7 = 10^7 \text{ Гц} = 10 \text{ МГц}$
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $14F_0 = 14 \cdot 0,5 \cdot 10^7 = 7 \cdot 10^7 \text{ Гц}$
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0 = 0,5 \cdot 10^7 = 5 \cdot 10^6 \text{ Гц}$
Необходимая полоса пропускания: $5 \cdot 10^6 \dots 7 \cdot 10^7 \text{ Гц}$

Для пропускной способности 100Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": $2F_0 = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^8 = 10^8 \text{ Гц} = 100 \text{ МГц}$
Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $14F_0 = 14 \cdot 0,5 \cdot 10^8 = 7 \cdot 10^8 \text{ Гц}$
Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0 = 0,5 \cdot 10^8 = 5 \cdot 10^7 \text{ Гц}$
Необходимая полоса пропускания: $5 \cdot 10^7 \dots 7 \cdot 10^8 \text{ Гц}$

Для пропускной способности 1000Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": $2F_0 = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^9 = 10^9 \text{ Гц} = 1 \text{ ГГц}$

Рис.2

Расчет значений

Из диаграммы на рисунке 2 видно, что T_{\min} достигается при кодировании чередующихся сигналов, например, на участке 101, и равен T . T_{\max} достигается на участках без чередования. При передаче сообщения - T_{\max} равен $7T$.

Таким образом, используя разложение на ряд Фурье для сигнала из последовательных единиц (нулей) будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi F_0/7t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3/7 F_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5/7 F_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi F_0 t)$$

Ряд Фурье для последовательно чередующихся сигналов будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi F_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3 F_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5 F_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7 F_0 t)$$

Отсюда получаем спектр частот: $F_0/7 \dots 7F_0$.

Для данного метода кодирования сигналы из последовательно повторяющихся нулей/единиц вырождаются в прямую линию, поэтому частота их основной гармоники будет равна 0 для каждой пропускной способности.

Для пропускной способности 10Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $7F_0 = 7 * 0,5 * 10^7$ Гц = 350000000 Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/7 = 0,5 * 10^7 / 7$ Гц = 7142857 Гц

Необходимая полоса пропускания: 7142857 - 350000000 Гц

Для пропускной способности 100Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $7F_0 = 7 * 0,5 * 10^8$ Гц = 350000000 Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/7 = 0,5 * 10^8 / 7$ Гц = 7142857 Гц

Необходимая полоса пропускания: 7142857 - 350000000 Гц

Для пропускной способности 1000Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $7F_0 = 7 * 0,5 * 10^9$ Гц = 3500000000 Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/7 = 0,5 \cdot 10^9 / 7 \text{ Гц} = 71428571 \text{ Гц}$
Необходимая полоса пропускания: $71428571 - 3500000000 \text{ Гц}$

Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения

На представленной диаграмме можно выделить участки с разными частотами:
F1..F7

F1 соответствует участкам вида "1" и "0", которые в сумме занимают 18 битовых интервала
F2 соответствует участкам вида "11" и "00", которые в сумме занимают 20 битовых интервала
F3 соответствует участкам вида "111" и "000", которые в сумме занимают 21 битовых интервала
F4 соответствует участкам вида "1111" и "0000", которые в сумме занимают 12 битовых интервала
F5 соответствует участкам вида "11111" и "00000", которые в сумме занимают 20 битовых интервала
F6 соответствует участкам вида "111111" и "000000", которые в сумме занимают 6 битовых интервала
F7 соответствует участкам вида "1111111" и "0000000", которые в сумме занимают 7 битовых интервала

Аналогично нахождению F_{\min} и F_{\max} определяем, что $F_1 = F_0$, $F_2 = F_0/2$, $F_3 = F_0/3$, $F_4 = F_0/4$, $F_5 = F_0/5$, $F_6 = F_0/6$, $F_7 = F_0/7$

В таком случае:

Для 10Mbps:

$$F_{\text{ср}} = 18/104 \cdot F_1 + 20/104 \cdot F_2 + 21/104 \cdot F_3 + 12/104 \cdot F_4 + 20/104 \cdot F_5 + 6/104 \cdot F_6 + 7/104 \cdot F_7 = \\ 18/104 \cdot 5000000.0/1 + 20/104 \cdot 5000000.0/2 + 21/104 \cdot 5000000.0/3 + 12/104 \cdot 5000000.0/4 + \\ 20/104 \cdot 5000000.0/5 + 6/104 \cdot 5000000.0/6 + 7/104 \cdot 5000000.0/7 = 2115385$$

Для 100Mbps:

$$F_{\text{ср}} = 18/104 \cdot F_1 + 20/104 \cdot F_2 + 21/104 \cdot F_3 + 12/104 \cdot F_4 + 20/104 \cdot F_5 + 6/104 \cdot F_6 + 7/104 \cdot F_7 = \\ 18/104 \cdot 50000000/1 + 20/104 \cdot 50000000/2 + 21/104 \cdot 50000000/3 + 12/104 \cdot 50000000/4 + \\ 20/104 \cdot 50000000/5 + 6/104 \cdot 50000000/6 + 7/104 \cdot 50000000/7 = 21153846 \text{ Гц}$$

Для 1000Mbps:

$$F_{\text{ср}} = 18/104 \cdot F_1 + 20/104 \cdot F_2 + 21/104 \cdot F_3 + 12/104 \cdot F_4 + 20/104 \cdot F_5 + 6/104 \cdot F_6 + 7/104 \cdot F_7 = \\ 18/104 \cdot 500000000/1 + 20/104 \cdot 500000000/2 + 21/104 \cdot 500000000/3 + 12/104 \cdot 500000000/4 + \\ 20/104 \cdot 500000000/5 + 6/104 \cdot 500000000/6 + 7/104 \cdot 500000000/7 = 211538462 \text{ Гц}$$

2.2.3 Потенциальный код RZ

Физическое кодирование

На рисунке 4 представлен результат кодирования первых четырех байт сообщения потенциальным кодом RZ



Рис.4

Расчет значений

Как видно из временной диаграммы, T_{\min} на участке сообщения 11 и равен $T/2$, следовательно $F_{\max}=2F_0$. T_{\max} на участке 10 и равен T , следовательно $F_{\min}=F_0$. Где F_{\max} и F_{\min} — частоты на участках 11 и 10 соответственно.

По аналогии с манчестерским кодированием и потенциальным кодом NRZ получаем спектр частот $F_0 \dots 14F_0$

$$A_0 \sin(2\pi F_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3F_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5F_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7F_0 t)$$
 для чередующихся сигналов и

$$A_0 \sin(2\pi 2F_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 6F_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 10F_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 14F_0 t)$$
 для последовательных единиц/нулей.

Отсюда получаем спектр частот $F_0 \dots 14F_0$

Сигнал вида "111111..." и "000000.." можно представить как повторяющуюся последовательность участков 11/00, частота основной гармоники сигнала на которых равна F_{\max} , следовательно значение частоты основной гармоники сигнала вида "111111..." будет равно $2F_0$.

Для пропускной способности 10Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": $2F_0 = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^7 = 10^7$ Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $14F_0 = 14 \cdot 0,5 \cdot 10^7 = 70000000$ Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0 = 5000000$ Гц

Необходимая полоса пропускания: $5000000 - 70000000$ Гц

Для пропускной способности 100Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": $2F_0 = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^8 = 10^8$ Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $14F_0 = 14 \cdot 0,5 \cdot 10^8 = 700000000$ Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0 = 500000000$ Гц

Необходимая полоса пропускания: 500000000 - 700000000 Гц

Для пропускной способности 1000Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": $2F_0 = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^9 = 10^9$ Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $14F_0 = 14 \cdot 0,5 \cdot 10^9 = 7000000000$ Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0 = 500000000$ Гц

Необходимая полоса пропускания: 500000000 - 7000000000 Гц

Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения

В данном сообщении на представленной диаграмме можно выделить частоты двух видов: F1 и F2 - участки, вида 11 и 00, без чередования сигналов и участки, вида 10 и 01, с чередованием, соответственно.

Среднее значение частоты:

$$F_{\text{ср}} = 60/104 \cdot F_1 + 44/104 \cdot F_2$$

Для 10Mbps:

$$F_0 = 0,5 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

$$F_{\text{ср}} = 60/104 \cdot F_1 + 44/104 \cdot F_2 = 60/104 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 10^7 + 44/104 \cdot 0,5 \cdot 10^7 = 7884615 \text{ Гц}$$

Для 100Mbps:

$$F_0 = 5 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

$$F_{\text{ср}} = 60/104 \cdot F_1 + 44/104 \cdot F_2 = 60/104 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^7 + 44/104 \cdot 5 \cdot 10^7 = 78846154 \text{ Гц}$$

Для 1000Mbps:

$$F_0 = 5 \cdot 10^8 \text{ Гц}$$

$$F_{\text{ср}} = 60/104 \cdot F_1 + 44/104 \cdot F_2 = 60/104 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^8 + 44/104 \cdot 5 \cdot 10^8 = 788461538 \text{ Гц}$$

2.2.5 Пятиуровневый код РМ-5 (Потенциальный код 2B1Q)

Физическое кодирование

На рисунке 5 представлен результат кодирования первых четырех байт сообщения пятиуровневым кодом РМ-5

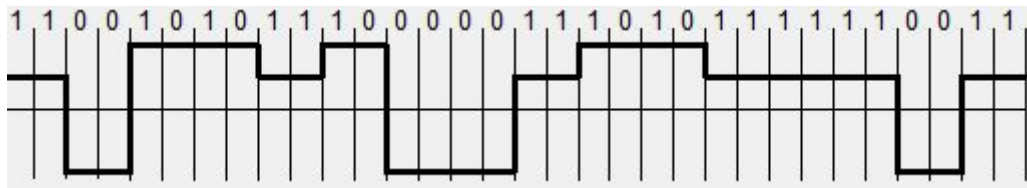


Рис.5

Расчет значений

Как видно из временной диаграммы, T_{\min} на участке сообщения 110011 и равен $2T$, следовательно $F_{\max}=F_0/2$. T_{\max} на участке 111010111111 и равен $12T$, следовательно $F_{\min}=F_0/12$.

Разложение сигнала в ряд Фурье для сообщения с чередующимися сигналами вида 110011:

$$A_0 \sin(2\pi F_0/2t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3/2F_0t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5/2F_0t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7/2F_0t)$$

Разложение для нечередующихся участков:

$$A_0 \sin(2\pi F_0/12t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3/12F_0t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5/12F_0t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7/12F_0t)$$

Отсюда получаем спектр частот $F_0/12 \dots 3,5F_0$

Для данного метода кодирования сигналы вида "111111..." и "0000000..." вырождаются в прямую линию, поэтому частота их основной гармоники будет равна 0.

Для пропускной способности 10Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $3,5F_0 = 3,5 \cdot 0,5 \cdot 10^7 = 17500000$ Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/12 = 0,5 \cdot 10^7/12 = 416667$ Гц

Необходимая полоса пропускания: $416667 - 17500000$ Гц

Для пропускной способности 100Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $3,5F_0 = 3,5 \cdot 0,5 \cdot 10^8 = 175000000$ Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/12 = 0,5 \cdot 10^8/12 = 4166667$ Гц

Необходимая полоса пропускания: $4166667 - 175000000$ Гц

Для пропускной способности 1000Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $3,5F_0 = 3,5 \cdot 0,5 \cdot 10^9 = 1750000000$ Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/12 = 0,5 \cdot 10^9/12 = 41666667$ Гц

Необходимая полоса пропускания: 41666667 - 1750000000 Гц

Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения

F1 соответствует участкам вида "11", которые в сумме занимают 8 битовых интервала

F2 соответствует участкам вида "00", которые в сумме занимают 12 битовых интервала

F3 соответствует участкам вида "10101110", которые в сумме занимают 8 битовых интервала

F4 соответствует участкам вида "0000", которые в сумме занимают 16 битовых интервала

F5 соответствует участкам вида "11101011111", которые в сумме занимают 12 битовых интервала

F6 соответствует участкам вида "111110", которые в сумме занимают 6 битовых интервала

F7 соответствует участкам вида "11111010", которые в сумме занимают 8 битовых интервала

F8 соответствует участкам вида "111011", которые в сумме занимают 6 битовых интервала

F9 соответствует участкам вида "01", которые в сумме занимают 2 битовых интервала

F10 соответствует участкам вида "1110", которые в сумме занимают 4 битовых интервала

F11 соответствует участкам вида "000000", которые в сумме занимают 6 битовых интервала

F12 соответствует участкам вида "10", которые в сумме занимают 2 битовых интервала

F13 соответствует участкам вида "10111011", которые в сумме занимают 8 битовых интервала

F14 соответствует участкам вида "101110", которые в сумме занимают 6 битовых интервала

Аналогично нахождению F_{\min} и F_{\max} определяем, что $F_1 = F_0$, $F_2 = F_0/2$, ... , $F_{14} = F_0/14$

Для 10Mbps:

$$F_0 = 0.5 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

$$F_{cp} = + 2 \cdot 4/104 \cdot 2500000.0 + 2 \cdot 6/104 \cdot 2500000.0 + 8 \cdot 1/104 \cdot 625000.0 + 4 \cdot 4/104 \cdot 1250000.0 + \\ 12 \cdot 1/104 \cdot 416666.6666666667 + 6 \cdot 1/104 \cdot 833333.3333333334 + 8 \cdot 1/104 \cdot 625000.0 + \\ 6 \cdot 1/104 \cdot 833333.3333333334 + 2 \cdot 1/104 \cdot 2500000.0 + 4 \cdot 1/104 \cdot 1250000.0 + \\ 6 \cdot 1/104 \cdot 833333.3333333334 + 2 \cdot 1/104 \cdot 2500000.0 + 8 \cdot 1/104 \cdot 625000.0 + \\ 6 \cdot 1/104 \cdot 833333.3333333334 = 1201923 \text{ Гц}$$

Для 100Mbps:

$$F_0 = 5 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

$$F_{cp} = 2 \cdot 4/104 \cdot 25000000.0 + 2 \cdot 6/104 \cdot 25000000.0 + 8 \cdot 1/104 \cdot 6250000.0 + 4 \cdot 4/104 \cdot 12500000.0 + \\ + 12 \cdot 1/104 \cdot 416666.6666666665 + 6 \cdot 1/104 \cdot 833333.3333333333 + 8 \cdot 1/104 \cdot 6250000.0 + \\ 6 \cdot 1/104 \cdot 833333.3333333333 + 2 \cdot 1/104 \cdot 25000000.0 + 4 \cdot 1/104 \cdot 12500000.0 + \\ 6 \cdot 1/104 \cdot 833333.3333333333 + 2 \cdot 1/104 \cdot 25000000.0 + 8 \cdot 1/104 \cdot 6250000.0 + \\ 6 \cdot 1/104 \cdot 833333.3333333333 = 12019230 \text{ Гц}$$

Для 1000Mbps:

$$F_0 = 5 \cdot 10^8 \text{ Гц}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cp} = & 2^4/104*250000000.0 + 2^6/104*250000000.0 + 8^1/104*62500000.0 + \\
 & 4^4/104*125000000.0 + 12^1/104*41666666.666666664 + 6^1/104*83333333.33333333 + \\
 & 8^1/104*62500000.0 + 6^1/104*83333333.33333333 + 2^1/104*250000000.0 + \\
 & 4^1/104*125000000.0 + 6^1/104*83333333.33333333 + 2^1/104*250000000.0 + \\
 & 8^1/104*62500000.0 + 6^1/104*83333333.33333333 = 120192308 \text{ Гц}
 \end{aligned}$$

Сравнительный анализ физического кодирования

В таблице 1 показано сравнение характеристик для проанализированных способов кодирования.

Вид:	Стоимость:	Самосинхронизация:	Ширина необходимой полосы пропускания(значения для 1000Mbps)
Манчест.	мин	есть	6.5ГГц
NRZ	мин	нет	3.44ГГц
RZ	ср	есть	6.5ГГц
2B1Q	макс	нет	1.7ГГц

Манчестерское кодирование не требует синхронизации, однако требует более широкую полосу пропускания, нежели NRZ и 2B1Q.

NRZ имеет более узкую полосу пропускания, по сравнению с Манчестерским и RZ кодированием, однако более широкую, чем у 2B1Q кодирования, имеет вероятность ошибки, при передаче длинных последовательностей нулей или единиц.

RZ кодирование обладает свойством самосинхронизации, однако требует аппаратуру, способную работать с тремя уровнями сигнала и широкую полосу пропускания, что удорожает данный способ кодирования.

2B1Q требует самую узкую полосу пропускания, по сравнению с остальными методами кодирования. Имеет вероятность ошибки, при передаче длинных последовательностей нулей или единиц, однако эта вероятность ниже, чем у NRZ за счет того, что кодируется сразу 2 байта. Требуется аппаратура, способную работать с 4мя уровнями сигнала, что делает её самой дорогой, среди всех четырёх сравниваемых методов.

Исходя из сравнительного анализа можно сделать вывод, что наиболее подходящими методами кодирования для передачи исходного сообщения будут RZ и манчестерский, т. к. эти методы обладают свойствами самосинхронизации, расплачиваясь за это широкой необходимой полосой пропускания для обоих методов, минимальной стоимостью в случае с манчестерским и средней стоимостью в случае с RZ.

Логическое кодирование

4В/5В

Логическое кодирование

Исходное сообщение:

11001010 11100000 11101011 11110011 11100011 11101000 11101101 11100000
00100000 11001100 00101110 11001100 00101110

Табл. 2

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

Из исходного сообщения, соответствуя таблице 2 было получено новое закодированное сообщение

Закодированное сообщение:

BIN: 11010101 10111001 11101110 01011111 10110101 11100101 01111001 00101110
01101111 10011110 10100111 10110101 10101010 01110011 01011010 10100111 00
HEX: D5 B9 EE 5F B5 E5 79 2E 6F 9E A7 B5 AA 73 5A A7 00

Длина сообщения: 130 бит

Избыточность: $(130-104)/104 = 0.25$ (25%)

Расчет значений

Для физического кодирования полученного сообщения будем использовать метод NRZ. На рисунке 6 показано кодирование первых четырех байт.

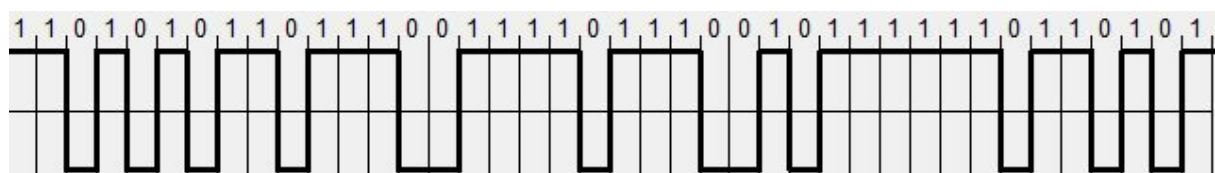


Рис.6

Как видно из диаграммы на рисунке 6, T_{\min} на участке сообщения с чередованием сигналов (например, 101) и равен T , следовательно $F_{\max}=F_0$. T_{\max} находится на участке без чередования сигналов (последовательные одинаковые сигналы) и равен $6T$, следовательно $F_{\min}=F_0/6$.

Таким образом, используя разложение на ряд Фурье для сигнала из последовательных единиц (нулей) будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi F_0/6t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3/6 F_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5/6 F_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7/6 F_0 t)$$

Ряд Фурье для последовательно чередующихся сигналов будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi F_0 t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3 F_0 t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5 F_0 t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7 F_0 t)$$

Отсюда получаем спектр частот: $F_0/6 \dots 7F_0$.

Для данного метода кодирования сигналы из последовательно повторяющихся нулей/единиц вырождаются в прямую линию, поэтому частота их основной гармоники будет равна 0 для каждой пропускной способности.

Для пропускной способности 10Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $7F_0 = 7 * 0,5 * 10^7$ Гц = 350000000 Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/6 = 0,5 * 10^7 / 6$ Гц = 833333 Гц

Необходимая полоса пропускания: 833333 - 350000000 Гц

Для пропускной способности 100Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $7F_0 = 7 * 0,5 * 10^8$ Гц = 350000000 Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/6 = 0,5 * 10^8 / 6$ Гц = 8333333 Гц

Необходимая полоса пропускания: 8333333 - 350000000 Гц

Для пропускной способности 1000Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $7F_0 = 7 * 0,5 * 10^9$ Гц = 3500000000 Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/7 = 0,5 * 10^9 / 7$ Гц = 83333333 Гц

Необходимая полоса пропускания: 83333333 - 3500000000 Гц

Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения

На представленной диаграмме можно выделить участки с разными частотами:
F1..F6

F1 соответствует участкам вида "1" и "0", которые в сумме занимают 44 битовых интервала

F2 соответствует участкам вида "11" и "00", которые в сумме занимают 40 битовых интервала

F3 соответствует участкам вида "111" и "000", которые в сумме занимают 15 битовых интервала

F4 соответствует участкам вида "1111" и "0000", которые в сумме занимают 20 битовых интервала

F5 соответствует участкам вида "11111" и "00000", которые в сумме занимают 5 битовых интервала

F6 соответствует участкам вида "111111" и "000000", которые в сумме занимают 6 битовых интервала

Аналогично нахождению F_{min} и F_{max} определяем, что $F1 = F0$, $F2 = F0/2$, $F3 = F0/3$, $F4 = F0/4$, $F5 = F0/5$, $F6 = F0/6$

В таком случае:

Для 10Mbps:

$$F_{cp} = 44/130 \cdot F1 + 40/130 \cdot F2 + 15/130 \cdot F3 + 20/130 \cdot F4 + 5/130 \cdot F5 + 6/130 \cdot F6 = \\ 44/130 \cdot 5000000.0/1 + 40/130 \cdot 5000000.0/2 + 15/130 \cdot 5000000.0/3 + 20/130 \cdot 5000000.0/4 + \\ 5/130 \cdot 5000000.0/5 + 6/130 \cdot 5000000.0/6 = 2923077 \text{ Гц}$$

Для 100Mbps:

$$F_{cp} = 44/130 \cdot F1 + 40/130 \cdot F2 + 15/130 \cdot F3 + 20/130 \cdot F4 + 5/130 \cdot F5 + 6/130 \cdot F6 = \\ 44/130 \cdot 50000000/1 + 40/130 \cdot 50000000/2 + 15/130 \cdot 50000000/3 + 20/130 \cdot 50000000/4 + \\ 5/130 \cdot 50000000/5 + 6/130 \cdot 50000000/6 = 29230769 \text{ Гц}$$

Для 1000Mbps:

$$F_{cp} = 44/130 \cdot F1 + 40/130 \cdot F2 + 15/130 \cdot F3 + 20/130 \cdot F4 + 5/130 \cdot F5 + 6/130 \cdot F6 = \\ 44/130 \cdot 500000000/1 + 40/130 \cdot 500000000/2 + 15/130 \cdot 500000000/3 + 20/130 \cdot 500000000/4 + \\ 5/130 \cdot 500000000/5 + 6/130 \cdot 500000000/6 = 292307692 \text{ Гц}$$

Сравнение 4B/5B с физическим кодированием NRZ

По сравнению с физическим кодированием NRZ, у избыточного кодирования NRZ сузилась необходимая полоса пропускания, сократились максимальные длины

неизменяемых последовательностей, таких как 00000000, что позволяет уменьшить вероятность ошибки из-за рассинхронизации, появилась помехоустойчивость за счет появления запрещенных комбинаций. Однако данный метод кодирования имеет 25% избыточность.

Скремблирование 3-5

Расчет сообщения

Был выбран полином $B_i = A_i \text{ xor } B_{i-3} \text{ xor } B_{i-5}$ потому что он лучше поможет преобразовать последовательность единиц во втором байте (самая длинная последовательность единиц)

Исходное сообщение: 11001010 11100000 11101011 11110011

Было произведено скремблирование при помощи выбранного полинома. Ход скремблирования:

$B_0 = A_0 = 1$
 $B_1 = A_1 = 1$
 $B_2 = A_2 = 0$
 $B_3 = A_3 \text{ xor } B_0 = 0 \text{ xor } 1 = 1$
 $B_4 = A_4 \text{ xor } B_1 = 1 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_5 = A_5 \text{ xor } B_2 \text{ xor } B_0 = 0 \text{ xor } 0 \text{ xor } 1 = 1$
 $B_6 = A_6 \text{ xor } B_3 \text{ xor } B_1 = 1 \text{ xor } 0 \text{ xor } 1 = 1$
 $B_7 = A_7 \text{ xor } B_4 \text{ xor } B_2 = 0 \text{ xor } 1 \text{ xor } 0 = 0$
 $B_8 = A_8 \text{ xor } B_5 \text{ xor } B_3 = 1 \text{ xor } 0 \text{ xor } 0 = 1$
 $B_9 = A_9 \text{ xor } B_6 \text{ xor } B_4 = 1 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_{10} = A_{10} \text{ xor } B_7 \text{ xor } B_5 = 1 \text{ xor } 0 \text{ xor } 0 = 0$
 $B_{11} = A_{11} \text{ xor } B_8 \text{ xor } B_6 = 0 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_{12} = A_{12} \text{ xor } B_9 \text{ xor } B_7 = 0 \text{ xor } 1 \text{ xor } 0 = 0$
 $B_{13} = A_{13} \text{ xor } B_{10} \text{ xor } B_8 = 0 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 1$
 $B_{14} = A_{14} \text{ xor } B_{11} \text{ xor } B_9 = 0 \text{ xor } 0 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_{15} = A_{15} \text{ xor } B_{12} \text{ xor } B_{10} = 0 \text{ xor } 0 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_{16} = A_{16} \text{ xor } B_{13} \text{ xor } B_{11} = 1 \text{ xor } 0 \text{ xor } 0 = 0$
 $B_{17} = A_{17} \text{ xor } B_{14} \text{ xor } B_{12} = 1 \text{ xor } 0 \text{ xor } 0 = 1$
 $B_{18} = A_{18} \text{ xor } B_{15} \text{ xor } B_{13} = 1 \text{ xor } 0 \text{ xor } 0 = 0$
 $B_{19} = A_{19} \text{ xor } B_{16} \text{ xor } B_{14} = 0 \text{ xor } 1 \text{ xor } 0 = 0$
 $B_{20} = A_{20} \text{ xor } B_{17} \text{ xor } B_{15} = 1 \text{ xor } 1 \text{ xor } 0 = 0$
 $B_{21} = A_{21} \text{ xor } B_{18} \text{ xor } B_{16} = 0 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_{22} = A_{22} \text{ xor } B_{19} \text{ xor } B_{17} = 1 \text{ xor } 0 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_{23} = A_{23} \text{ xor } B_{20} \text{ xor } B_{18} = 1 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 1$
 $B_{24} = A_{24} \text{ xor } B_{21} \text{ xor } B_{19} = 1 \text{ xor } 0 \text{ xor } 0 = 1$
 $B_{25} = A_{25} \text{ xor } B_{22} \text{ xor } B_{20} = 1 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 1$
 $B_{26} = A_{26} \text{ xor } B_{23} \text{ xor } B_{21} = 1 \text{ xor } 1 \text{ xor } 0 = 0$

$B_{27} = A_{27} \text{ xor } B_{24} \text{ xor } B_{22} = 1 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_{28} = A_{28} \text{ xor } B_{25} \text{ xor } B_{23} = 0 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_{29} = A_{29} \text{ xor } B_{26} \text{ xor } B_{24} = 0 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 1$
 $B_{30} = A_{30} \text{ xor } B_{27} \text{ xor } B_{25} = 1 \text{ xor } 1 \text{ xor } 1 = 0$
 $B_{31} = A_{31} \text{ xor } B_{28} \text{ xor } B_{26} = 1 \text{ xor } 0 \text{ xor } 1 = 1$

Результат первых 4-х байт:

BIN: 11010110 10000100 01000001 11000101
 HEX: D6 84 41 C5

Все сообщение:

BIN: 11010110 10000100 01000001 11000101 01100100 01000010 10101101 00101100
 11011101 10010010 11100101 01001111 10100111
 HEX: D6 84 41 C5 64 42 AD 2C DD 92 E5 4F A7

На рисунке 7 показана временная диаграмма скремблированного сообщения

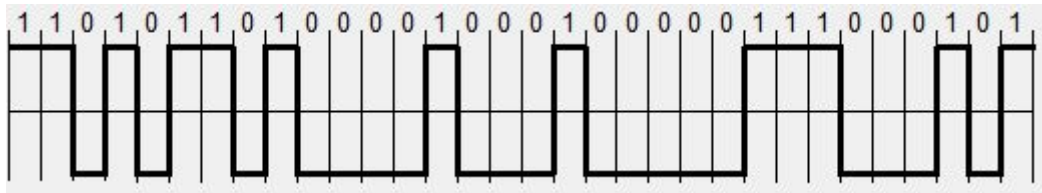


Рис. 7

Определение значений

Как видно из диаграммы на рисунке 6, T_{\min} на участке сообщения с чередованием сигналов (например, 101) и равен T , следовательно $F_{\max} = F_0$. T_{\max} находится на участке без чередования сигналов (последовательные одинаковые сигналы) и равен $5T$, следовательно $F_{\min} = F_0/5$.

Таким образом, используя разложение на ряд Фурье для сигнала из последовательных единиц (нулей) будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi F_0/5t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3/5 F_0t) + (A_0/5) \sin(2\pi F_0t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7/5 F_0t)$$

Ряд Фурье для последовательно чередующихся сигналов будет иметь вид:

$$A_0 \sin(2\pi F_0t) + (A_0/3) \sin(2\pi 3F_0t) + (A_0/5) \sin(2\pi 5F_0t) + (A_0/7) \sin(2\pi 7F_0t)$$

Отсюда получаем спектр частот: $F_0/5 \dots 7F_0$.

Для данного метода кодирования сигналы из последовательно повторяющихся нулей/единиц вырождаются в прямую линию, поэтому частота их основной гармоники будет равна 0 для каждой пропускной способности.

Для пропускной способности 10Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $7F_0 = 7 * 0,5 * 10^7$ Гц = 350000000 Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/5 = 0,5 * 10^7 / 5$ Гц = 1000000 Гц

Необходимая полоса пропускания: 1000000 - 350000000 Гц

Для пропускной способности 100Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $7F_0 = 7 * 0,5 * 10^8$ Гц = 3500000000 Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/6 = 0,5 * 10^8 / 5$ Гц = 10000000 Гц

Необходимая полоса пропускания: 10000000 - 3500000000 Гц

Для пропускной способности 1000Mbps:

Частота основной гармоники сигнала вида "111111...": 0 Гц

Верхняя граница частот в передаваемом сообщении: $7F_0 = 7 * 0,5 * 10^9$ Гц = 35000000000 Гц

Нижняя граница частот в передаваемом сообщении: $F_0/7 = 0,5 * 10^9 / 7$ Гц = 100000000 Гц

Необходимая полоса пропускания: 100000000 - 35000000000 Гц

Определение среднего значения частоты передаваемого сообщения

F1 соответствует участкам вида "1" и "0", которые в сумме занимают 36 битовых интервала

F2 соответствует участкам вида "11" и "00", которые в сумме занимают 32 битовых интервала

F3 соответствует участкам вида "111" и "000", которые в сумме занимают 18 битовых интервала

F4 соответствует участкам вида "1111" и "0000", которые в сумме занимают 8 битовых интервала

F5 соответствует участкам вида "11111" и "00000", которые в сумме занимают 10 битовых интервала

Аналогично нахождению F_{\min} и F_{\max} определяем, что $F_1 = F_0$, $F_2 = F_0/2$, $F_3 = F_0/3$, $F_4 = F_0/4$, $F_5 = F_0/5$

В таком случае:

Для 10Mbps:

$$F_{\text{ср}} = 36/104 \cdot F_1 + 30/104 \cdot F_2 + 21/104 \cdot F_3 + 8/104 \cdot F_4 + 10/104 \cdot F_5 = + 36/104 \cdot 5000000.0/1 + 30/104 \cdot 5000000.0/2 + 21/104 \cdot 5000000.0/3 + 8/104 \cdot 5000000.0/4 + 10/104 \cdot 5000000.0/5 = 2884615 \text{ Гц}$$

Для 100Mbps:

$$F_{\text{ср}} = 36/104 \cdot F_1 + 30/104 \cdot F_2 + 21/104 \cdot F_3 + 8/104 \cdot F_4 + 10/104 \cdot F_5 = + 36/104 \cdot 50000000/1 + 30/104 \cdot 50000000/2 + 21/104 \cdot 50000000/3 + 8/104 \cdot 50000000/4 + 10/104 \cdot 50000000/5 = 28846154 \text{ Гц}$$

Для 1000Mbps:

$$F_{\text{ср}} = 36/104 \cdot F_1 + 30/104 \cdot F_2 + 21/104 \cdot F_3 + 8/104 \cdot F_4 + 10/104 \cdot F_5 = + 36/104 \cdot 500000000/1 + 30/104 \cdot 500000000/2 + 21/104 \cdot 500000000/3 + 8/104 \cdot 500000000/4 + 10/104 \cdot 500000000/5 = 288461538 \text{ Гц}$$

Сравнение с физическим кодированием

По сравнению с физическим кодированием NRZ, у скремблирования NRZ незначительно сузилась необходимая полоса пропускания, сократились максимальные длины неизменяемых последовательностей, таких как последовательные единицы и последовательные нули, что позволяет уменьшить вероятность ошибки из-за рассинхронизации.

Сравнение рассмотренных логических методов кодирования

В таблице 3 указаны значения рассмотренных методов для сравнения

Таблица 3

Вид	Стоим	Вер-ть рассинхр.	Помехоустойчивость	Ширина необходимой полосы пропускания (значения для 1000Mbps)	Избыточность
4B5B	min	ср	Запр. комбинации	3.42ГГц	25%
Скрем	max	ср	нет	3.4ГГц	0%

Наилучшим методом кодирования для передачи исходного сообщения является NRZ 4B/5B кодирование, т. к. обладает свойством помехоустойчивости и меньшей стоимостью, хотя и обладает избыточностью в 25%. Так Ширина необходимой полосы пропускания примерно одинаковая