

Основы передачи данных на физическом уровне

Содержание

1. Введение
2. Аналоговая модуляция
3. Цифровое кодирование
4. Логическое кодирование
 - а) Избыточные коды
 - б) Скремблирование
5. Дискретная модуляция аналоговых сигналов
6. Асинхронная и синхронная передачи
7. Выводы

Введение

При передаче дискретных данных по каналам связи применяются два основных типа физического кодирования — на основе синусоидального несущего сигнала и на основе последовательности прямоугольных импульсов. Первый способ часто называется также *модуляцией* или *аналоговой модуляцией*, подчеркивая тот факт, что кодирование осуществляется за счет изменения параметров аналогового сигнала. Второй способ обычно называют *цифровым кодированием*. Эти способы отличаются шириной спектра результирующего сигнала и сложностью аппаратуры, необходимой для их реализации.

Аналоговая модуляция

Аналоговая модуляция применяется для передачи дискретных данных по каналам с узкой полосой частот, типичным представителем которых является **канал тональной частоты**, предоставляемый в распоряжение пользователям общественных телефонных сетей.

Этот канал передает частоты в диапазоне от 300 до 3400 Гц, таким образом, его полоса пропускания равна 3100 Гц. Хотя человеческий голос имеет гораздо более широкий спектр — примерно от 100 Гц до 10 кГц, — для приемлемого качества передачи речи диапазон в 3100 Гц является хорошим решением. Строгое ограничение полосы пропускания тонального канала связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях.

Устройство, которое выполняет функции модуляции несущей синусоиды на передающей стороне и демодуляции на приемной стороне, носит название *модем* (*модулятор-демодулятор*).

Аналоговая модуляция

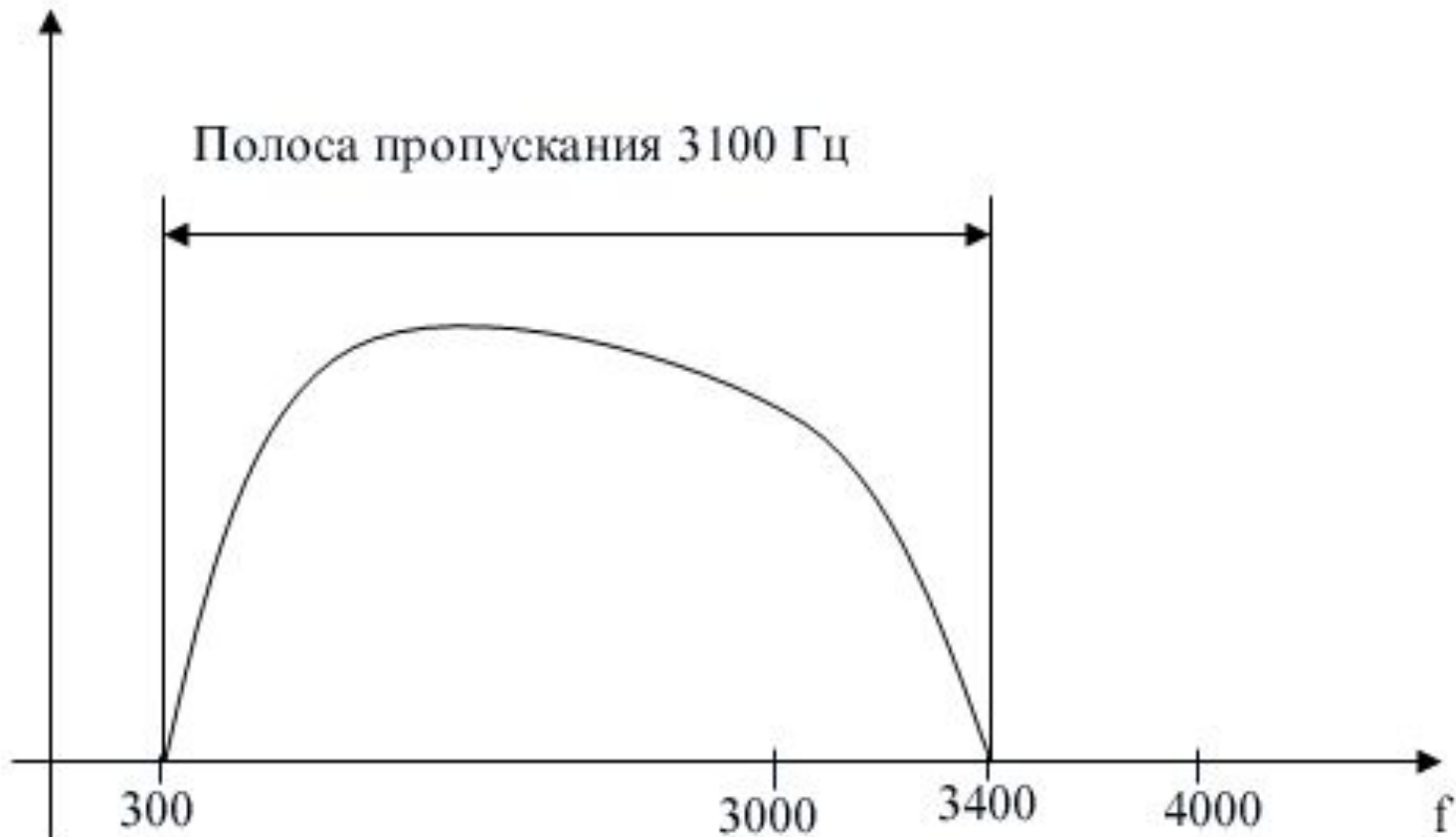


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика канала тональной частоты

Аналоговая модуляция

Методы аналоговой модуляции

Аналоговая модуляция является таким способом физического кодирования, при котором информация кодируется изменением амплитуды, частоты или фазы синусоидального сигнала несущей частоты. Основные способы аналоговой модуляции показаны на рис. 2. На диаграмме (рис. 2, а) показана последовательность бит исходной информации, представленная потенциалами высокого уровня для логической единицы и потенциалом нулевого уровня для логического нуля. Такой способ кодирования называется потенциальным кодом, который часто используется при передаче данных между блоками компьютера.

При *амплитудной модуляции* (рис. 2, б) для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля — другой. Этот способ редко используется в чистом виде на практике из-за низкой помехоустойчивости, но часто применяется в сочетании с другим видом модуляции — фазовой модуляцией.

Аналоговая модуляция

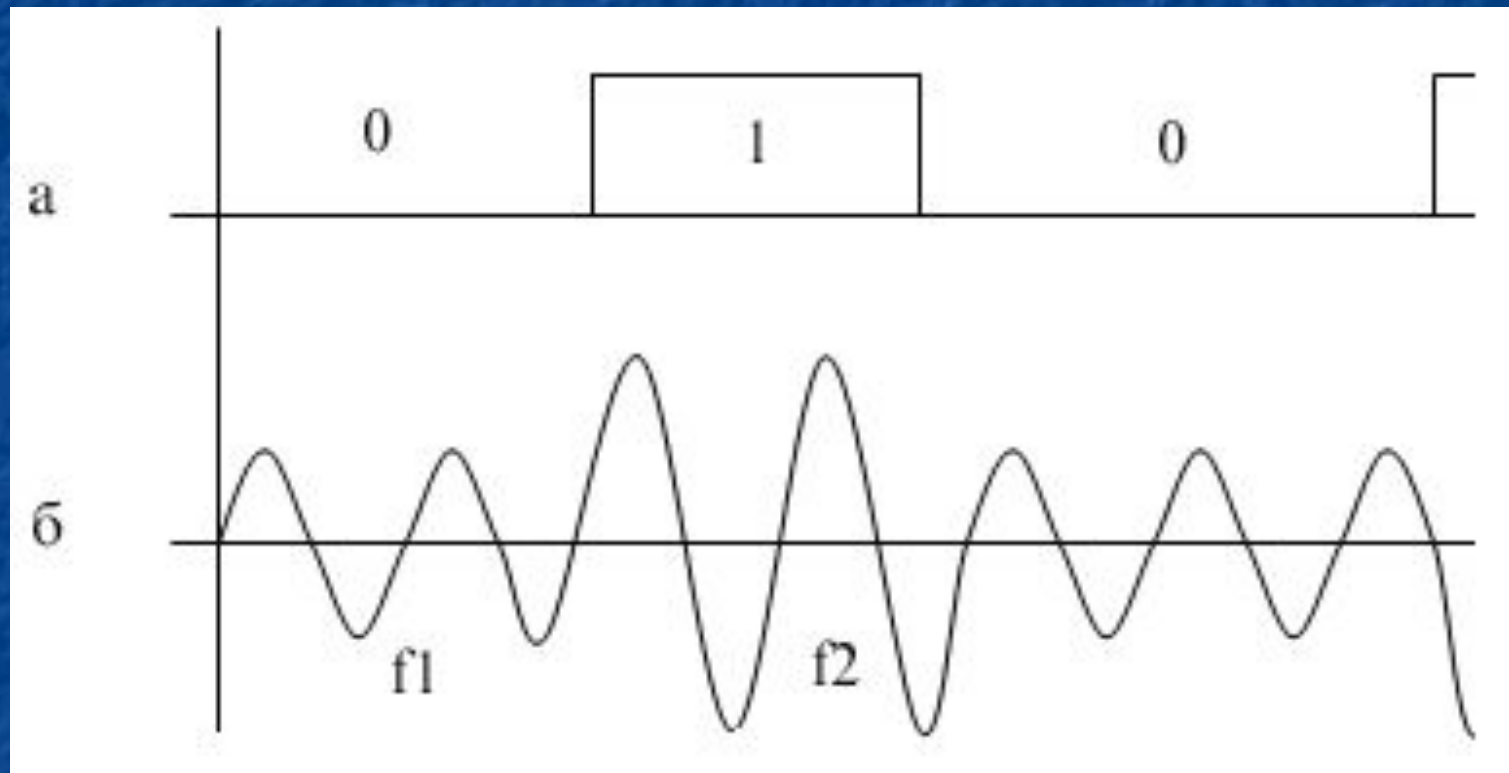


Рис. 2. Типы модуляции (а – потенциальный код, б – амплитудная модуляция)

Аналоговая модуляция

При *частотной модуляции* (рис. 3, а) значения 0 и 1 исходных данных передаются синусоидами с различной частотой — f_0 и f_1 . Этот способ модуляции не требует сложных схем в модемах и обычно применяется в низкоскоростных модемах, работающих на скоростях 300 или 1200 бит/с.

При *фазовой модуляции* (рис. 3, б) значениям данных 0 и 1 соответствуют сигналы одинаковой частоты, но с различной фазой, например 0 и 180 градусов или 0, 90, 180 и 270 градусов.

В скоростных модемах часто используются комбинированные методы модуляции, как правило, амплитудная в сочетании с фазовой.

Амплитудная модуляция

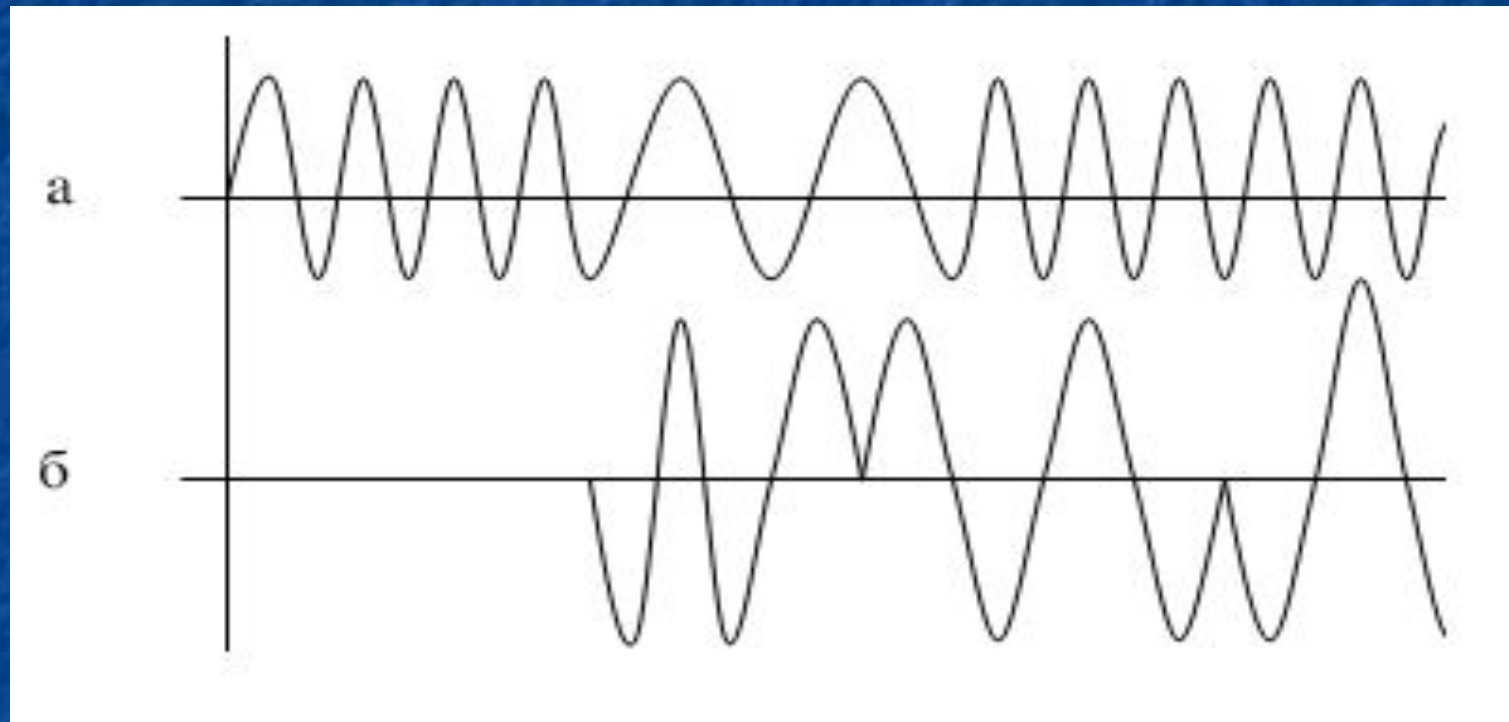


Рис. 3. Типы модуляции (а – частотная модуляция, б – фазовая модуляция)

Амплитудная модуляция

Спектр модулированного сигнала

Спектр результирующего модулированного сигнала зависит от типа модуляции и скорости модуляции, то есть желаемой скорости передачи бит исходной информации.

В спектре сигнала при потенциальном кодировании логическая 1 кодируется положительным потенциалом, а логический 0 — отрицательным потенциалом такой же величины. Для упрощения вычислений предположим, что передается информация, состоящая из бесконечной последовательности чередующихся единиц и нулей, как это и показано на рис. 4, а.

При амплитудной модуляции спектр состоит из синусоиды несущей частоты f_c и двух боковых гармоник: $(f_c + f_m)$ и $(f_c - f_m)$, где f_m — частота изменения информационного параметра синусоиды, которая совпадает со скоростью передачи данных при использовании двух уровней амплитуды (рис. 4, б).

Аналоговая модуляция

При фазовой и частотной модуляции спектр сигнала получается более сложным, чем при амплитудной модуляции, так как боковых гармоник здесь образуется более двух, но они также симметрично расположены относительно основной несущей частоты, а их амплитуды быстро убывают. Поэтому эти виды модуляции также хорошо подходят для передачи данных по каналу тональной частоты.

Для повышения скорости передачи данных используют комбинированные методы модуляции. Наиболее распространенными являются методы *квадратурной амплитудной модуляции (Quadrature Amplitude Modulation, Q4.M)*. Эти методы основаны на сочетании фазовой модуляции с 8 значениями величин сдвига фазы и амплитудной модуляции с 4 уровнями амплитуды.

Аналоговая модуляция

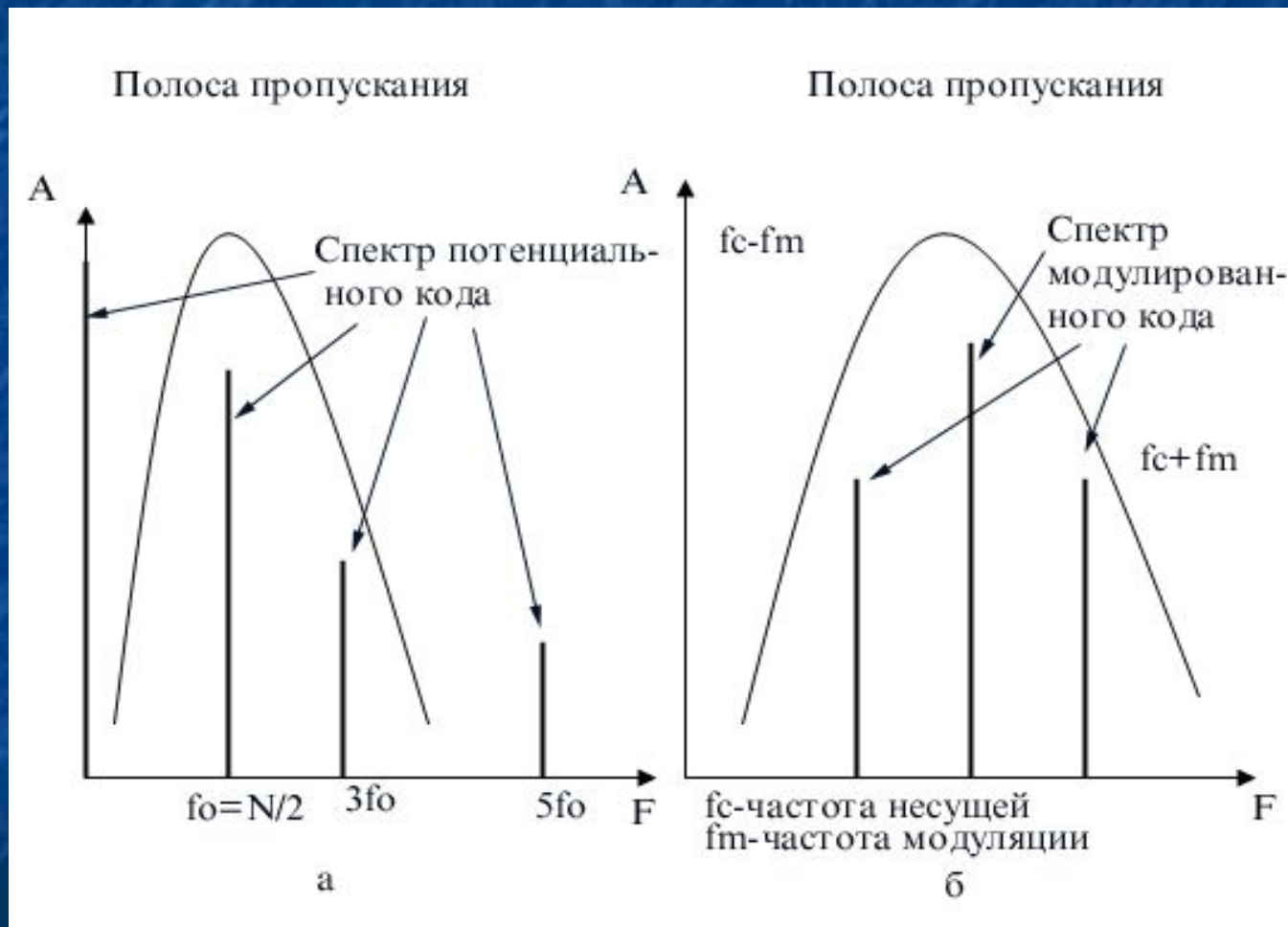


Рис. 4. Спектры сигналов при потенциальном кодировании и амплитудной модуляции

Цифровое кодирование

При цифровом кодировании дискретной информации применяют потенциальные и импульсные коды.

В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала, а его перепады, формирующие законченные импульсы, во внимание не принимаются.

Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами определенной полярности, либо частью импульса — перепадом потенциала определенного направления.

Цифровое кодирование

Требования к методам цифрового кодирования

При использовании прямоугольных импульсов для передачи дискретной информации необходимо выбрать такой способ кодирования, который одновременно достигал бы нескольких целей:

- имел при одной и той же битовой скорости наименьшую ширину спектра результирующего сигнала;
- обеспечивал синхронизацию между передатчиком и приемником;
- обладал способностью распознавать ошибки;
- обладал низкой стоимостью реализации.

Синхронизация передатчика и приемника нужна для того, чтобы приемник точно знал, в какой момент времени необходимо считывать новую информацию с линии связи. В сетях применяются так называемые *самосинхронизирующиеся коды*, сигналы которых несут для передатчика указания о том, в какой момент времени нужно осуществлять распознавание очередного бита.

Цифровое кодирование

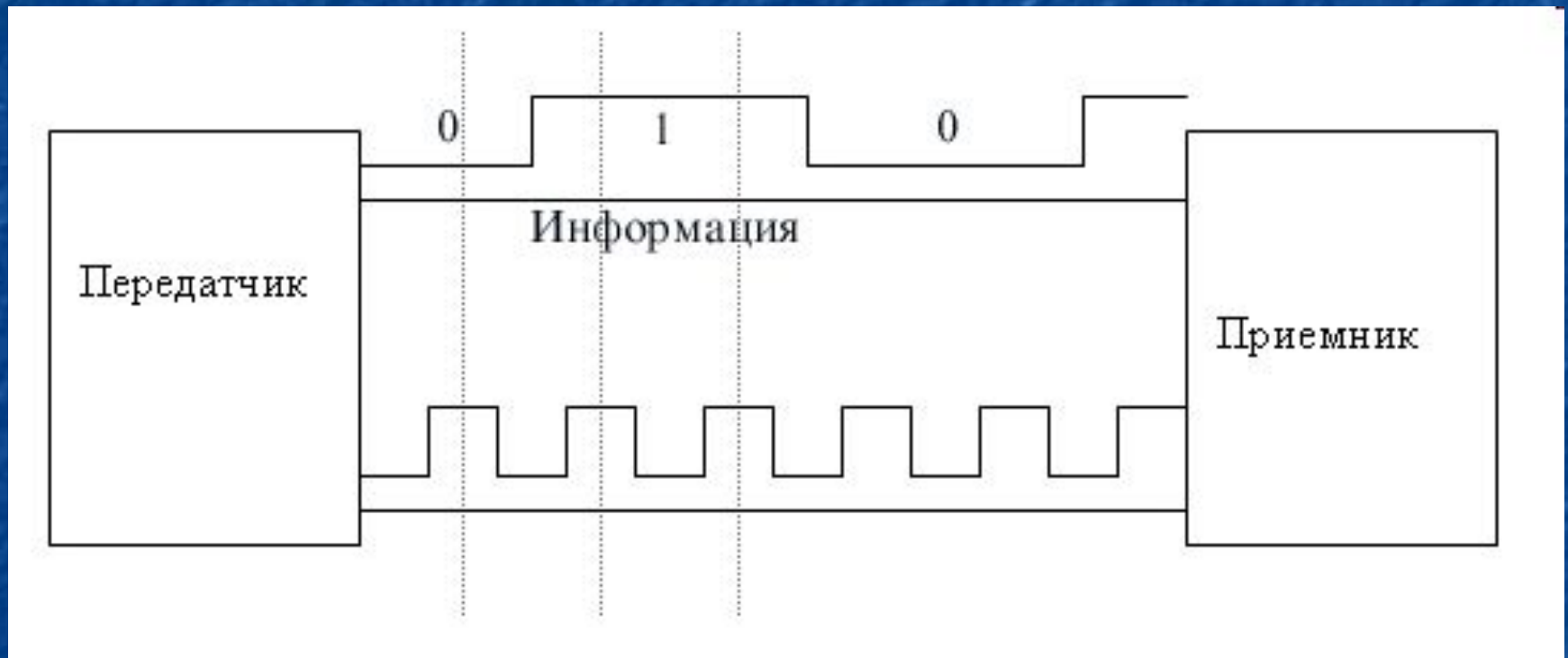


Рис. 5. Синхронизация приемника и передатчика на небольших расстояниях

Цифровое кодирование

Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из рассматриваемых ниже популярных методов цифрового кодирования обладает своими преимуществами и своими недостатками по сравнению с другими.

- Потенциальный код без возвращения к нулю (NRZ).

Метод NRZ прост в реализации, обладает хорошей распознаваемостью ошибок (из-за двух резко отличающихся потенциалов), но не обладает свойством самосинхронизации.

- Метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией (AMI).

В этом методе используются три уровня потенциала — “-”, 0 и “+” Для кодирования логического нуля используется нулевой потенциал, а логическая единица кодируется либо “+” потенциалом, либо “-”, при этом потенциал каждой новой единицы противоположен потенциалу предыдущей. Код AMI частично ликвидирует проблемы постоянной составляющей и отсутствия самосинхронизации, присущие коду NRZ.

Цифровое кодирование

- Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI)

Код, похожий на АМІ, но только с двумя уровнями сигнала. При передаче нуля он передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте (то есть не меняет его), а при передаче единицы потенциал инвертируется на противоположный. Этот код удобен в тех *случаях*, когда использование третьего уровня сигнала весьма нежелательно, например в оптических кабелях, где устойчиво распознаются два состояния сигнала - свет и темнота.

- Биполярный импульсный код

Код, в котором «1» представлена импульсом одной полярности, а «0»-другой. Каждый импульс длится половину такта. Такой код обладает отличными самосинхронизирующими свойствами, но постоянная составляющая может присутствовать, например, при передаче длинной последовательности единиц или нулей. Спектр у него шире, чем у потенциальных кодов.

Цифровое кодирование

- Манчестерский код

Для кодирования единиц и нулей используется перепад потенциала, то есть фронт импульса. Каждый такт делится на две части. Информация кодируется перепадами потенциала, происходящими в середине каждого такта. «1» кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а «0» — обратным перепадом. В начале каждого такта может происходить служебный перепад сигнала, если нужно представить несколько единиц или нулей подряд. Код обладает хорошими самосинхронизирующими свойствами. Применяется в технологиях Ethernet и Token Ring.

Цифровое кодирование

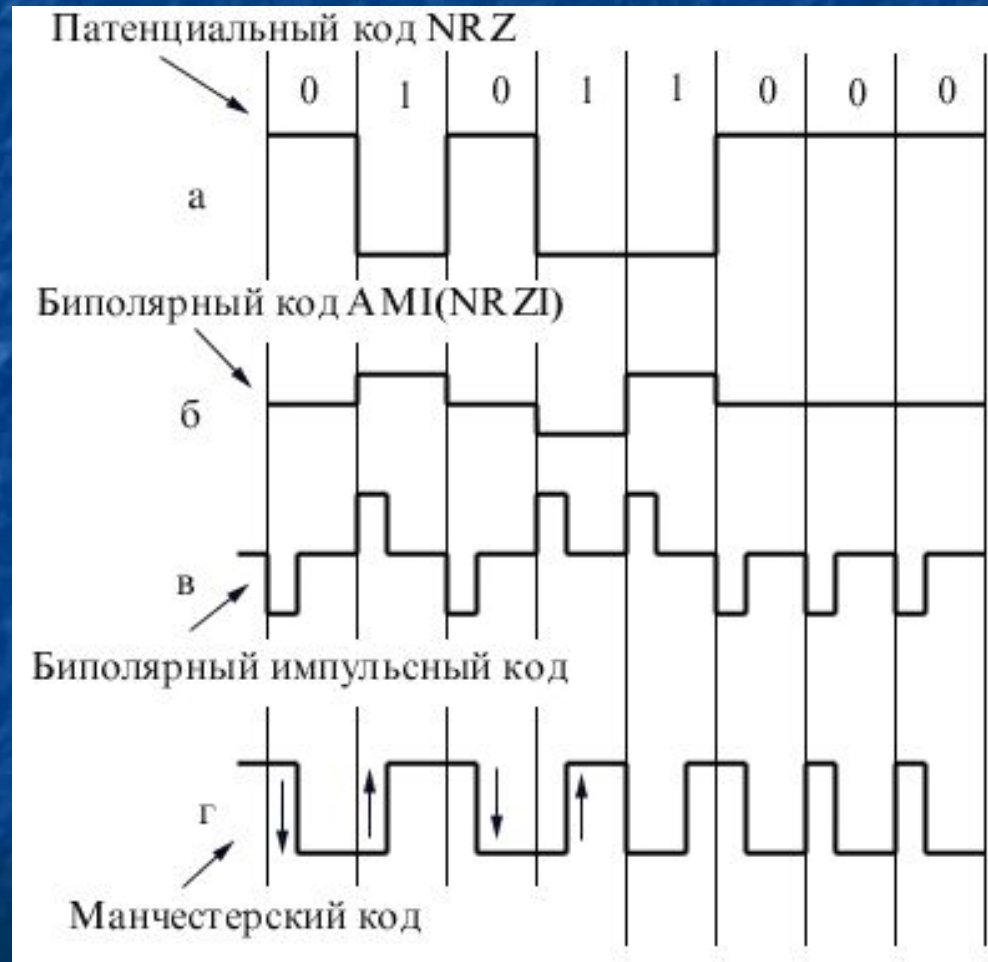


Рис. 6. Способы дискретного кодирования данных

Логическое кодирование

Логическое кодирование используется для улучшения потенциальных кодов типа AMI, NRZI. Логическое кодирование должно заменять длинные последовательности бит, приводящие к постоянному потенциалу, вкраплениями единиц. Как уже отмечалось выше, для логического кодирования характерны два метода — избыточные коды и скремблирование. *Избыточные коды* основаны на разбиении исходной последовательности бит на порции, которые часто называют символами. Затем каждый исходный символ заменяется на новый, который имеет большее количество бит, чем исходный. Логический код 4B/5B, используемый в технологиях FDDI и Fast Ethernet, заменяет исходные символы длиной в 4 на символы длиной в 5 бит. Кроме устранения постоянной составляющей и придания коду свойства самосинхронизации, избыточные коды позволяют приемнику распознавать искаженные биты.

Логическое кодирование

Соответствие исходных и результирующих кодов 4В/5В представлено ниже.

Исходный код	Результирующий код	Исходный код	Результирующий код
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

Скрэмблирование

Перемешивание данных скрэмблером перед передачей их в линию с помощью потенциального кода является другим способом логического кодирования.

Методы скрэмблирования заключаются в побитном вычислении результирующего кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода. Например, скрэмблер может реализовывать следующее соотношение:

$$V_i = A_i V_i V_{i-5},$$

где V_i — двоичная цифра результирующего кода, полученная на i -м такте работы скрэмблера, A_i — двоичная цифра исходного кода, поступающая на i -м такте на вход скрэмблера, V_{i-3} и V_{i-5} — двоичные цифры результирующего кода, полученные на предыдущих тактах работы скрэмблера, соответственно на 3 и на 5 тактов ранее Текущего такта, \otimes — операция исключающего ИЛИ (сложение по модулю 2).

Скрэмблирование

Например, для исходной последовательности 110110000001 скрэмблер даст следующий результирующий код:

$V_i = A_i = 1$ (первые три цифры результирующего кода будут совпадать с исходным, так как еще нет нужных предыдущих цифр)

$$V_2 = A_2 = 1$$

$$V_3 = A_3 = 0$$

$$V_4 = A_4 \oplus V_1 = 1 \oplus 1 = 0$$

$$V_5 = A_5 \oplus V_2 = 1 \oplus 1 = 0$$

$$V_6 = A_6 \oplus V_3 \oplus V_1 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$V_7 = A_7 \oplus V_4 \oplus V_2 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$V_8 = A_8 \oplus V_5 \oplus V_3 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

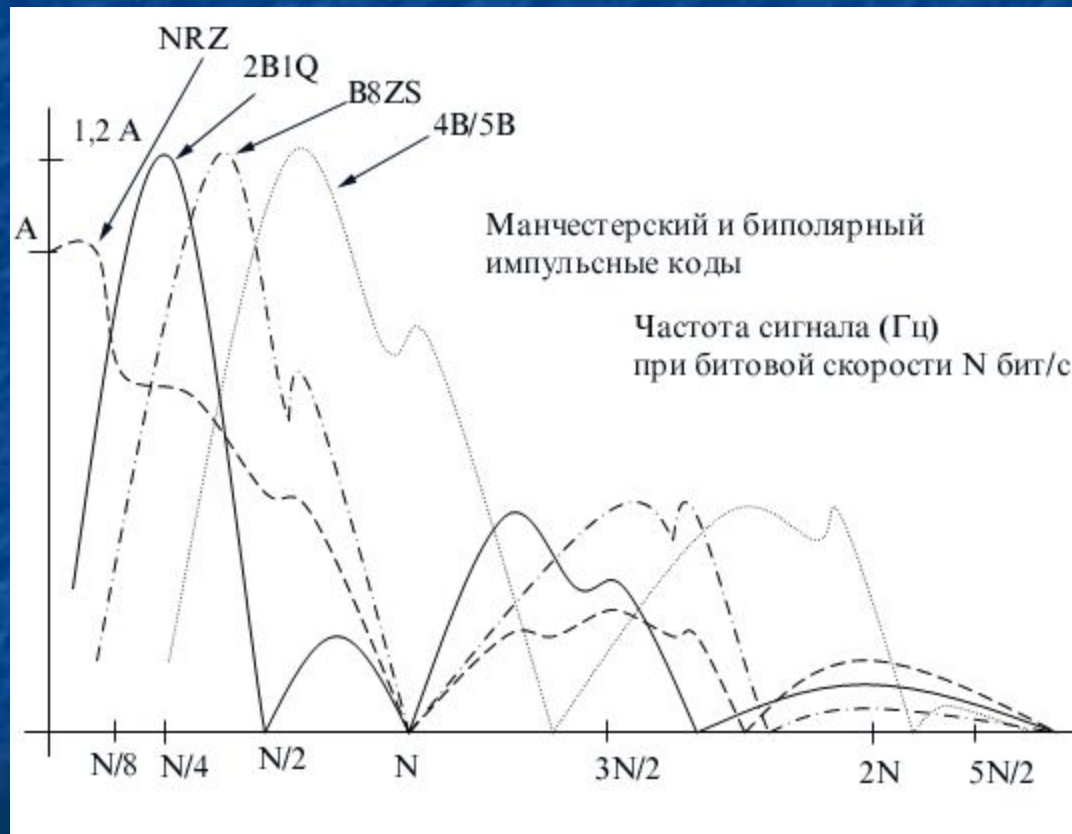
$$V_9 = A_9 \oplus V_6 \oplus V_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$V_{10} = A_{10} \oplus V_7 \oplus V_5 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$V_{11} = A_{11} \oplus V_8 \oplus V_6 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$V_{12} = A_{12} \oplus V_9 \oplus V_7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

Скрэмблирование



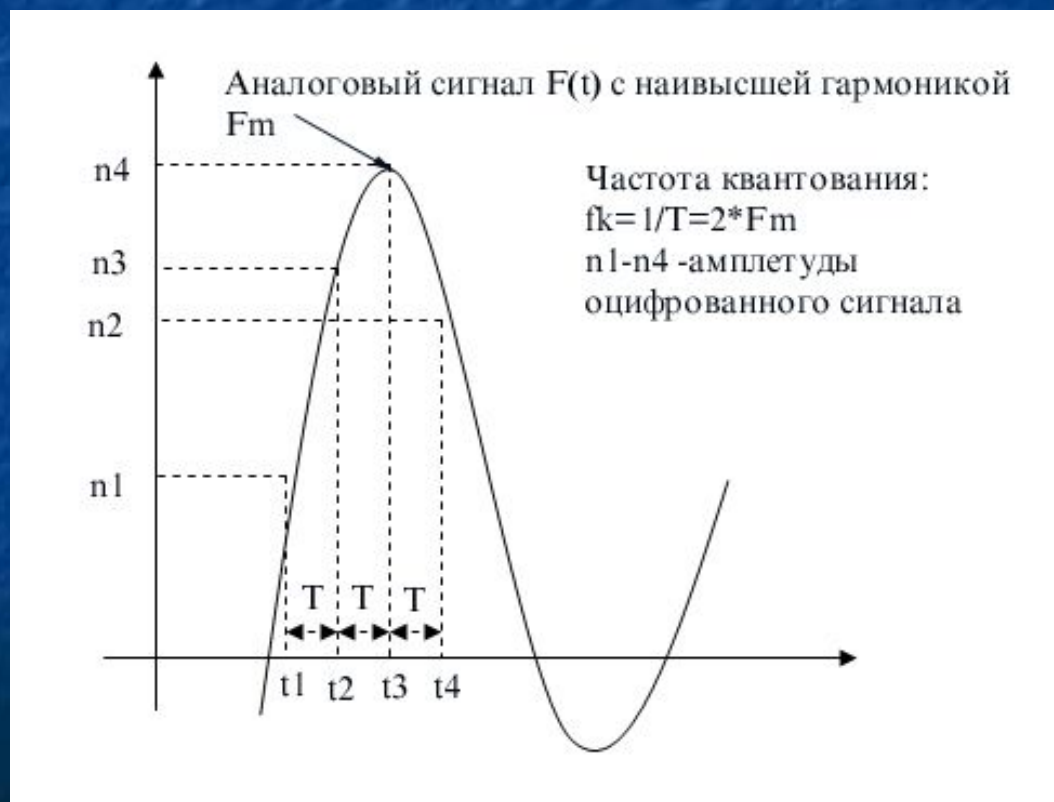
Спектры потенциальных и импульсных кодов

Дискретная модуляция аналоговых сигналов

Одной из основных тенденций развития сетевых технологий является передача в одной сети как дискретных, так и аналоговых по своей природе данных. Источниками дискретных данных являются компьютеры и другие вычислительные устройства, а источниками аналоговых данных являются такие устройства, как телефоны, видеокамеры, звуко и видео воспроизводящая аппаратура. На ранних этапах решения этой проблемы в территориальных сетях все типы данных передавались в аналоговой форме, при этом дискретные по своему характеру компьютерные данные преобразовывались в аналоговую форму с помощью модемов.

Дискретная модуляция аналоговых СИГНАЛОВ

Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени. Рассмотрим принципы дискретной модуляции на примере импульсно-кодовой модуляции, ИКМ (Pulse Amplitude Modulation, PAM), которая широко применяется в цифровой телефонии.



Дискретная модуляция аналоговых сигналов

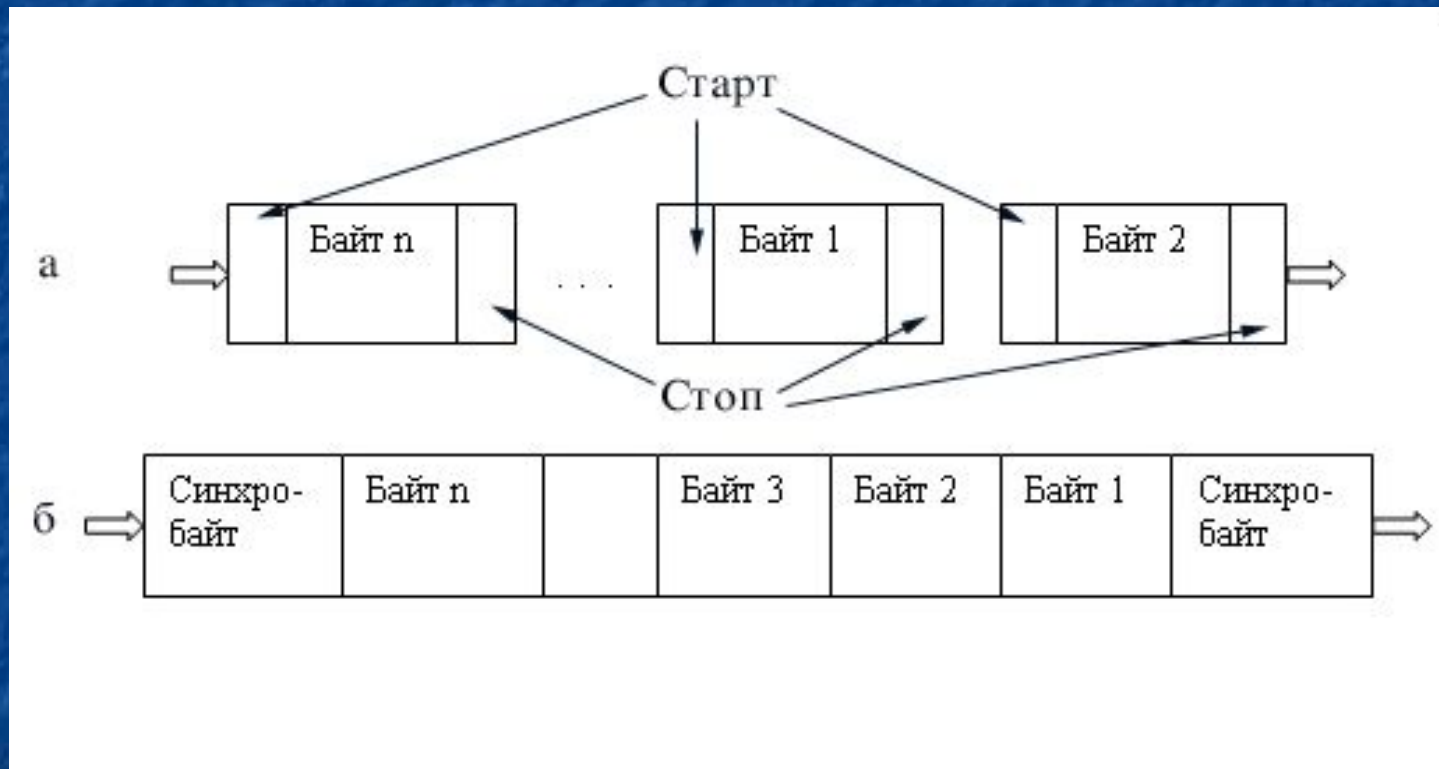
Дискретная модуляция основана на теории отображения Найквиста — Котельникова. В соответствии с этой теорией, аналоговая непрерывная функция, переданная в виде последовательности ее дискретных по времени значений, может быть точно восстановлена, если частота дискретизации была в два или более раз выше, чем частота самой высокой гармоники спектра исходной функции.

Асинхронная и синхронная передачи

Обычно достаточно обеспечить синхронизацию на указанных двух уровнях — битовом и кадровом, — чтобы передатчик и приемник смогли обеспечить устойчивый обмен информацией. Однако при плохом качестве линии связи (обычно это относится к телефонным коммутируемым каналам) для удешевления аппаратуры и повышения надежности передачи данных вводят дополнительные средства синхронизации на уровне байт.

Асинхронным описанный режим называется потому, что каждый байт может быть несколько смещен во времени относительно побитовых тактов предыдущего байта. Такая асинхронность передачи байт не влияет на корректность принимаемых данных, так как в начале каждого байта происходит дополнительная синхронизация приемника с источником за счет битов «старт». Более «свободные» временные допуски определяют низкую стоимость оборудования асинхронной системы.

Асинхронная и синхронная передачи



Асинхронная и синхронная передачи

При синхронном режиме передачи старт-стопные биты между каждой парой байт отсутствуют. Пользовательские данные собираются в кадр, который предваряется байтами синхронизации. Байт синхронизации — это байт, содержащий заранее известный код, например 0111110, который оповещает приемник о приходе кадра данных. При его получении приемник должен войти в байтовый синхронизм с передатчиком, то есть правильно понимать начало очередного байта кадра. Иногда применяется несколько синхробайт для обеспечения более надежной синхронизации приемника и передатчика. Так как при передаче длинного кадра у приемника могут появиться проблемы с синхронизацией бит, то в этом случае используются самосинхронизирующиеся коды.

Вывод

- При передаче дискретных данных по узкополосному каналу тональной частоты, используемому в телефонии, наиболее подходящими оказываются способы аналоговой модуляции, при которых несущая синусоида модулируется исходной последовательностью двоичных цифр. Эта операция осуществляется специальными устройствами — модемами.
- Для низкоскоростной передачи данных применяется изменение частоты несущей синусоиды. Более высокоскоростные модемы работают на комбинированных способах квадратурной амплитудной модуляции (QAM), для которой характерны 4 уровня амплитуды несущей синусоиды и 8 уровней фазы. Не все из возможных 32 сочетаний метода QAM используются для передачи данных, запрещенные сочетания позволяют распознавать искаженные данные на физическом уровне.
- На широкополосных каналах связи применяются потенциальные и импульсные методы кодирования, в которых данные представлены различными уровнями постоянного потенциала сигнала либо полярностями импульса или его фронта.
- При использовании потенциальных кодов особое значение приобретает задача синхронизации приемника с передатчиком, так как при передаче длинных последовательностей нулей или единиц сигнал на входе приемника не изменяется и приемнику сложно определить момент съема очередного бита данных.
- Наиболее простым потенциальным кодом является код без возвращения к нулю (NRZ), однако он не является самосинхронизирующимся и создает постоянную составляющую.
- Наиболее популярным импульсным кодом является манчестерский код, в котором информацию несет направление перепада сигнала в середине каждого такта. Манчестерский код применяется в технологиях Ethernet и Token Ring.
- Для улучшения свойств потенциального кода NRZ используются методы логического кодирования, исключающие длинные последовательности нулей. Эти методы основаны:
 - на введении избыточных бит в исходные данные (коды типа 4B/5B);
 - скремблировании исходных данных (коды типа 2B1Q).