


# Методы и средства информационного обмена в интеллектуальных автоматизированных системах

Кодирование информации в сетевых интерфейсах АС, сигналы, помехи и шумы.



# Кодирование: общие понятия

Кодирование выполняется на основе определенного множества символов, которое не меняется от сообщения к сообщению, так как является инструментом преобразования. Это множество возможных символов мы будем называть алфавитом. Грубо говоря, алфавит это некоторое множество  $X = \{x_i\}$ , где  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Таким образом, под основанием алфавита мы будем понимать количество элементов кода –  $m$ , например, для двоичного кода  $x_i = \{0, 1\}$  и  $m = 2$ .

Под «кодом» кодовой комбинацией или кодовым словом мы будем понимать конечную последовательность символов данного алфавита.

Под значностью или длиной комбинации мы будем понимать число элементов  $n$  в кодовой комбинации.

Под объемом или мощностью кода будем понимать число различных кодовых комбинаций ( $N = m^n$ ).

Множество состояний кода должно покрывать множество состояний объекта.

Таким образом, полный равномерный  $n$ -значный код с основанием  $m$  содержит  $N = m^n$  кодовых комбинаций.

Такой код мы будем называть примитивным.

# Кодирование: классификация

Коды мы можем разделять (классифицировать) по следующим различным признакам:

- 1) по основанию или, другими словами, количеству символов в алфавите: бинарные (двоичные  $m=2$ ) или не бинарные ( $m < 2$ );
- 2) по длине кодовых комбинаций (слов):
  - а) равномерные (все кодовые комбинации имеют одинаковую длину);
  - б) неравномерные (длина любой кодовой комбинации является переменной величиной);
- 3) по способу передачи: последовательные и параллельные, а также блочные или непрерывные (блочные данные сначала накапливаются в буфере, а затем передаются в канал связи для передачи, а непрерывные следуют сплошным потоком);
- 4) по помехоустойчивости: простые (примитивные – используется только часть кодовых комбинаций), полные (используются все возможные кодовые комбинации), корректирующие (помехозащищенные, использующие только часть разрешенных кодовых комбинаций).

# Кодирование: виды

Коды:

- 1) Внутренние коды, используемые только внутри определенных устройств.
- 2) Двоичный код.
- 3) Шестнадцатеричный код.
- 4) Коды ASCII.
- 5) Специальные коды типа кода Хэмминга, кода Грея и так далее.

# Кодирование: цели

Можно выделить следующие основные цели кодирования информации в автоматизированных системах.

- 1) повышение эффективности передачи данных;
- 2) достижение максимальной скорости передачи данных;
- 3) повышение помехоустойчивости и надежности при передаче данных.

В соответствии с этими целями классическая теория кодирования развивается в двух основных направлениях:

- 1) теория эффективного кодирования занимается поиском кодов, позволяющих повысить эффективность передачи информации в каналах связи без помех за счет устранения избыточности и наилучшего согласования скорости передачи данных с пропускной способностью канала.
- 2) теория помехоустойчивого кодирования занимается поиском кодов, повышающих достоверность передачи информации в каналах с помехами.

# Дискретизация

Дискретная модуляция основана на процессе перевода физических величин в цифровое представление, т.е. на дискретизации непрерывных процессов по амплитуде и квантовании по времени.

Сам процесс дискретизации описывается как процесс измерения абсолютного уровня напряжения сигнала в канале связи и представления полученного значения в виде числа. При этом каждое устройство для дискретизации имеет свою разрядность, что определяет число градаций представления напряжения числом и «цену деления». Например, при максимальном напряжении в 5 В и при разрядности преобразователя в 10 бит, мы представляем число 5 в виде 1024 уровней (чисел) как на линейке. Т.е. минимальная цена деления у нас  $5 / 1024$  В. В итоге, полученное на выходе число достаточно умножить на эту цену деления и получить измеренное напряжение.

# Дискретизация

Процесс дискретизации происходит через равные промежутки на АЦП. При этом следует учитывать теорему Котельникова, согласно которой, для того чтобы все изменения входного сигнала за единицу времени были отражены корректно, следует делать выборку (измерения) с частотой, превышающей в 2 раза максимальную частоту гармоник входного сигнала.

Например, для человеческого голоса с пределами от 300 до 3400 Гц (голосовые частоты), выделяется полоса пропускания в 4 КГц и частота дискретизации в 8 КГц. Этот предел частоты является классическим для передачи голоса по телефонным линиям.

Есть разные типы АЦП, различные устройства и алгоритмы, выполняющие эту операцию, но это тема для отдельного изучения и не входит в данный курс.

Сейчас нам достаточно знать, что дискретизация в компьютерной обработке сигналов помогает представить аналоговый сигнал в виде обычного массива значений с плавающей точкой с прогнозируемой точностью и допустимыми погрешностями.

# Дискретизация

Процесс измерения аналогового сигнала (мгновенного значения напряжения) в определенных точках, находящихся друг от друга на минимальном интервале времени  $dt$  может быть показан на примере синусоиды, разбитой на равные интервалы по оси  $X$ .

Между контрольными точками определения значения напряжения присутствуют «пробелы», значение напряжения в которых неопределённо. Чем шире такой интервал (по оси  $x$ ), тем выше неопределенность, т.е. ошибка дискретизации.

Другая проблема – это неизвестность по оси  $y$ . Чем резче изменяется сигнал, тем шире этот интервал неопределенности, это ошибка квантования.

Т.е. даже с учетом теоремы Котельникова, все равно присутствует определенная погрешность представления данных, но она является контролируемой и допустимой для каналов связи.



# Дискретизация

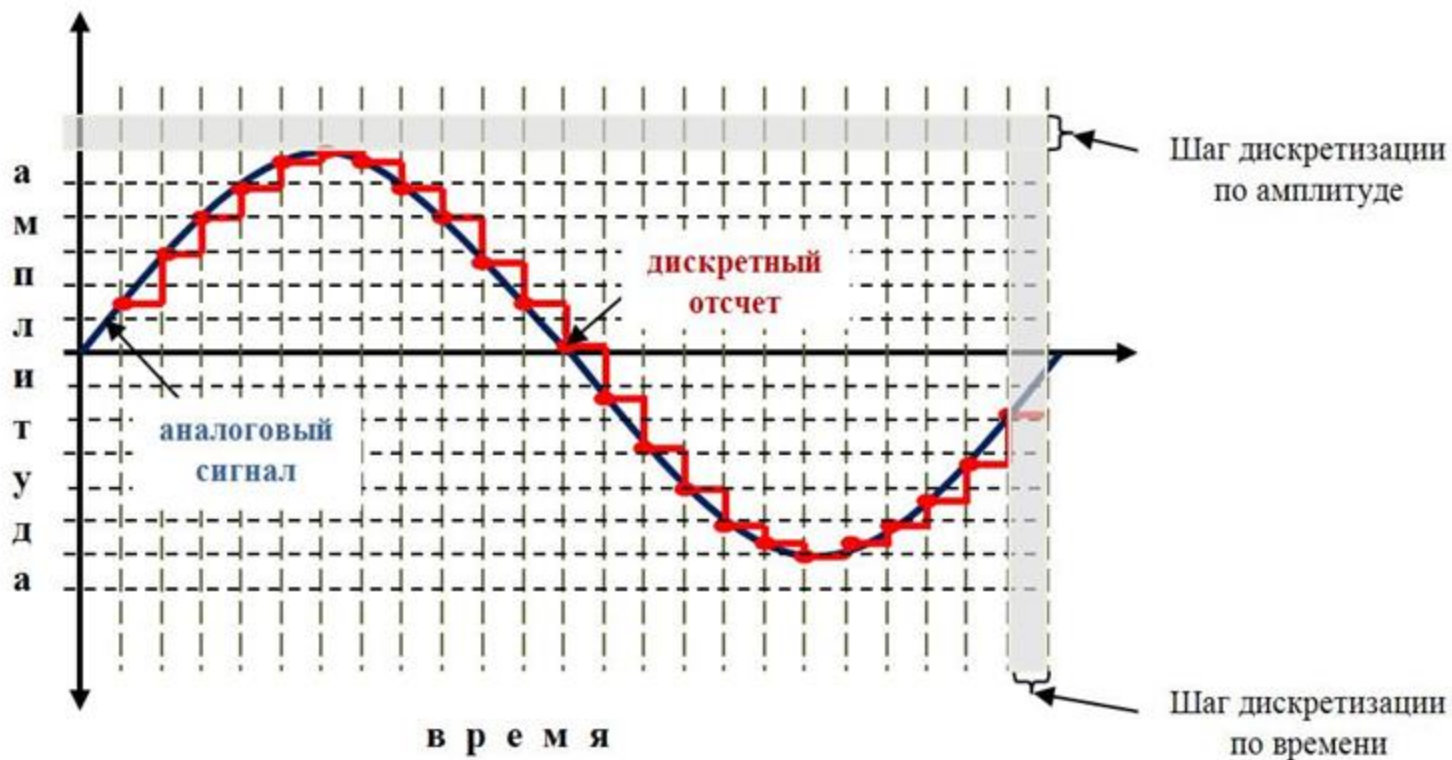
Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется специальным устройством с заданным периодом, т.е. через определенные интервалы времени. За счет изменения этого периода происходит дискретизация сигнала по времени. Чем меньше этот период времени ( $dt \gg 0$ ), тем точнее происходит измерение и тем точнее представление данных.

Здесь также следует помнить, что чем меньше интервал измерения, тем «дельта  $t$ » ближе к « $dt$ » и тем «сумма» ближе по форме к «интегралу». И наоборот.

Каждое измерение аналогового сигнала является для нас элементом массива в виде числа с определенной разрядностью. Здесь является важным размер памяти, выделяемый для хранения данных. В современных системах данные редко представляются числами с разрядностью ниже 32 или даже 64 бита.

При передаче по цифровым каналам демодулированного и оцифрованного сигнала также могут применяться свои собственные методы кодирования информации, например B8ZS, 2B1Q или Манчестера.

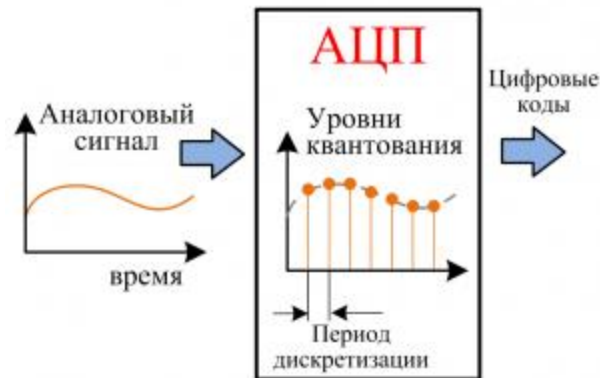
# Дискретизация



# АЦП: Типы

По способу применяемых алгоритмов АЦП делят на:

- 1) Последовательные прямого преобразования
- 2) Последовательного приближения
- 3) Последовательные с сигма-дельта-модуляцией
- 4) Параллельные одноступенчатые
- 5) Параллельные двух- и более ступенчатые (конвейерные)



# Модуляция: аналоговая

Аналоговая модуляция – это метод надежной передачи данных по каналам с узкой полосой частот.

Как уже говорилось ранее на примере голосового сигнала, канал связи обеспечивает пропускную способность для каналов в диапазоне до 4 КГц. Такое ограничение связано с применением аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях.

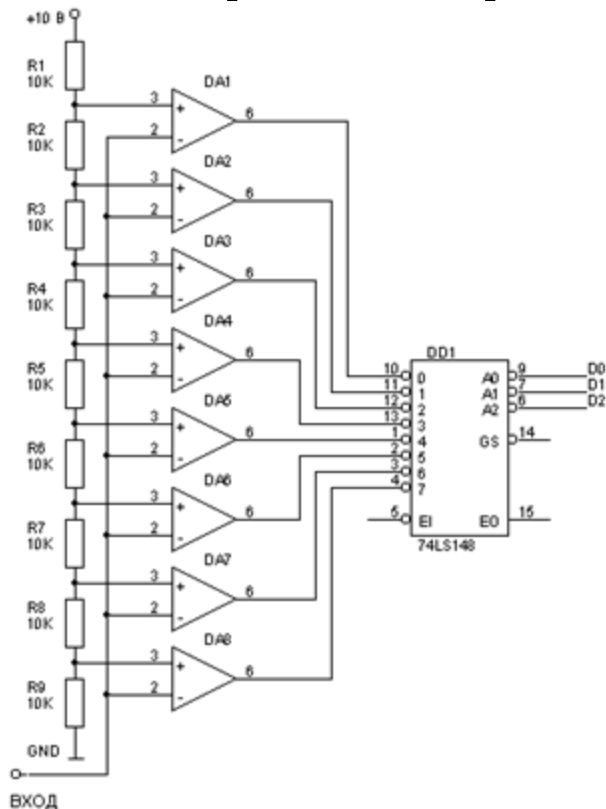
Аналоговая модуляция здесь является простым способом физического кодирования, при котором информация представляется изменением одной или нескольких основных характеристик аналогового сигнала: амплитуды, частоты или фазы. Кроме «чистых» форм модуляции, на практике применяются и «смешанные» формы, типа амплитудно-частотной модуляции.

Сам принцип модуляции здесь объяснить достаточно просто: один уровень амплитуды сигнала выбирается для представления логической единицы, а другой уровень – для представления логического нуля. При этом частотные характеристики сигнала не изменяются. Например, для представления логического нуля применяется напряжение в 1 В, а для представления единицы – 5 В.

# АЦП параллельного типа (пример)

Входной сигнал подается на инвертирующие входы компараторов (DA1-DA8), соединенные параллельно. На неинвертирующие входы этих компараторов подаются опорные напряжения с делителя напряжений на сопротивлениях R1-R9, на каждый компаратор подается опорное напряжение, отличающееся от соседних на шаг квантования. Количество включенных компараторов преобразуется в двоичный код при помощи приоритетного шифратора DD1.

- + высокое быстродействие, достигающее десятков наносекунд.
- большая сложность (количество компараторов в схеме равно числу уровней квантования, и равно  $2^n$  где  $n$  - разрядность выходного кода)
- высокая стоимость
- невысокая точность (8-10 двоичных разрядов)

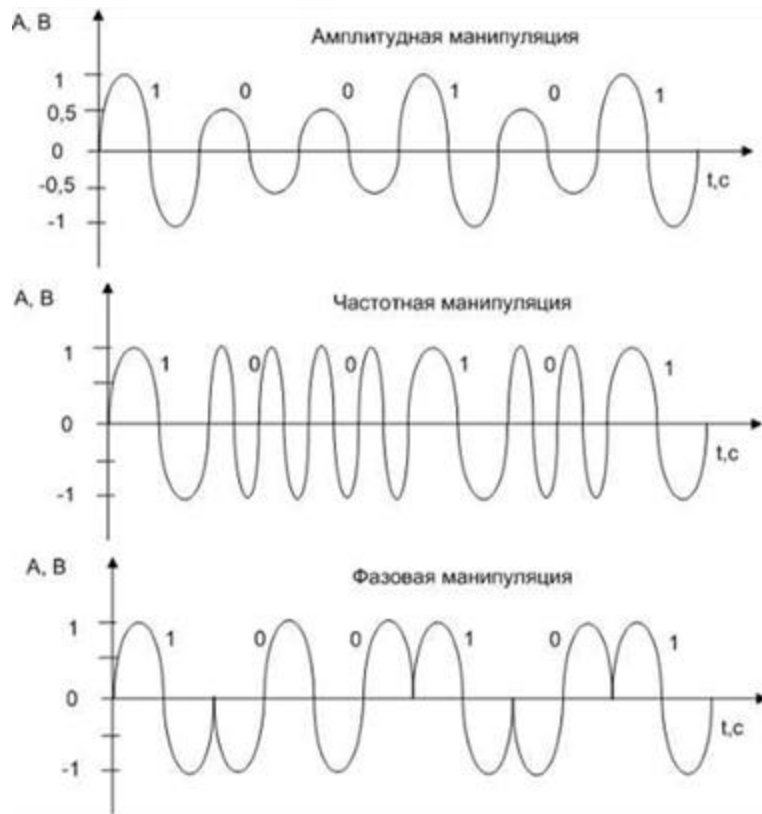


# Модуляция: частотная

Частотная модуляция строится на похожем принципе: значения логического нуля и логической единицы передаются по каналам связи гармониками с одинаковой амплитудой, но с различной частотой. Этот способ модуляции не требует применения сложных и дорогостоящих схем и часто используется на практике даже в чистом виде.

# Модуляция: фазовая

Этот вид модуляции, при которой фаза несущего колебания изменяется прямо пропорционально информационному сигналу.



# Передача дискретных данных

Передача дискретных данных выполняется посредством цифрового кодирования. Мы уже рассмотрели основные понятия теории кодирования, теперь рассмотрим методы цифрового кодирования более подробно.

При цифровом кодировании информации применяют потенциальные и импульсные коды для представления сигналов, изначально находящихся в дискретной форме.

У потенциальных кодов есть одна интересная особенность: устойчивые состояния логического нуля и единицы представляются только при помощи значений сигнала с разным потенциалом. Перепады (фронт и спад) не используются в канале связи.

Импульсные коды, наоборот, представляют бинарные данные либо импульсами, либо частью импульса с определенной полярностью, т.е. перепадом потенциала в определенном направлении (фронт или спад).



# Цели

Для передачи дискретной информации необходимо выбрать такой способ кодирования, который одновременно достигал бы нескольких целей:

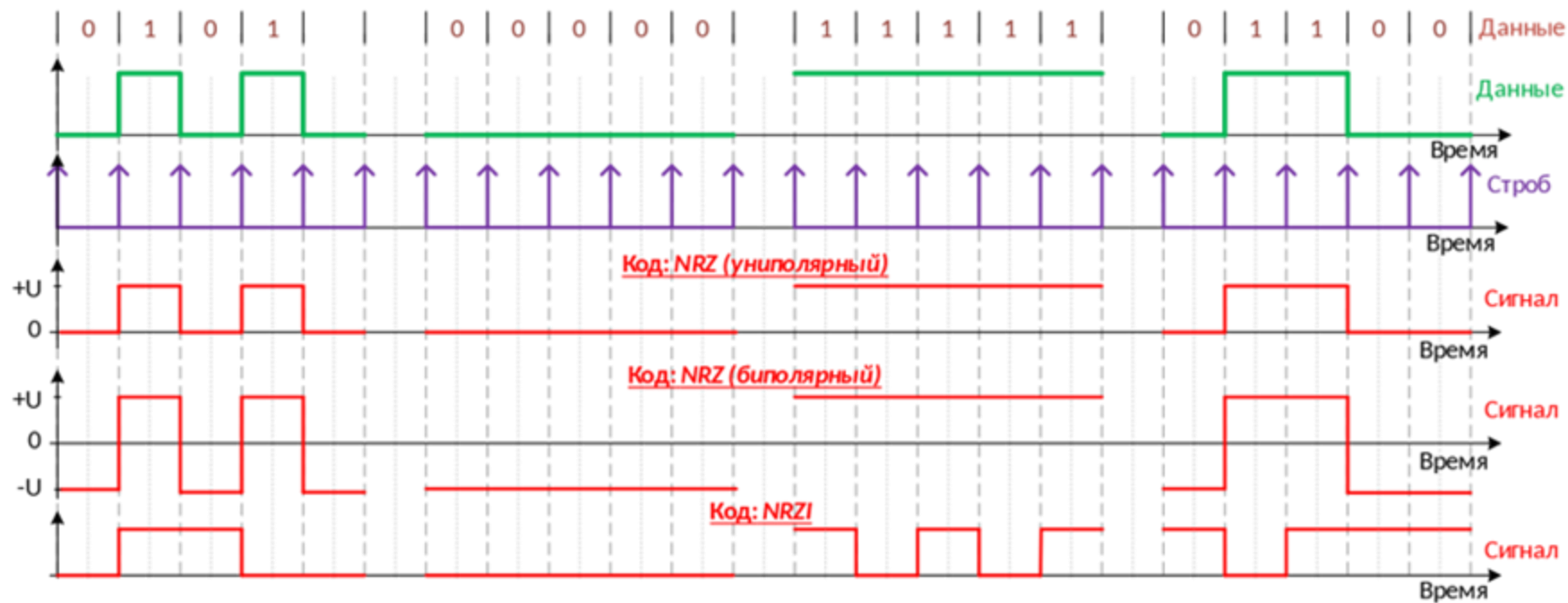
- 1) ширина спектра должна быть наименьшей из возможных при одной и той же постоянной битовой скорости;
- 2) должна быть обеспечена синхронизация и самосинхронизация потока передачи данных между передатчиком и приемником;
- 3) должна существовать возможность распознавать и ликвидировать хотя бы одиночные ошибки;
- 4) стоимость реализации и эксплуатации должна быть низкой.

# Методы

Рассмотрим метод «без возвращения к нулю» или non return to zero (NRZ). Это метод потенциального кодирования и его название отражает его особенность представления данных, когда сигнал не возвращается к нулю в течение следующего такта при передаче длительной последовательности единиц. Это означает то, что сигнал не имеет никакого стабильного или устойчивого состояния между сеансами передачи данных.

Здесь следует сказать, что метод NRZ прост в реализации. Тем не менее он обладает хорошей распознаваемостью ошибок, что обусловлено использованием двух резко отличающихся потенциалов. Кроме использования при передаче данных, метод также распространен при решении задач хранения информации на различных носителях.

# NRZ



# Биполярное кодирование

Метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией.

Это, по сути, одна из более поздних модификаций метода NRZ. Этот метод называется методом биполярного кодирования с альтернативной инверсией или bipolar alternate mark inversion (AMI).

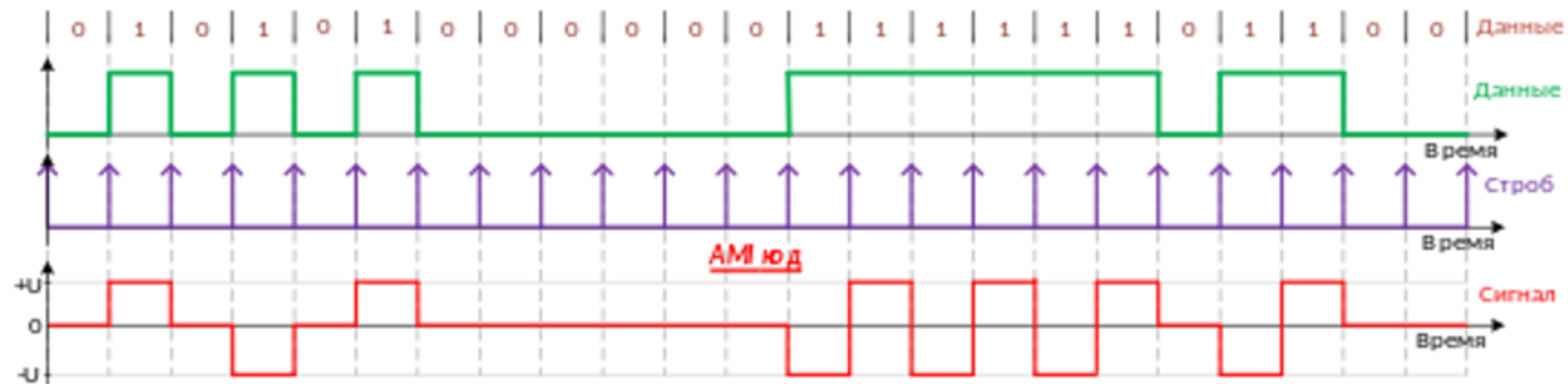
Примечательно в первую очередь то, что здесь используются сразу три уровня потенциала:

- 1) отрицательный потенциал или минус напряжение питания;
- 2) нулевой;
- 3) положительный потенциал или плюс напряжение питания.

Создатели метода решили, что состояние логического нуля в AMI будет представляться нулевым потенциалом, т.е. отсутствием сигнала вообще.

Логическая же единица кодируется либо положительным потенциалом, либо отрицательным. Причем, каким потенциалом конкретно кодируются бинарные числа «1», зависит от расположения этих единиц в серии данных: потенциал каждой новой единицы в конечном представлении прямо противоположен потенциалу предыдущей.

# AMI



# Код с инверсией

Потенциальный код с инверсией при «логической единице».

Он называется потенциальным кодом с инверсией при единице или non return to zero with ones inverted (NRZI). Этот метод несколько похож на AMI по принципу работы, но только с двумя уровнями сигнала.

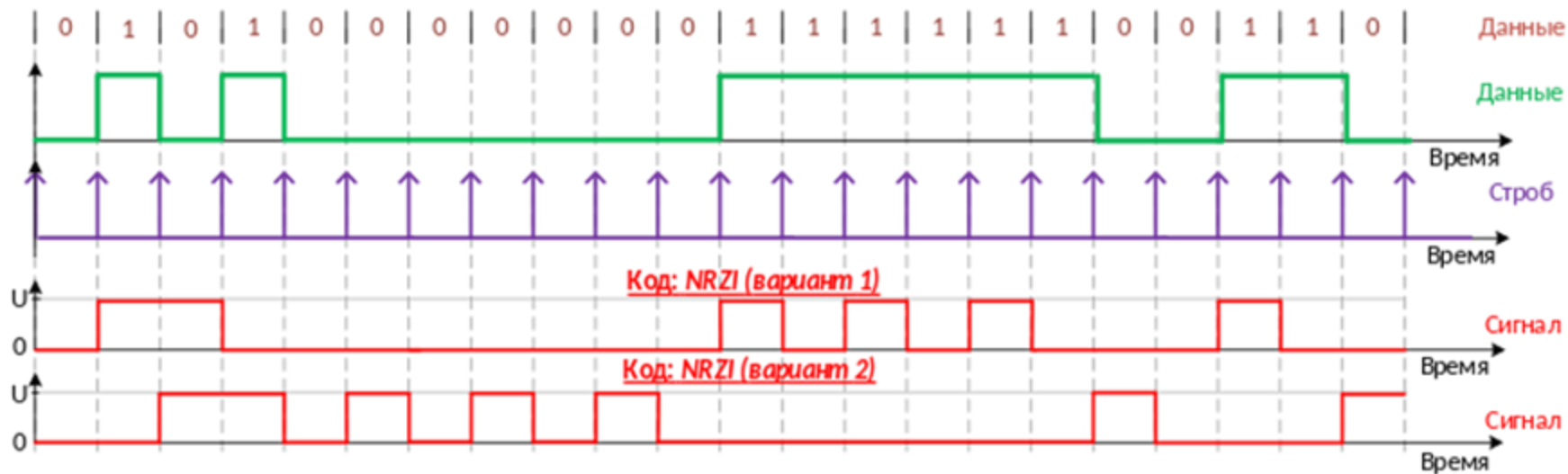
Суть его работы состоит в следующем:

- 1) при передаче «0» он передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте, и не отменяет его;
- 2) при передаче новой «1» потенциал инвертируется на противоположный.

Здесь как бы имитируется инверсия AMI, но только при помощи всего двух потенциалов.

Этот код удобен в тех случаях, когда линия связи или аппаратура физически неспособна использовать три потенциала. В качестве примера можно назвать любые оптические кабели, так как в них распознаются только два граничных состояния сигнала – «свет» и «темнота», т.е. «логическая единица» и «логический ноль».

# Код с инверсией



# Код 2B1Q

Потенциальный код 2B1Q.

Это уникальный потенциальный код уже с четырьмя уровнями сигнала.

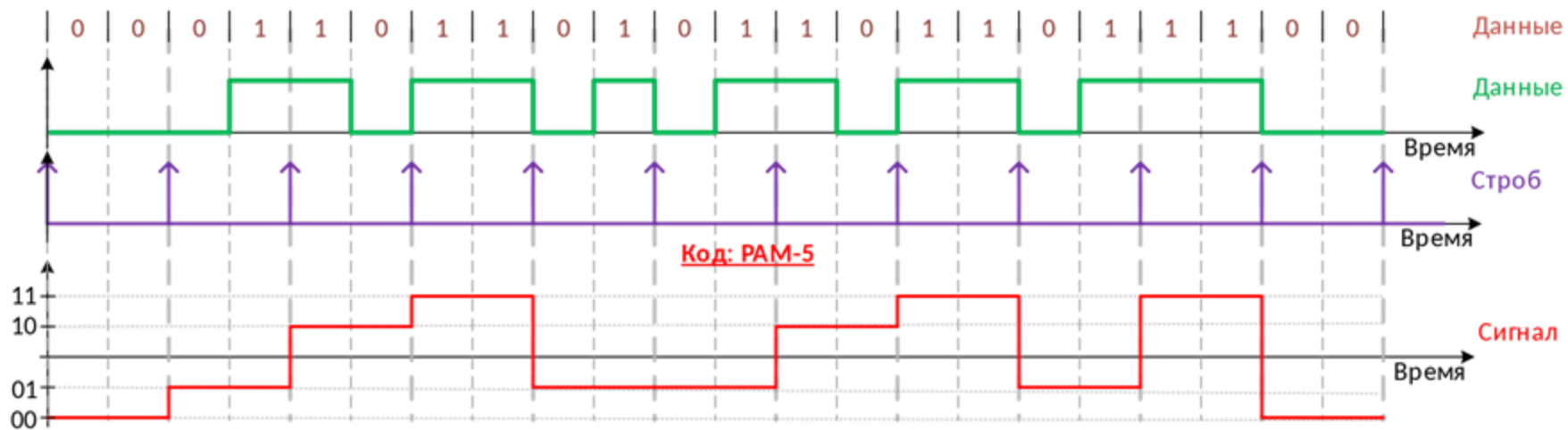
При данном кодировании каждые два бита (2B) передаются за один такт сигналом, имеющим четыре состояния (1Q).

Это означает, что:

- 1) двум соседним битам «00» соответствует напряжение – 2,5 В;
- 2) двум соседним битам «01» соответствует напряжение – 0,833 В;
- 3) двум соседним битам «11» соответствует напряжение + 0,833 В;
- 4) двум соседним битам «10» соответствует напряжение + 2,5 В.



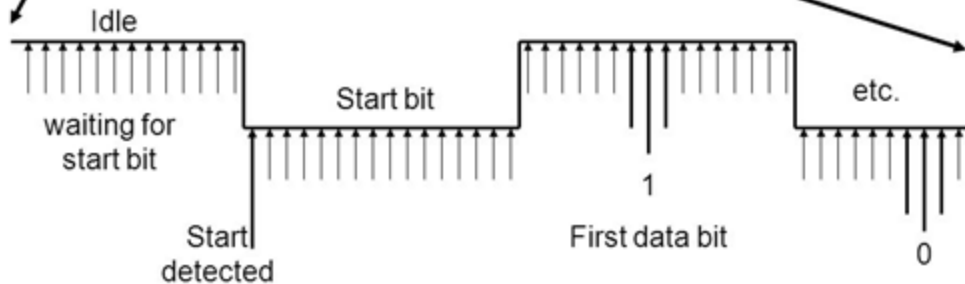
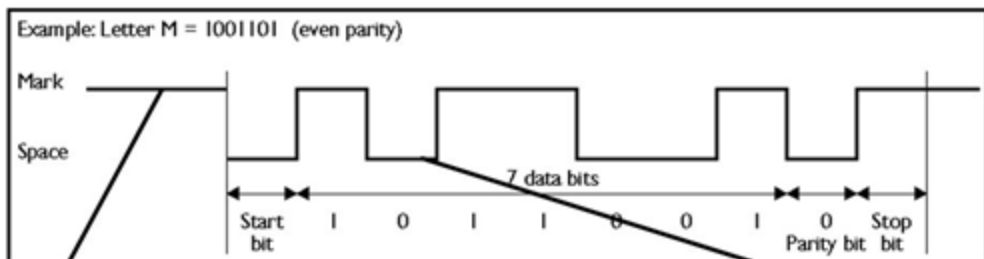
# 2B1Q



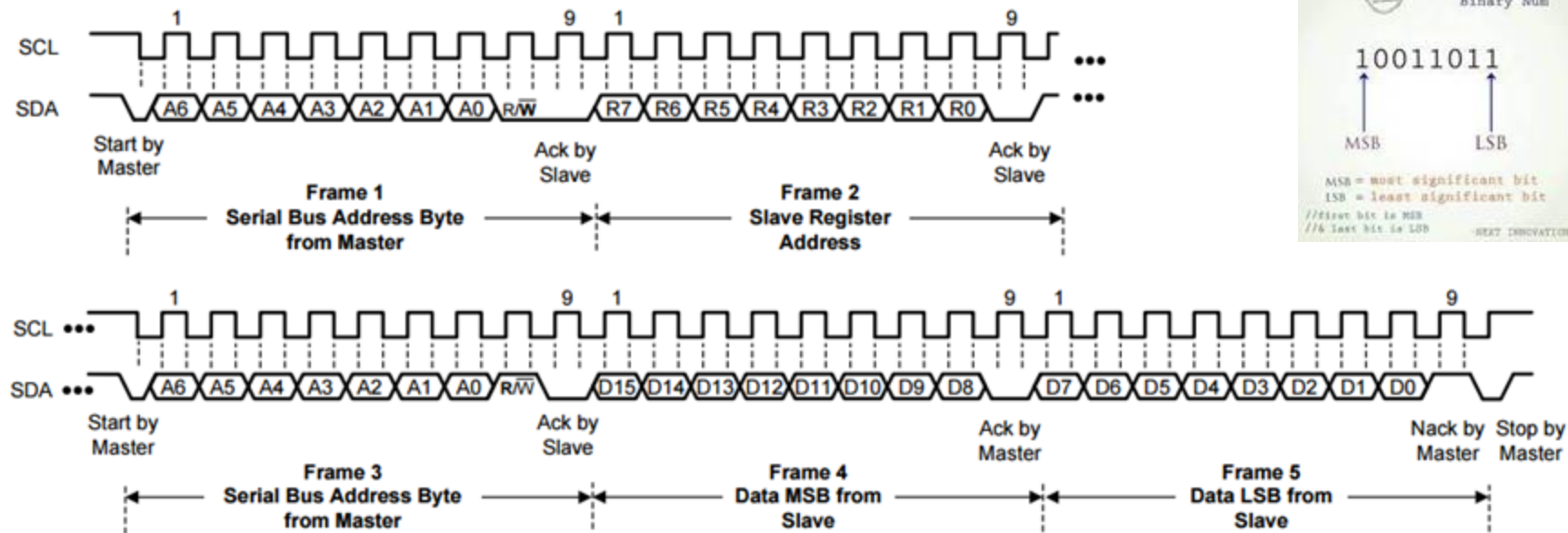
# Обычный потенциальный код (UART)



## Asynchronous serial reception



# Обычный потенциальный код (I2C)



# Манчестерский код

Код Манчестера до последнего времени называют самым распространенным методом представления данных. Особо популярным он является для технологий Ethernet и Token Ring.

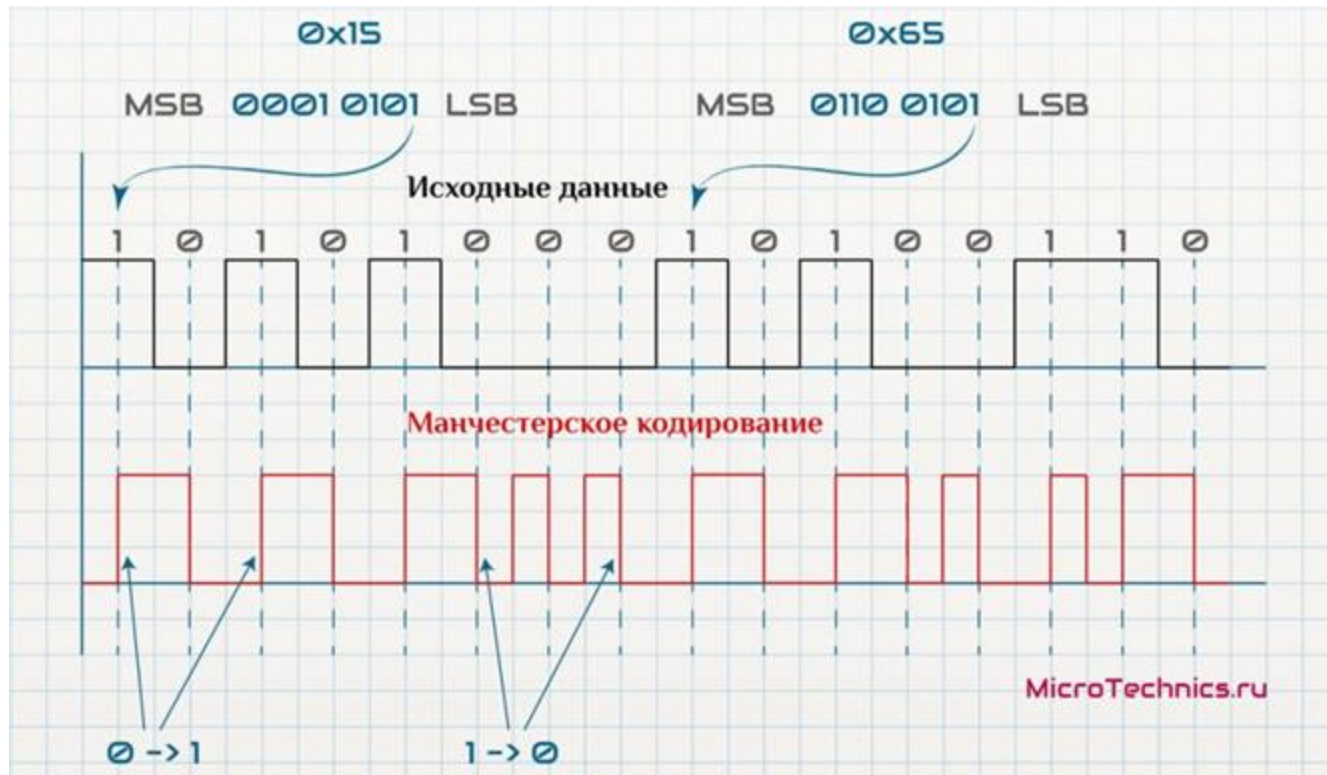
В манчестерском кодировании логическая «1» и логический «0» представляются не уровнем сигнала, а изменением потенциала, т.е. фронтом или спадом. Таким образом каждая цифра в исходном пакете делится на две части.

Существует две версии манчестерского кодирования. В одной из них «1» представляется фронтом сигнала по середине такта, а «0» представляется спадом. Во второй версии все происходит в точности до наоборот. В начале каждого такта часто добавляется служебный перепад.

Исходя из такого представления данных, любая серия одинаковых «цифр» представляется изменчивым сигналом, т.е. последовательностью перепадов. Сигнал изменяется как минимум один раз за такт. Так что и серии цифр, и чередующиеся цифры порождают похожий сигнал с ярко выраженными изменениями.

Это приводит к достаточно хорошим свойствам самосинхронизации манчестерского кода. Этот факт и делает его использование практически во всех современных системах передачи данных практичным и обоснованным.

# Манчестерский код



# Кодирование в кадре Ethernet



Длина поля (байт)  Наимено- вание поля	7	1	6	6	2	1	1	1(2)	46-1497 (1496)		4
	Preamble	SFD	DA	SA	L	DSAP	SSAP	Control	Data		FCS
	Синхрoпoс- лeдoвaтeль - нoсть	Oгpaни- чeтeль кaдpa	Загoлoвoк MAC	Загoлoвoк LLC				IP-зaгoлoвoк	Пoлe дaнныx	Кoнтpoль- нaя сyммa	
								20 бaйтoв	26-1477 (1476) бaйтoв		
								IP-пaкeт (ceтeвoй ypoвeнь )			
Синхрoпoс- лeдoвaтeль - нoсть	Oгpaни- чeтeль кaдpa	Кaдр LLC-пoдypoвня									
		Кaдр MAC-пoдypoвня									

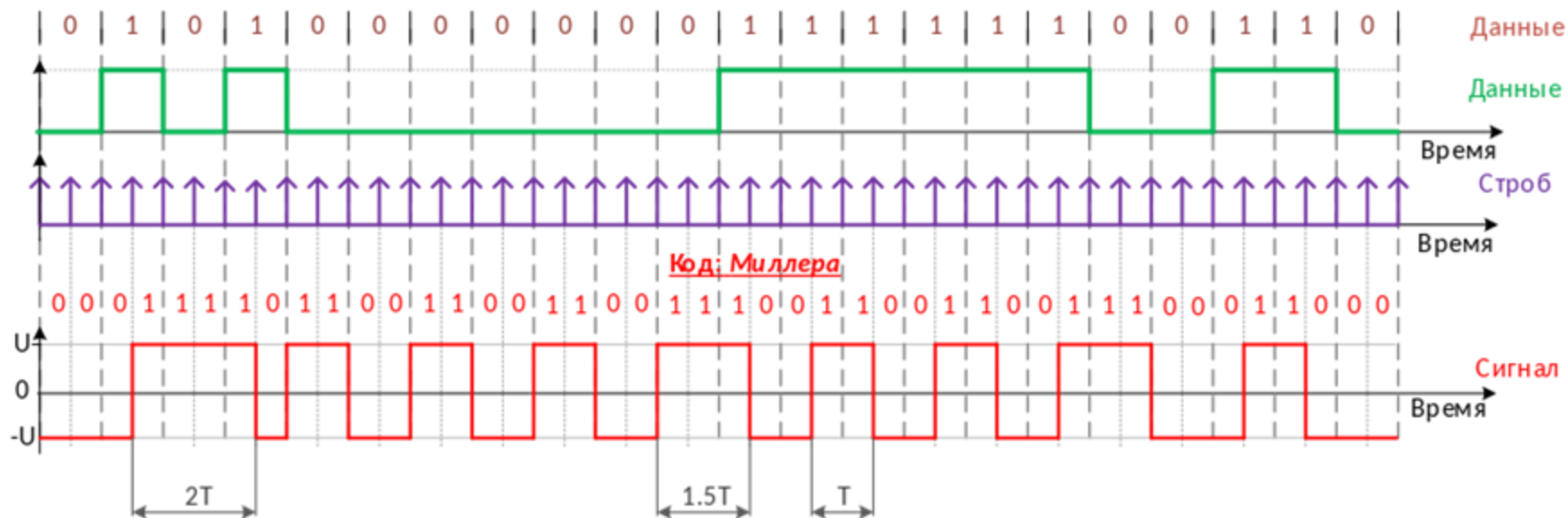
# Код Миллера

Код Миллера иногда называют трёхчастотным. Это один из способов линейного кодирования данных или манипуляций с данными. Он применяется для передачи информации по последовательному интерфейсу, оптоволокну или в радиоканале. Чаще всего данный вид кодирования сейчас можно увидеть в беспроводных пластиковых картах, поддерживающих стандарт ISO/IEC 14443 (RFID).

Согласно основному стандарту кода Миллера, сигнал является двухуровневым. В нем каждый информационный бит исходных данных кодируется комбинацией из двух значений потенциала, всего таких комбинаций четыре: {00, 01, 10, 11}. Переходы из одного в другое состояние описываются специальным графом и системой правил:

- 1) при непрерывной подаче цепочки «0» или «1» на устройство (кодек), переключение полярности происходит с интервалом «1T»;
- 2) переход от передачи «1» к передаче «0» происходит с интервалом «1,5T»;
- 3) далее при поступлении на кодирующее устройство последовательности «101» возникает интервал «2T» (именно по этой причине данный метод кодирования называют трёхчастотным).

# Код Миллера





# Код Миллера

## Преимущества кода Миллера

- 1) высокая эффективность кодирования и простота конструирования аппаратных средств;
- 2) способность кода к самосинхронизации;
- 3) полоса пропускания ровно в два раза меньше полосы пропускания в сравнении с манчестерским кодированием.

## Недостатки кода Миллера

- 1) присутствие в сигнале постоянной составляющей;
- 2) достаточно велик низкочастотный компонент.

# Помехи и шумы

В каналах связи встречаются в основном следующие виды помех.

- 1) Атмосферные помехи в основном обусловлены электрическими процессами в атмосфере, окружающей канал передачи данных. Наибольшее воздействие такие помехи оказывают в области длинных и средних волн, и они особенно актуальны для беспроводной связи или для проводных линий без достаточной электрической защиты.
- 2) Индустриальные помехи. Они в основном возникают вследствие резких изменений тока в электрических цепях. Это могут быть собственные электрические шумы передающих устройств, сбои на линиях электропередач. Также это могут быть помехи от силовых линий, электромоторов, систем зажигания, мощных медицинских установок и так далее.
- 3) Помехи от «чужих» радиостанций. Могут возникать из-за плохой фильтрации гармоник сигнала, принимаемых в фоне на «наши» линии передач, недостаточной стабильности радиочастот приемника или передатчика, нарушения регламента рабочих частот, «плавающей» собственной полосы частот, нелинейности каналов связи. Все это приводит к образованию новых колебаний в каналах связи в дополнении к «полезным» процессам.
- 4) Космические помехи. Они обусловлены электромагнитными процессами, происходящими, например, на Солнце и принимаемыми вместе с полезными сигналами.

# Помехи и шумы

В проводных каналах связи основными являются помехи в виде импульсных шумов и прерываний связи.

Импульсные шумы также возникают при автоматической или ручной коммутации каналов в виде последствий замыканий и «дребезга» схемы. Также импульсные помехи могут возникать и вследствие перекрестных наводок с одного канала связи на другой.

«Прерыванием связи» называется процесс резкого затухания сигнала, например, из-за разрушения или окисления контактов, а также вследствие замыкания проводов при их соединении.

Все указанные помехи мы можем отнести к «внешним» помехам. Кроме них также существуют «внутренние» помехи приборов, возникающие прямо в аппаратуре. Примерами источников таких помех могут быть усилители и преобразователи частоты.

# Помехи и шумы

Внутренние помехи обусловлены главным образом наличием тепловых шумов или собственных проблем оборудования. Тепловые шумы – это самая неочевидная для пользователя причина появления шума. Такие шумы возникают вследствие хаотического движения носителей заряда (электронов) в проводниках, а их характеристики зависят от многих факторов, даже от рабочей температуры оборудования. Эти помехи принципиально неустранимы, но могут находиться на контролируемом уровне при соблюдении условий эксплуатации приборов.

По принципам «соединения» с полезным сигналом мы можем охарактеризовать помехи как:

- 1) аддитивные;
- 2) мультипликативные.

# Искажения

Искажения сигналов – это большая проблема всех линий связи. Они вызваны нарушениями в самой линии связи или посторонними факторами и бывают:

- 1) нелинейными;
- 2) фазовыми;
- 3) динамическими;
- 4) перекрестными;
- 5) взаимомодуляционными;
- 6) краевыми.

# Искажения

Типовые значения для коэффициента нелинейных искажений:

- 1) 0 % – синусоидальный сигнал;
- 2) 3 % – форма сигнала, близкая к синусоидальной;
- 3) 5 % – форма сигнала, приближенная к синусоидальной, но отклонения формы уже заметны даже визуально;
- 4) 6 – 21 % – сигнал трапецеидальной или ступенчатой формы;
- 5) 22 – 43 % – сигнал прямоугольной формы.

Частотные искажения вызываются «неидеальной» амплитудно-частотной характеристикой системы передачи сигнала.

По аналогии с измерениями нелинейных искажений, мы можем количественно оценивать частотные искажения при неравномерности его амплитудно-частотной характеристики.

Фазовые искажения проявляются при наличии «неидеальной» фазо-частотной характеристики системы передачи сигнала.