

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебно-исследовательская работа №1 (УИР 1) «Кодирование данных в телекоммуникационных системах»

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и краткая характеристика работы	2
2. Теоретические сведения	2
2.1. Цифровое кодирование	2
2.2. Методы физического кодирования	3
2.2.1. Потенциальный код без возврата к нулю (NRZ)	4
2.2.2. Биполярный импульсный код (RZ)	6
2.2.3. Биполярное кодирование с альтернативной инверсией (AMI)	7
2.2.4. Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI) ...	7
2.2.5. Манчестерский код	8
2.2.6. Дифференциальный манчестерский код	8
2.2.7. Код трехуровневой передачи MLT-3	9
2.2.8. Пятиуровневый код PAM-5 (2B1Q)	9
2.3. Логическое кодирование	9
2.3.1. Избыточное кодирование	9
2.3.2. Скремблирование	11
3. Этапы выполнения работы и варианты заданий	13
4. Порядок выполнения работы	15
5. Требования к содержанию отчёта	16
6. Контрольные вопросы для самопроверки	17

1. Цель и краткая характеристика работы

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

В процессе выполнения учебно-исследовательской работы (УИР) необходимо:

- выполнить физическое и логическое кодирование исходного сообщения в соответствии с обоснованно выбранными методами кодирования;
- провести сравнительный анализ рассмотренных методов кодирования и сформулировать достоинства и недостатки;
- рассчитать частотные характеристики сигналов, используемых для передачи исходного сообщения, и требуемую полосу пропускания канала связи;
- выбрать и обосновать наилучший метод для передачи исходного сообщения.

2. Теоретические сведения

2.1. Цифровое кодирование

Цифровое кодирование дискретных данных осуществляется с использованием потенциальных или импульсных кодов. Для представления двоичных нулей и единиц в потенциальных кодах используются разные значения потенциала сигнала, а в импульсных кодах – импульсы разной полярности или перепады потенциала.

Качество передачи данных, а именно: надежность и достоверность доставки, возможность обнаружения и исправления возникающих ошибок, стоимость реализации, – существенно зависит от выбранного метода цифрового кодирования, который, в свою очередь, в значительной мере определяет пропускную способность среды передачи.

В связи с этим, для обеспечения качества передачи данных к методам цифрового кодирования предъявляется ряд требований:

- 1) **уменьшение спектра сигнала** при одной и той же битовой скорости;
- 2) **поддержка синхронизации** между передатчиком и приёмником сигналов за счёт наличия в передаваемых сигналах признаков, на основе которых реализуется самосинхронизация;
- 3) **отсутствие постоянной составляющей** в сигнале, сдвигающей спектр сигнала в область низких частот;
- 4) возможность **обнаружения ошибок** и их исправления;
- 5) **минимизация количества уровней сигнала** для уменьшения стоимости реализации метода кодирования за счет уменьшения требуемой мощности приемно-передающего оборудования.

Уменьшение спектра результирующего сигнала при заданной полосе пропускания канала связи обеспечивает возможность передавать больший объём данных за единицу времени. Это может быть реализовано, например, за счёт

использования частотного мультиплексирования путем организации нескольких логических каналов в одной и той же линии связи, что и позволяет увеличить скорость передачи данных.

Кроме того, в спектре сигнала должна отсутствовать постоянная составляющая, то есть отсутствовать постоянный ток между передатчиком и приемником. Это обусловлено применением в электрических линиях связи трансформаторных схем для *гальванической развязки*, препятствующей прохождению постоянного тока.

Спектр результирующего сигнала зависит от:

- *метода кодирования и модуляции;*
- *скорости модуляции*, определяющей скорость передачи данных;
- *состава передаваемых данных.*

Для **синхронизации передатчика и приёмника** сигналов с целью определения момента считывания в приёмнике значения очередного битового интервала применяются специальные *самосинхронизирующиеся методы кодирования*. В этих методах синхронизация приемника с передатчиком выполняется на основе признака, в качестве которого служит любой резкий перепад сигнала, называемый фронтом сигнала.

Требование **отсутствия постоянной составляющей в сигнале** обусловлено необходимостью поддержки синхронизации приёмника с передатчиком.

Кроме того желательно, чтобы нижняя частота передаваемого сигнала отличалась от нуля. Это позволяет уменьшить спектр сигнала, а также исключить невозможность передачи постоянного тока в электрических линиях связи при наличии трансформаторных схем гальванической развязки.

Желательным, но необязательным требованием, предъявляемым к методам цифрового кодирования, является возможность **обнаружения ошибок** и, в идеале, их исправления. Это позволяет сэкономить время, поскольку ошибка обнаруживается на раннем этапе. При этом ошибочное сообщение может быть отброшено до завершения полного его приёма в буфер.

Стоимость реализации метода цифрового кодирования связана с количеством уровней сигнала, причем чем больше уровней сигнала, тем более мощное требуется приёмно-передающее оборудование и, следовательно, более дорогое.

Предъявляемые к методам цифрового кодирования требования являются противоречивыми. При этом каждый из методов цифрового кодирования по сравнению с другими обладает своими конкретными достоинствами и недостатками, которые рассматриваются ниже.

2.2. Методы физического кодирования

На рисунке 1 представлены различные методы кодирования 19-разрядного двоичного сообщения 0101010000111101100 и рассмотрены основные достоинства и недостатки каждого из методов.

На примере метода потенциального кодирования NRZ проиллюстрирован подход, позволяющий приблизительно оценить основные частотные характеристики сигнала, формируемого при кодировании сообщения, в качестве которых рассматриваются:

- верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении (спектр сигнала);
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения.

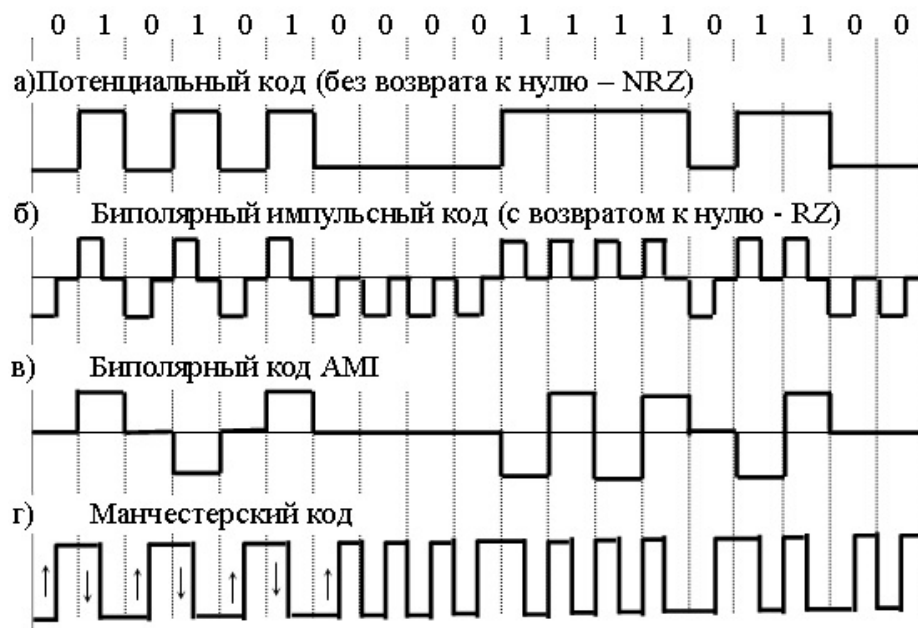


Рисунок 1. Методы кодирования дискретных данных

2.2.1. Потенциальный код без возврата к нулю (NRZ)

Наиболее простым и очевидным методом кодирования двоичных сообщений является метод потенциального кодирования *без возврата к нулю* – NRZ (Non Return to Zero), в котором значению бита «1» соответствует высокий уровень потенциала, а значению «0» – низкий (рисунок 1,а).

Для определения **верхней границы частот** необходимо найти наиболее высокочастотную составляющую спектра в передаваемом сообщении. В коде NRZ высокочастотная составляющая образуется при передаче чередующихся значений 0 и 1, при этом период гармонического сигнала (синусоиды), используемого для передачи прямоугольных сигналов 0 и 1, будет равен удвоенной длительности битового интервала t : $T = 2t$, где t определяется как величина, обратная значению пропускной способности канала C : $t = 1/C$. Отсюда верхняя граница частот будет равна

$$f_{\text{в}} = 1/T = C/2.$$

При пропускной способности канала связи $C = 1$ Мбит/с частота основной гармоники равна $f_b = 500$ кГц.

В общем случае, при кодировании любого сообщения по методу NRZ наибольшая (верхняя) частота достигается при передаче чередующихся значений 0 и 1, а наименьшая (нижняя) – при передаче длинных (в пределе бесконечных) последовательностей нулей и единиц, что делает нижнюю границу частот близкой и в пределе равной нулю: $f_n = 0$. Следовательно, в предельном случае **ширина спектра** (или просто **спектр**) $S = f_b - f_n = f_b = C/2$.

С другой стороны, при передаче конкретного сообщения **нижняя частота** всегда больше нуля и зависит от максимальной длины последовательностей нулей или единиц. В этом случае для расчета нижней границы частот необходимо в коде передаваемого сообщения найти наиболее длинную последовательность единиц или нулей. В представленном на рисунке 1,а сообщении, закодированном по методу NRZ, низкочастотная составляющая образуется при передаче четырёх последовательных единиц и четырёх последовательных нулей. Период синусоидального сигнала при передаче таких последовательностей равен 8 битовым интервалам и нижняя граница частот соответственно будет равна: $f_n = 1/8t = C/8$. Тогда спектр при передаче данного сообщения кодом NRZ равен $S = f_b - f_n = 0,375C = 375$ кГц

Отметим, что *полученные значения нижней границы частот и, соответственно, спектра справедливы именно для этого конкретного сообщения*. При передаче других сообщений эти значения будут другими. Таким образом, можно утверждать, что при кодировании по методу NRZ спектр сигнала $S \leq C/2$.

Среднее значение частоты передаваемого сообщения находится в интервале $(f_n; f_b)$ и показывает, какие частоты (низкие или высокие) преобладают в спектре передаваемого сигнала.

Для оценки среднего значения частоты передаваемого сообщения можно для каждого битового интервала определить соответствующую частоту сигнала, просуммировать их и разделить на количество битовых интервалов. В нашем случае: частота основной гармоники $f_0 = C/2$ соответствует 7-ми битовым интервалам, 4-м битовым интервалам соответствует частота вдвое меньшая, чем частота основной гармоники, т.е. $f_0/2$, и 8-ми битовым интервалам соответствует частота $f_0/4$.

Тогда средняя частота рассматриваемого сообщения

$$f_{cp} = (7f_0 + 4\frac{f_0}{2} + 8\frac{f_0}{4})/19 \approx 290 \text{ кГц.}$$

Поскольку середине спектра рассматриваемого сообщения соответствует частота $f_{1/2} = (f_n + f_b)/2 = 0,625 f_0 = 312,5$ кГц, можно констатировать, что в спектре сигнала незначительно преобладают низкие частоты: $f_{cp} < f_{1/2}$.

Для качественной передачи двоичных сигналов по реальному каналу связи и возможности их распознавания на приёмной стороне с минимальным количеством ошибок, желательно на передающей стороне формировать сигналы, приближающиеся к прямоугольной форме. Однако, спектр таких сигналов

оказывается слишком большим. Можно показать, что для качественного распознавания сигнала на приемной стороне при передаче чередующихся значений 0 и 1 достаточно сформировать сигнал, содержащий первые 4 гармоники (поскольку более высокочастотные гармоники оказывают незначительное влияние на результирующий сигнал) с частотами $f_0 = C/2$, $f_1 = 3f_0$, $f_2 = 5f_0$, $f_3 = 7f_0$. В этом случае верхняя граница частот $f_{\text{в}} = 7f_0$, а ширина спектра сигнала при передаче рассматриваемого сообщения соответственно будет равна $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 7f_0 - f_0/4 = 6,75f_0 = 3,375 \text{ МГц}$.

Полоса пропускания F , необходимая для передачи данного сообщения, должна быть больше спектра S , например, $F = 4 \text{ МГц}$.

Рассмотрим теперь достоинства и недостатки метода кодирования NRZ.

Достоинствами кода NRZ являются:

- простота и низкая стоимость, обусловленная наличием только двух уровней потенциала;
- малая ширина спектра сигнала: $S = f_{\text{в}} = 0,5C \text{ Гц}$, где C – скорость передачи данных [бит/с].

В компьютерных сетях код NRZ в чистом виде не используется ввиду наличия следующих недостатков:

- отсутствие самосинхронизации, что может привести к рассинхронизации часов приёмника и передатчика при передаче длинной последовательности единиц или нулей;
- невозможность использования в электрических каналах связи при наличии гальванических развязок между приёмником и источником.

Тем не менее, используются модификации кода NRZ, в которых устраняют постоянную составляющую за счёт применения методов логического кодирования, в частности, избыточного кодирования.

2.2.2. Биполярный импульсный код (RZ)

В импульсных кодах данные представлены полным импульсом или же его частью – фронтом. Одним из наиболее простых среди импульсных кодов является трехуровневый *биполярный импульсный код с возвратом к нулю* (Return to Zero, RZ), в котором единица представлена импульсом одной полярности, а ноль – импульсом другой полярности (рисунок 1,б). Каждый импульс длится половину битового интервала. В середине битового интервала происходит возврат к нулевому потенциалу.

К достоинствам кода RZ относятся:

- наличие самосинхронизации: признаком (стробом) для синхронизации часов приёмника может служить возврат в середине каждого битового интервала к нулевому потенциалу
- отсутствие постоянной составляющей.

В то же время метод RZ обладает следующими недостатками:

- наличие трёх уровней сигнала требует увеличения мощности передатчика для обеспечения достоверности приёма сигналов, что увеличивает стоимость реализации;

- спектр сигнала шире, чем у потенциальных кодов: при передаче последовательности нулей или единиц верхняя граница частот будет равна $f_{\text{в}} = C$ Гц, а нижняя граница при передаче чередующихся нулей и единиц будет равна $f_{\text{н}} = C/4$, что увеличивает спектр сигнала в полтора раза по сравнению с кодом NRZ: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 0,75C$.

Из-за указанных недостатков биполярный импульсный код в чистом виде используется редко.

2.2.3. Биполярное кодирование с альтернативной инверсией (AMI)

Биполярное кодирование с альтернативной инверсией (Bipolar Alternate Mark Inversion, AMI) является модификацией метода RZ. В AMI также используются три уровня потенциала: положительный, нулевой и отрицательный (рисунок 1,в). Двоичный «0» кодируется нулевым потенциалом, а двоичная «1» – либо положительным, либо отрицательным потенциалом, при этом всегда потенциал следующей единицы противоположен потенциалу предыдущей.

В качестве основных достоинств метода AMI можно отметить:

- отсутствие проблемы постоянной составляющей и возможность синхронизации приёмника с передатчиком при передаче длинных последовательностей единиц, так как в этом случае сигнал представляет собой последовательность разнополярных импульсов;
- в общем случае спектр сигнала при кодировании AMI меньше, чем при RZ, что обеспечивает большую пропускную способность канала связи, в частности, при передаче чередующихся единиц и нулей верхняя граница частот, как и при передаче чередующихся нулей и единиц кода NRZ, равна $f_{\text{в}} = C/2$ Гц, а ширина спектра сигнала $S < C/2$;
- возможность распознавать ошибочные (запрещённые) сигналы при нарушении чередования полярности сигналов в процессе передачи единиц, когда после единичного сигнала появляется единичный сигнал той же полярности.

К недостаткам метода AMI относятся:

- наличие трёх уровней сигнала, что требует увеличения мощности передатчика, и, следовательно, увеличивает стоимость приемно-передающего оборудования;
- в случае длинных последовательностей нулей в сигнале присутствует постоянная составляющая, сдвигающая спектр в низкочастотный диапазон.

2.2.4. Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI)

Потенциальный код с инверсией при единице (Non Return to Zero with ones Inverted, NRZI) в отличие от AMI имеет только два уровня сигнала: при передаче

двоичного нуля сохраняется уровень, который был установлен в предыдущем такте, а при передаче единицы – уровень сигнала меняется на противоположный.

Достоинство: наличие двух уровней сигнала уменьшает стоимость реализации по сравнению с трехуровневым кодом АМІ.

2.2.5. Манчестерский код

Манчестерский код (рисунок 1,г) нашел широкое применение в локальных сетях Ethernet. Для кодирования используются два уровня сигнала, при этом для представления двоичных единиц и нулей используется переход сигнала в середине каждого битового интервала:

- двоичной «1» соответствует переход от высокого уровня сигнала к низкому;
- двоичному «0» – переходом от низкого уровня сигнала к высокому.

В случае последовательности из нескольких единиц или нулей в начале каждого битового интервала происходит дополнительный служебный переход сигнала.

К достоинствам манчестерского кода следует отнести:

- самосинхронизация: сигналом для синхронизации приёмника с передатчиком может служить изменение сигнала в середине каждого битового интервала;
- меньший спектр по сравнению с биполярным импульсным кодом в среднем в 1,5 раза: верхняя граница частот при передаче последовательности единиц или нулей равна $f_v = C$ Гц, а нижняя граница при передаче чередующихся единиц и нулей $f_n = C/2$ Гц, тогда спектр $S = f_v - f_n = 0,5C$;
- наличие только двух уровней потенциала;
- отсутствие постоянной составляющей.

Недостатком манчестерского кода является более широкий спектр сигнала по сравнению с кодами NRZ и АМІ.

2.2.6. Дифференциальный манчестерский код

Дифференциальный или *разностный манчестерский код* является разновидностью манчестерского кода, в котором:

- «0» кодируется изменением потенциала в начале битового интервала (а не в середине);
- «1» – сохранением предыдущего уровня потенциала.

В середине каждого битового интервала обязательно присутствует переход с одного уровня потенциала на другой. Дифференциальный манчестерский код, в отличие от обычного манчестерского кода (см. п. 1.2.2.5), позволяет обеспечить корректное декодирование сигнала, даже если в результате ошибки весь передаваемый сигнал в канале связи инвертируется (т.е. если низкий потенциал ошибочно заменится на высокий и наоборот).

2.2.7. Код трехуровневой передачи MLT-3

В методе кодирования трехуровневой передачи MLT-3 (Multi Level Transmission-3) двоичной «1» соответствует переход на границе битового интервала *последовательно* с одного уровня сигнала на другой, а при передаче нуля сигнал не меняется. При этом максимальная частота сигнала достигается при передаче длинной последовательности единиц, когда изменение сигнала происходит *последовательно* с одного уровня на другой с учетом предыдущего перехода.

К недостаткам этого метода кодирования относятся:

- отсутствие самосинхронизации;
- наличие трёх уровней сигнала;
- наличие в сигнале постоянной составляющей при передаче длинной последовательности нулей.

2.2.8. Пятиуровневый код PAM-5 (2B1Q)

В пятиуровневом коде PAM-5 используется 5 уровней сигнала, причем четыре уровня кодируют два бита передаваемых данных: 00, 01, 10, 11. Таким образом, в одном битовом интервале передаются два бита. Пятый (средний) уровень добавлен для создания избыточности кода, используемого для исправления ошибок.

Основное достоинство метода PAM-5 состоит в том, что при одной той же скорости модуляции данные передаются в два раза быстрее по сравнению с AMI или NRZI.

К недостаткам метода относятся:

- наличие постоянной составляющей в сигнале при передаче длинных последовательностей одинаковых пар бит;
- наличие пяти уровней требует большей мощности передатчика, что значительно увеличивает стоимость реализации.

2.3. Логическое кодирование

Логическое кодирование используется для улучшения потенциальных кодов AMI, NRZI или MLT-3 за счет ликвидации длинных последовательностей единиц или нулей, приводящих к постоянному потенциалу.

К логическому кодированию относятся *избыточное кодирование* и *скремблирование*.

2.3.1. Избыточное кодирование

При избыточном кодировании исходный двоичный код представляется в виде последовательностей нескольких битов, каждая из которых заменяется новой последовательностью, содержащей большее количество бит, чем исходная.

К методам избыточного кодирования относятся: 4В/5В, 5В/6В, 8В/10В, 64В/66В.

Буква «В» в названии кода означает, что элементарный сигнал имеет 2 состояния (binary – двоичный), а цифры указывают, какое количество бит содержится в одной последовательности исходного и результирующего кода соответственно. Например, метод 4В/5В означает, что каждые 4 бита в исходном коде заменяются 5-ю битами в результирующем коде. Для этого используется таблица перекодировки (таблица 1), устанавливающая соответствие между исходными четырёхбитовыми и результирующими пятибитовыми последовательностями.

В результате такой замены количество результирующих кодовых последовательностей больше количества исходных. В коде 4В/5В результирующих последовательностей $2^5=32$, в то время как исходных $2^4=16$. Следовательно, количество *избыточных (запрещённых) кодов*: $32-16=16$. Появление запрещённых символов означает ошибку в передаваемых данных.

Среди результирующих последовательностей отобраны 16 таких, любое сочетание которых содержит в худшем случае 8 подряд расположенных единиц.

Таблица 1

<i>Исходные символы</i>	<i>Результирующие символы</i>	<i>Исходные символы</i>	<i>Результирующие символы</i>
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

Следует отметить следующие достоинства избыточного кодирования:

- появляется возможность синхронизации таймеров приемника и передатчика, поскольку исчезают длинные последовательности нулей и единиц;
- сужается спектр сигнала в связи с отсутствием постоянной составляющей;
- появляется возможность обнаружения ошибок за счёт наличия запрещённых символов;
- простая реализация в виде таблицы перекодировки.

Недостатки избыточного кодирования:

- уменьшается полезная пропускная способность канала связи, так как часть пропускной способности тратится на передачу избыточных бит;
- возникают дополнительные временные затраты в узлах сети на реализацию логического кодирования.

Основным недостатком избыточного кодирования является появление “лишнего” бита, приходящегося на 4 информационных бита, т.е. *избыточность метода кодирования (кода)* 4В/5В составляет 25% ($1/4 = 0,25$). Это означает, что реальная пропускная способность канала будет меньше номинальной на 20%. Для сохранения заданной пропускной способности необходимо увеличить тактовую частоту передатчика на 25%, что, в свою очередь, приведет к увеличению спектра сигнала.

В методе логического кодирования 8В/6Т для кодирования 8 бит (В) исходного сообщения используется код из 6 троичных (Т) символов с тремя состояниями сигнала. Количество избыточных (запрещённых) кодов: $3^6 - 2^8 = 729 - 256 = 473$. Таким образом, в 8В/6Т доля запрещённых кодов больше, чем в 4В/5В (65% против 50%), что повышает эффективность обнаружения ошибок.

2.3.2. Скремблирование

Скремблирование – преобразование исходного двоичного кода по заданному алгоритму, позволяющему исключить или, по крайней мере, уменьшить длинные последовательности нулей или единиц.

Например, алгоритм преобразования может иметь вид:

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

где A_i , B_i – значения i -го разряда соответственно исходного и результирующего кода; B_{i-3} и B_{i-5} – значения соответственно $(i-3)$ -го и $(i-5)$ -го разряда результирующего кода; \oplus – операция исключающего ИЛИ (операция сложения по модулю 2).

Для исходной последовательности $A=110110000001$ использование такого скремблера приведет к следующему результату:

$$B_1 = A_1 = 1;$$

$$B_2 = A_2 = 1;$$

$$B_3 = A_3 = 0;$$

$$B_4 = A_4 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$B_5 = A_5 \oplus B_2 = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$B_6 = A_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$B_7 = A_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1;$$

$$\begin{aligned}
B_8 &= A_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0; \\
B_9 &= A_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1; \\
B_{10} &= A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1; \\
B_{11} &= A_{11} \oplus B_8 \oplus B_6 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1; \\
B_{12} &= A_{12} \oplus B_9 \oplus B_7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1.
\end{aligned}$$

Таким образом, на выходе скремблера появится результирующий код $V=110001101111$, в котором отсутствует последовательность из шести нулей, присутствовавшая в исходном коде.

Дескремблер восстанавливает исходный код с использованием обратного соотношения:

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

Легко убедиться, что восстановленный код совпадает с исходным кодом, т.е. $C_i = A_i$.

Различные алгоритмы скремблирования могут отличаться количеством слагаемых для определения значения разряда результирующего кода и величиной сдвига между слагаемыми, например, величина сдвига может составлять 5 и 23 позиции или иметь любые другие значения.

Основным достоинством скремблирования по сравнению с избыточным кодированием является сохранение полезной пропускной способности канала связи, поскольку отсутствуют избыточные биты.

Недостатками скремблирования следует считать:

- наличие дополнительных затрат (накладных расходов) в узлах сети на реализацию алгоритма скремблирования-дескремблирования;
- отсутствие 100-процентной гарантии исключения длинных последовательности нулей и единиц, а также возможность появления других (новых) последовательности нулей и единиц в результирующем коде.

3. Этапы выполнения работы и варианты заданий

Этап 1. Формирование сообщения

Исходное сообщение, подлежащее передаче, формируется на основе инициалов студента, выполняющего задание. Для цифрового представления сообщения используются шестнадцатеричные коды в соответствии с кодировочной таблицей (см. таблицу 2).

Записать исходное сообщение в шестнадцатеричном и двоичном кодах. Определить длину сообщения.

Таблица 2

Сим-вол	Код	Сим-вол	Код	Сим-вол	Код	Сим-вол	Код	Сим-вол	Код
А	C0	Р	D0	а	E0	р	F0	пробел	20
Б	C1	С	D1	б	E1	с	F1	,	2C
В	C2	Т	D2	в	E2	т	F2	.	2E
Г	C3	У	D3	г	E3	у	F3	0	30
Д	C4	Ф	D4	д	E4	ф	F4	1	31
Е	C5	Х	D5	е	E5	х	F5	2	32
Ж	C6	Ц	D6	ж	E6	ц	F6	3	33
З	C7	Ч	D7	з	E7	ч	F7	4	34
И	C8	Ш	D8	и	E8	ш	F8	5	35
Й	C9	Щ	D9	й	E9	щ	F9	6	36
К	CA	Ъ	DA	к	EA	ъ	FA	7	37
Л	CB	Ы	DB	л	EB	ы	FB	8	38
М	CC	Ь	DC	м	EC	ь	FC	9	39
Н	CD	Э	DD	н	ED	э	FD		
О	CE	Ю	DE	о	EE	ю	FE		
П	CF	Я	DF	п	EF	я	FF		

Пример:

исходное сообщение:	ФаИО
в шестнадцатеричном коде:	30 E0 C8 CE
в двоичном коде:	0011 0000 1110 0000 1100 0111 1100 1110
длина сообщения:	4 байт (32 бит)

(**Фа** – первые две буквы **Фа**милии; **ИО** – инициалы **И**мени и **О**тчества студента)

Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения

Выполнить физическое кодирование исходного сообщения с использованием манчестерского кодирования и ещё не менее двух (на оценку «удовлетворительно»), трёх (на оценку «хорошо») и четырёх (на оценку «отлично») разных методов кодирования, наиболее приемлемых (обосновать!) для передачи данного сообщения.

Результаты двоичного кодирования изобразить в виде **временных диаграмм**.

Для каждого метода физического кодирования (при заданной преподавателем пропускной способности канала связи 10 или 100 Мбит/с) определить:

- верхнюю и нижнюю границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосе пропускания, необходимую для качественной передачи данного сообщения.

Провести сравнительный анализ рассмотренных методов кодирования и проиллюстрировать достоинства и недостатки каждого из них.

Выбрать два наилучших метода физического кодирования для передачи исходного сообщения и обосновать этот выбор.

Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения

Выполнить логическое кодирование исходного сообщения по методу 4В/5В для одного из методов физического кодирования из выбранных на этапе 2 в качестве наилучших.

Записать полученное сообщение в двоичном и шестнадцатеричном кодах.

Определить длину нового сообщения и его избыточность.

Результаты кодирования изобразить в виде временных диаграмм.

Для заданной пропускной способности канала связи определить:

- верхнюю и нижнюю границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;

- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосу пропускания, необходимую для качественной передачи данного сообщения.

Этап 4. Скремблирование исходного сообщения

Выбрать из представленных ниже полиномов или предложить другой полином для скремблирования исходного сообщения и обосновать этот выбор.

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5};$$

$$B_i = A_i \oplus B_{i-5} \oplus B_{i-7}.$$

Выполнить скремблирование исходного сообщения для одного из методов физического кодирования из выбранных на этапе 2 в качестве наилучших.

Записать полученное скремблированное сообщение в двоичном и шестнадцатеричном кодах.

Результаты кодирования для первых четырех байт изобразить в виде временной диаграммы.

Для заданной пропускной способности канала связи определить:

- верхнюю и нижнюю границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосу пропускания, необходимую для качественной передачи данного сообщения.

Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования

Выполнить сравнительный анализ результатов, полученных на этапах 2, 3 и 4. Результаты сравнения представить в виде сводной таблицы.

4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с постановкой задачи и изучить необходимые теоретические сведения.

2. Сформировать исходное сообщение в соответствии с этапом 1.

3. Выполнить физическое кодирование исходного сообщения не менее, чем тремя способами, включая, в качестве обязательного, *манчестерское кодирование*. Рассчитать частотные характеристики передаваемого сигнала для рассматриваемых способов кодирования и определить требуемую для эффективной передачи сообщения пропускную способность канала связи (этап 2).

4. Выполнить логическое кодирование исходного сообщения, используя избыточное кодирование 4В/5В и скремблирование. Рассчитать частотные характеристики передаваемого сигнала для рассматриваемых способов

кодирования и определить требуемую для эффективной передачи сообщения пропускную способность канала связи (этапы 3 и 4).

5. Выполнить сравнительный анализ рассмотренных способов кодирования и выбрать наилучший способ для передачи исходного сообщения (этап 5).

6. Оформить отчёт в электронном виде и прислать его на проверку.

7. Защитить выполненную работу.

5. Требования к содержанию отчёта

Отчёт должен быть представлен в электронном виде в формате **Word** или **pdf** с именем файла: **№группы** (P333x)_**Фамилия_УИР1** и должен содержать следующие пункты.

1. Исходное сообщение и его представление в шестнадцатеричном и двоичном виде, длина исходного сообщения (в байтах и битах).

2. *Временные диаграммы* для рассмотренных способов физического кодирования (включая манчестерское кодирование) первых четырёх байт исходного сообщения.

Рассчитанные для каждого способа кодирования (с **подробными пояснениями выполненных расчетов**):

- верхняя и нижняя границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полоса пропускания, необходимая для *качественной передачи* данного сообщения.

3. *Результаты сравнительного анализа* рассмотренных способов физического кодирования (достоинства и недостатки), представленные в виде **таблицы**, и **обоснованный выбор** двух лучших способов кодирования для передачи исходного сообщения.

4. *Результат логического кодирования* исходного сообщения по методу 4B/5B, представленный в виде избыточного сообщения в двоичном и шестнадцатеричном кодах.

Значение *длины* нового сообщения и его *избыточность*.

5. *Временные диаграммы* для логического кодирования, а также рассчитанные (с **подробными разъяснениями выполненных расчетов**):

- значения верхней и нижней границ частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полоса пропускания, необходимая для *качественной передачи* данного сообщения.

6. Вид полинома, используемого для скремблирования исходного сообщения, и обоснование его выбора. Последовательность получения разрядов скремблированного сообщения. Результат скремблирования, записанный в виде скремблированного сообщения в двоичном и шестнадцатеричном кодах.

7. Временные диаграммы для скремблированного сообщения и рассчитанные (с подробными разъяснениями выполненных расчетов):

- значения верхней и нижней границ частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полоса пропускания, необходимая для качественной передачи данного сообщения.

8. Результаты сравнительного анализа рассмотренных способов логического кодирования (достоинства и недостатки), представленные в виде **таблицы**, и обоснованный выбор наилучшего способа логического кодирования для передачи исходного сообщения.

9. Краткие выводы с подробным обоснованием наилучшего способа кодирования для передачи исходного сообщения.

6. Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое потенциальное кодирование?
2. При каком методе кодирования скорость модуляции (бод) и скорость передачи данных (бит в секунду) совпадают?
3. Как изменяется спектр сигнала при потенциальном кодировании, если в передаваемом сообщении появляется длинная последовательность нулей или единиц?
4. В каком случае при потенциальном кодировании в спектре сигнала отсутствует постоянная составляющая?
5. Почему потенциальные коды на каналах тональной частоты никогда не используются?
6. В чем отличие импульсных кодов от потенциальных?
7. Достоинства и недостатки методов кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2,
8. Проиллюстрировать на диаграмме методы кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2,
9. У какого из известных вам методов верхняя граница частот имеет наименьшее значение?
10. Нарисовать диаграммы методов кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2... для сообщения, заданного в шестнадцатеричном коде: C5.

11. Определить частоту основной гармоники для сообщения, заданного в шестнадцатеричном коде: C5, при использовании методов кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2....
12. Перечислить методы логического кодирования.
13. Для чего используются методы логического кодирования?
14. Пояснить принципы метода избыточного кодирования и скремблирования.
15. Пояснить суть методов логического кодирования 4B/5B, 5B/6B, 8B/10B, 8B/6T.
16. Что такое «запрещенные коды» в методах избыточного кодирования?
17. Какой метод избыточного кодирования обладает наибольшей (наименьшей) избыточностью и почему?
18. Сколько избыточных кодов содержит метод кодирования 4B/5B (5B/6B, 8B/10B, 8B/6T).
19. Основной недостаток методов избыточного кодирования.
20. Что такое дескремблер?