

Физический уровень модели OSI.

1. Назначение, функции и услуги физического уровня модели ISO/OSI.

Физический уровень обеспечивает передачу битовых потоков без каких-либо изменений между логическими объектами уровня звена данных по физическим соединениям.

На данном уровне определяются базовые механизмы кодирования и декодирования данных в физическом носителе.

На физическом уровне специфицируются носители, но не сама среда.

Среда, согласно эталонной модели, рассматривается как нечто, лежащее ниже физического уровня. Битовый поток в носителе должен быть независим от среды.

Услуги, предоставляемые канальному уровню:

- физические соединения;
- физические сервисные блоки данных;
- физические оконечные пункты соединения;
- идентификация канала данных;
- упорядочение;
- оповещение об ошибках;
- параметры качества услуг.
- Функции, выполняемые на физическом уровне:
- активизация и деактивизация физического соединения;
- передача физических сервисных блоков данных;
- административное управление физическим уровнем.

2. Среда передачи:

а. *Кабельные каналы связи*

Кабельные каналы для целей телекоммуникаций исторически использовались первыми. Да и сегодня по суммарной длине они превосходят даже спутниковые каналы. Основную долю этих каналов, насчитывающих многие сотни тысяч километров, составляют телефонные медные кабели. Эти кабели содержат десятки или даже сотни скрученных пар проводов. Полоса пропускания таких кабелей обычно составляет 3-3,5 кГц при длине 2-10 км. Эта полоса диктовалась ранее нуждами аналогового голосового обмена в рамках коммутируемой телефонной сети. С учетом возрастающих требований к широкополосности каналов витые пары проводов пытались заменить коаксиальными кабелями, которые имеют полосу от 100 до 500 МГц (до 1 Гбит/с), и даже полыми волноводами. Именно коаксиальные кабели стали в начале транспортной средой локальных сетей ЭВМ (10base-5 и 10base-2)

Рис. 1: Схематичное изображение коаксиального кабеля: 1 - центральный проводник; 2 - изолятор; 3 - проводник-экран; внешний изолятор

Коаксиальная система проводников из-за своей симметричности вызывает минимальное внешнее электромагнитное излучение. Сигнал распространяется по центральной медной жиле, контур тока замыкается через внешний экранирующий провод. При заземлении экрана в нескольких точках по нему начинают протекать выравнивающие токи (ведь разные “земли” обычно имеют неравные потенциалы). На рис.2 проиллюстрирована схема наводок по экрану коаксиального кабеля. Входной сигнал $A_{вх}$ подается через центральную жилу с одной стороны кабеля. На противоположной стороне кабель нагружен на сопротивление R , равное волновому импедансу кабеля. Если экран кабеля соединен с землей на обоих концах, то при наличии источника наводок по экрану будет протекать переменный ток наводки.

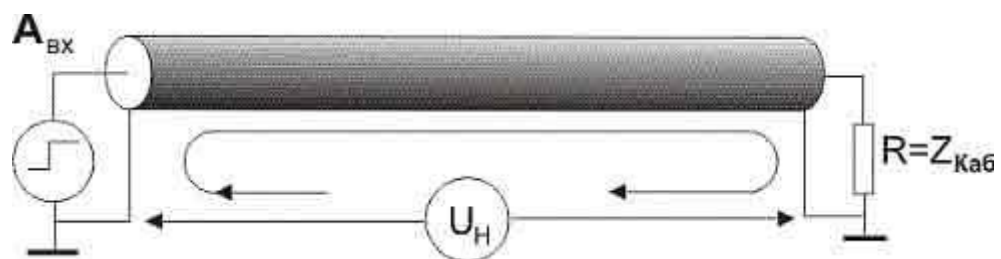


Рис.2. Схема наводок по экрану коаксиального кабеля

Импульсное значение наводки U_H будет пропорционально $L(dI_H/dt)$, где L - индуктивность оплетки кабеля, а I_H - ток наводки. В результате наводка сложится с входным сигналом. При определенных обстоятельствах это может даже привести к выходу из строя сетевого оборудования. Именно это является причиной требования заземления кабеля локальной сети только в одной точке. Наибольшее распространение получили кабели с волновым сопротивлением 50 ом. Это связано с тем, что эти кабели из-за относительно толстой центральной жилы характеризуются минимальным ослаблением сигнала (волновое сопротивление пропорционально логарифму отношения диаметров внешнего и внутреннего проводников).

Коаксиальный кабель с полосой пропускания 500 МГц при ограниченной длине может обеспечить скорость передачи несколько Гбит/сек. Предельные расстояния, для которых может быть применен коаксиальный кабель составляет 10-15 км. Но по мере развития технологии скрученные пары смогли вытеснить из этой области коаксиальные кабели. Это произошло, когда полоса пропускания скрученных пар достигла 200-350 МГц при длине 100м (неэкранированные и экранированные скрученные пары категории 5 и 6), а цены на единицу длины сравнялись. Витые пары проводников позволяют использовать биполярные приемники, что делает систему менее уязвимой (по сравнению с коаксиальными кабелями) к внешним наводкам. Но

основополагающей причиной вытеснения коаксиальных кабелей явилась относительная дешевизна скрученных пар. Скрученные пары бывают одинарными, объединенными в многопарный кабель или оформленными в виде плоского ленточного кабеля. Применение проводов сети переменного тока для локальных сетей и передачи данных допустимо для весьма ограниченных расстояний. В таблице, представленной ниже приведены характеристики каналов, базирующихся на обычном и широкополосном коаксиальном кабелях.

	Стандартный кабель	Широкополосный
Максимальная длина канала	2 км	10 - 15 км
Скорость передачи данных	1 - 50 Мбит/с	100 - 140 Мбит/с
Режим передачи	полудуплекс	дуплекс
Ослабление влияния электромагнитных и радиочастотных наводок	50 дБ	85 дБ
Число подключений	<50 устройств	1500 каналов с одним или более устройств на канал
Доступ к каналу	CSMA/CD	FDM/FSK

б. *Оптоволоконные каналы связи*

Оптоволоконное соединение гарантирует минимум шумов и высокую безопасность (практически почти невозможно сделать отвод). Пластиковые волокна применимы при длинах соединений не более 100 метров и при ограниченном быстродействии (<50 МГц). Вероятность ошибки при передаче по оптическому волокну составляет <10⁻¹⁰, что во многих случаях делает ненужным контроль целостности сообщений. При построении сетей используются многожильные кабели (рис.3; существуют и другие разновидности кабеля: например, двух- или четырехжильные, а также плоские). В верхней части рисунка [а] изображено отдельное оптоволокно, а в нижней [Б] сечение восьмижильного оптического кабеля. Свет (длина волны $\lambda \sim 1350$ или 1500 нм) вводится в оптоволокно (диаметром $d < 100 \mu\text{m}$) с помощью светоизлучающего диода или полупроводникового лазера. Центральное волокно покрывается слоем (клэдинг, 1А), коэффициент преломления которого меньше чем у центрального ядра (стрелками условно показан ход лучей света в волокне). Для обеспечения механической прочности извне волокно покрывается полимерным слоем (2А). Кабель может содержать много волокон, например 8 (1Б). В центре кабеля помещается стальной трос (3Б), который используется при

прокладке кабеля. С внешней стороны кабель защищается (от крыс) стальной оплеткой (2Б) и герметизируется эластичным полимерным покрытием.

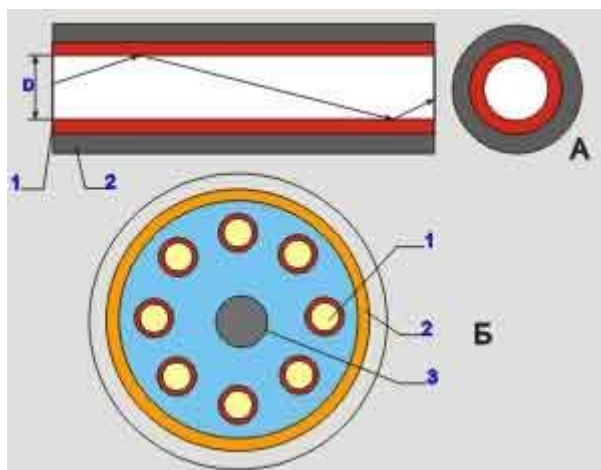


Рис.3. Сечение оптоволоконного кабеля

Существует несколько типов оптических волокон, обладающих различными свойствами. Они отличаются друг от друга зависимостью коэффициента преломления от радиуса центрального волокна. На рис.4 показаны три разновидности волокна (А, Б и В). Буквами А и Б помечен мультимодовый вид волокон. Тип Б имеет меньшую дисперсию времени распространения и по этой причине вносит меньшие искажения формы сигнала. Установлено, что, придавая световым импульсам определенную форму (обратный гиперболический косинус), дисперсионные эффекты можно полностью исключить. При этом появляется возможность передавать импульсы на расстояние в тысячи километров без искажения их формы. Такие импульсы называются солитонами. При современных же технологиях необходимо использовать повторители через каждые 30 км (против 5 км для медных проводов). По сравнению с медными проводами оптоволоконные кабели несравненно легче. Так одна тысяча скрученных пар при длине 1 км весит 8 тонн, а два волокна той же длины, обладающие большей пропускной способностью, имеют вес 100кг. Это обстоятельство открывает возможность укладки оптических кабелей вдоль высоковольтных линий связи, подвешивая или обвивая их вокруг проводников.

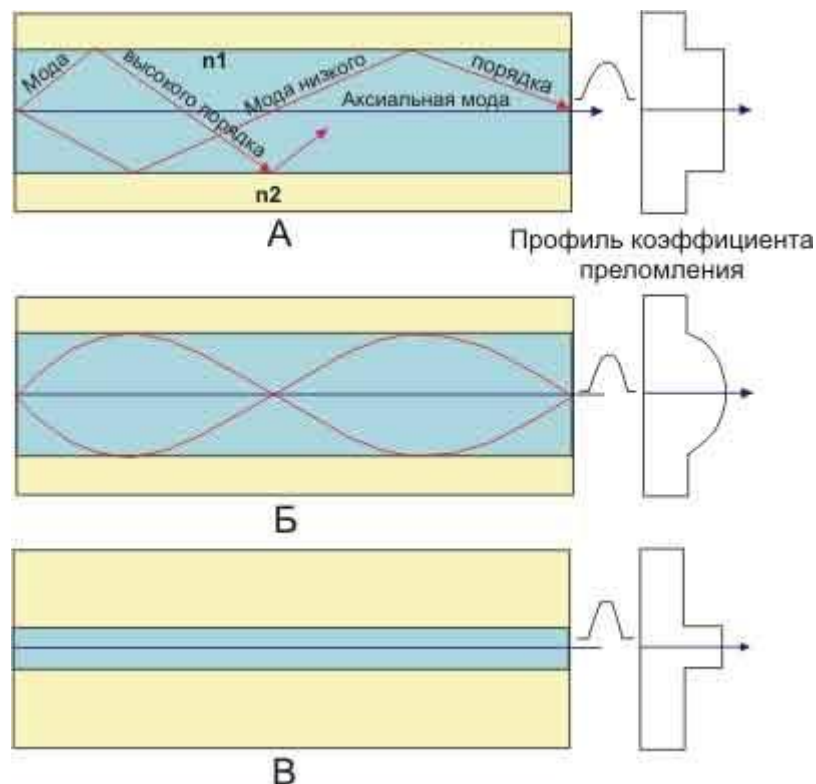


Рис.4. Разновидности оптических волокон, отличающиеся зависимостью коэффициента преломления от радиуса

Буквой В помечен одномодовый вид волокна (понятие мода связано с характером распространения электромагнитных волн). Мода представляет собой одно из возможных решений уравнения Максвелла. В упрощенном виде можно считать, что мода – это одна из возможных траекторий, по которой может распространяться свет в волокне. Чем больше мод, тем больше дисперсионное искажение формы сигнала. Одномодовое волокно позволяет получить полосу пропускания в диапазоне 50-100 ГГц-км. Типовое значение модовой дисперсии лежит в пределах от 15 до 30 нсек/км. Эта разновидность волокна воспринимает меньшую долю света на входе, зато обеспечивает минимальное искажение сигнала и минимальные потери амплитуды. Следует также иметь в виду, что оборудование для работы с одномодовым волокном значительно дороже.

чем больше длина волны, тем меньше число мод и меньше искажения сигнала. Это, в частности, является причиной работы в длинноволновом инфракрасном диапазоне. Но даже для одной и той же моды различные длины волн распространяются по волокну с разной скоростью. Волокно со сглаженным профилем показателя преломления имеет дисперсию 1 нсек/км и меньше. Это, в частности, связано с тем, что свет в периферийных областях волокна с большей длиной траектории движется быстрее (там ведь меньше коэффициент преломления). Одномодовый режим реализуется тогда, когда длина волны становится сравнимой с диаметром ядра волокна. Длина волны, при которой волокно

становится одномодовым, называется пороговой. Волокно с диаметром 50 микрон может поддерживать до 1000 мод. В отличие от многомодового волокна, в одномодовом - излучение присутствует не только внутри ядра. По этой причине повышаются требования к оптическим свойствам клэдинга. Для многомодового волокна требования к прозрачности клэдинга весьма умеренны. Затуханием обычно называется ослабление сигнала по мере его движения по волокну. Оно измеряется в децибелах на километр и варьируется от 300 дБ/км для пластиковых волокон до 0,21 дБ/км – для одномодовых волокон.

с. *Беспроводные (радио) каналы связи*

Применение электромагнитных волн для телекоммуникаций имеет уже столетнюю историю. Спектр используемых волн делится на ряд диапазонов, приведенных в таблице ниже

Название диапазона	Частота	Длина волны
Высокочастотный	3 – 30 МГц	100 – 10 м
VHF	50 - 100 МГц	6 - 3 м
УВЧ (UHF)	400-1000 МГц	75-30 см
Микроволновый	10^9 – 10^{11} ; Гц	10 см – 3 мм
Миллиметровый	10^{11} – 10^{13} ; Гц	3 мм – 0,3 мм
Инфракрасный	10^{12} – 10^{14}	0,3 мм – 0,5 мм

д. Далее следуют диапазоны видимого света, ультрафиолета, рентгеновских и гамма-лучей. Диапазоны частот, используемые различными каналами связи показаны на следующем рисунке:



е.

ф. Если не используется направленная антенна и на пути нет препятствий, радиоволны распространяются по всем направлениям равномерно и сигнал

падает пропорционально квадрату расстояния между передатчиком и приемником (удвоение расстояния приводит к потерям 6дБ). Радио каналы для целей передачи информации используют частотные диапазоны 902-928 МГц (расстояния до 10 км, пропускная способность до 64кбит/с), 2,4 ГГц и 12 ГГц (до 50 км, до 8 Мбит/с). Они используются там, где не существует кабельных или оптоволоконных каналов или их создание по каким-то причинам невозможно или слишком дорого. Более низкие частоты (например, 300 МГц) мало привлекательны из-за ограничений пропускной способности, а большие частоты (>30 ГГц) работоспособны для расстояний не более или порядка 5км из-за поглощения радиоволн в атмосфере. При использовании диапазонов 4, 5 и 6 следует иметь в виду, что любые препятствия на пути волн приведут к их практически полному поглощению. Для этих диапазонов заметное влияние оказывает и поглощение в атмосфере.

Мощность передатчика обычно лежит в диапазоне 50 мВт - 2 Вт. Модемы, как правило, используют шумоподобный метод передачи SST (spread spectrum transmission). Для устройств на частоты 2.4 ГГц и выше, как правило, используются направленные антенны и необходима прямая видимость между приемником и передатчиком. Такие каналы чаще работают по схеме точка-точка, но возможна реализация и многоточечного соединения. На аппаратном уровне здесь могут использоваться радиорелейное оборудование радиомодемы или радио-бриджи. Схема этих устройств имеет много общего. Отличаются они лишь сетевым интерфейсом. Антенна служит как для приема, так и для передачи. Трансивер (приемопередатчик) может соединяться с антенной через специальные усилители. Между трансивером и модемом может включаться преобразователь частот. Модемы подключаются к локальной сети через последовательные интерфейсы типа RS-232 или v.35 (RS-249), для многих из них такие интерфейсы являются встроенными. Отечественное радиорелейное оборудование имеет в качестве выходного интерфейс типа G.703 и по этой причине нуждается в адаптере. Радио-бриджи имеют встроенный Ethernet-интерфейс. Длина кабеля от модема до трансивера лежит в пределах 30-70м, а соединительный кабель между модемом и ЭВМ может иметь длину 100-150м. Трансивер располагается обычно рядом с антенной.

3. Методы кодирования:

. *RZ (Return to Zero)*

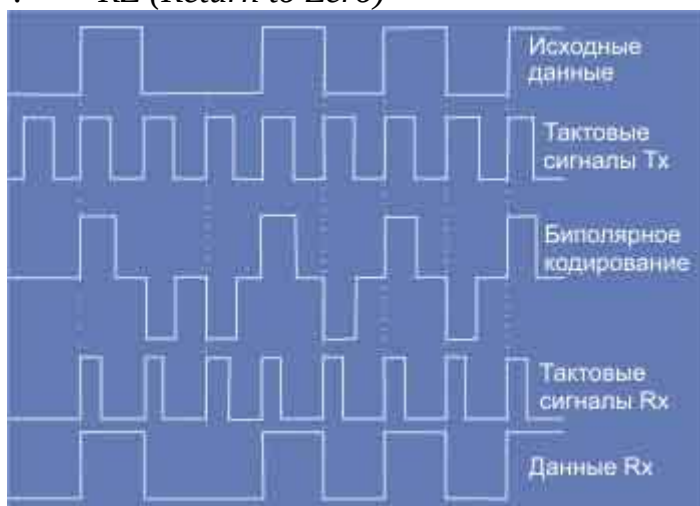


Рис.1. Пример биполярного кодирования сигнала (схема RZ - return-to-zero)

Сущность этого трехуровневого кода заключена в его названии — кодирование с возвратом к нулю (Return to Zero). Логическому нулю соответствует положительный импульс напряжения, логической единице — отрицательный. Информационный переход осуществляется в начале бита, возврат к нулевому уровню — в середине.

Основной характеристикой кода RZ является то, что в середине каждого бита всегда есть переход (положительный или отрицательный), обозначающий каждый бит. Нужный для обработки сигнала синхроимпульс (строб) выделяется приемником из самого сигнала. Коды со стробом называются самосинхронизирующимися.

Код RZ не отличается высокой плотностью передачи данных — при тактовой частоте 10 МГц она равна всего 10 Мбит/с. К тому же, чтобы различать три уровня сигнала, на входе приемника необходимо обеспечить лучшее отношение сигнал/шум, чем при использовании двух уровней.

Наиболее часто код RZ применяется в оптоволоконных линиях связи. Однако при передаче используются три уровня мощности световых импульсов, поскольку оптические сигналы не бывают положительными или отрицательными.

а. *Манчестерский код*

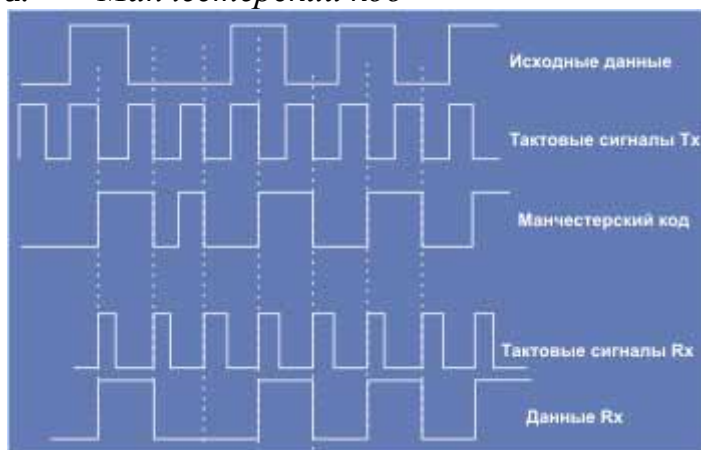


Рис.2. Кодирование сигнала с использованием манчестерского кода.

Манчестерский код, или Манчестер-II, получил наибольшее распространение в локальных сетях. Он, как и RZ, является самосинхронизирующимся кодом, но в отличие от него имеет не три, а два уровня, что обеспечивает лучшую помехозащищенность канала. Логическому нулю соответствует переход на верхний уровень в центре битового интервала, логической единице — переход на нижний уровень.

Логика кодирования хорошо видна на примере передачи последовательности единиц или нулей. При передаче чередующихся битов частота следования импульсов уменьшается в два раза. Изменения сигнала в середине бита остаются, а на границе битовых интервалов отсутствуют. Эта логическая функция выполняется с помощью последовательности запрещающих импульсов, которые синхронизируются с информационными импульсами и запрещают нежелательные граничные переходы. Важная характеристика манчестерского кода — отсутствие у сигнала постоянной составляющей при передаче длинной последовательности единиц или нулей. Благодаря этому передатчики и приемники можно “развязать” гальванически с помощью импульсных трансформаторов.

Спектр сигнала при манчестерском кодировании содержит только две частотные составляющие. Для десятимегабитового протокола это 10 МГц при передаче последовательности одних нулей или единиц и 5 МГц при их чередовании. Поэтому все другие частоты можно удалить с помощью полосовых фильтров.

Код Манчестер-II нашел применение в оптоволоконных и электропроводных сетях. Самый распространенный протокол локальных сетей — Ethernet 10 Мбит/с использует именно его.

b. *NRZ (Non Return to Zero)*

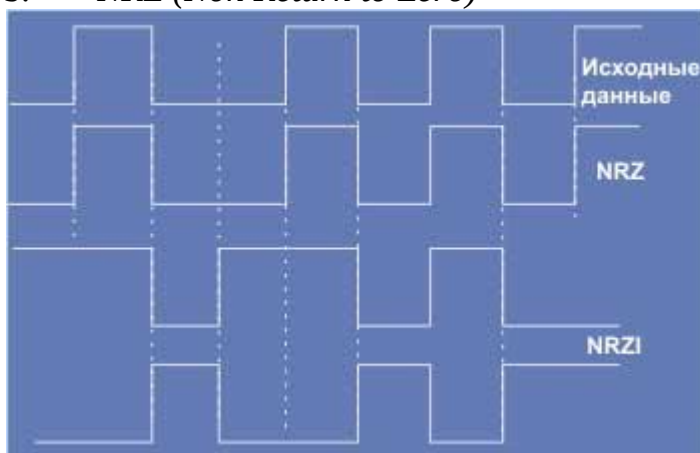


Рис.3. NRZI-кодирование

Код NRZ (Non Return to Zero), т. е. без возврата к нулю, является простейшим двухуровневым кодом. Нулю здесь соответствует нижний уровень сигнала, единице — верхний. Информационные переходы совпадают с границей битов. Вариант кода — NRZI (Non Return to Zero Inverted) имеет обратную полярность.

Несомненное достоинство кода — его простота: сигнал не надо кодировать и декодировать. Кроме того, числовое значение скорости передачи данных вдвое превышает тактовую частоту. Максимальная же частота спектра соответствует чередованию нулей и единиц. Для других комбинаций частота будет меньше, а

при передаче последовательности одинаковых битов сигнал вовсе отсутствует.

Код NRZ и его разновидность NRZI не обеспечивают синхронизации между передатчиком и приемником, и это является самым большим его недостатком.

Для синхронизации начала приема пакета используется стартовый служебный бит, например единица. Наиболее известное современное применение кода NRZI — стандарт ATM155. Многие годы популярным был протокол связи через последовательный порт компьютеров — RS232A, тоже использующий код NRZ.

с. *MLT-3 (Multi Level Transmission)*

Код трехуровневой передачи MLT-3 (Multi Level Transmission) имеет много общего с кодом NRZ. Единице соответствует переход с одного уровня сигнала на другой. При передаче нулей сигнал не меняется. Информационные переходы совпадают с границей битов.

Максимальной частоте сигнала соответствует передача последовательности единиц. Важнейшая характеристика кода MLT-3 — наличие трех уровней сигнала. Изменение уровня сигнала происходит последовательно, с учетом предыдущего перехода. При такой схеме один цикл сигнала вмещает в себя четыре бита.

Недостатком кода MLT-3, как и кода NRZ, является отсутствие синхронизации. Эта проблема решается с помощью преобразования данных, которое исключает длинные последовательности нулей и, следовательно, возможность рассинхронизации.

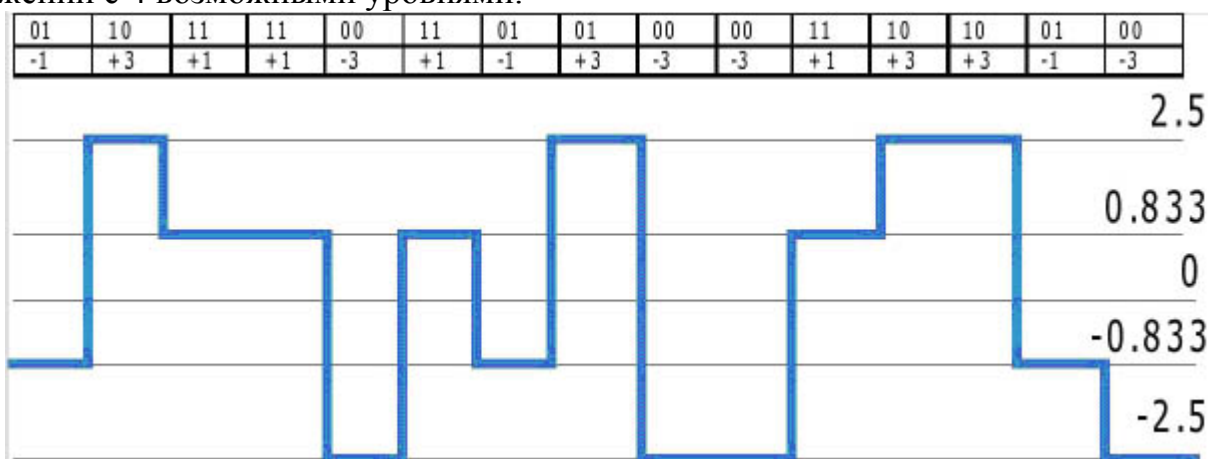
д. *Алгоритм модуляции 2B1Q*

Линейное кодирование 2B1Q (2 Binary 1 Quandary) было разработано для использования в качестве протокола физического уровня в точке сопряжения U BRI-интерфейса сетей ISDN. Алгоритм 2B1Q представляет собой один из вариантов реализации амплитудно-импульсной модуляции с четырьмя уровнями выходного напряжения без возвращения к нулевому уровню (NRZ).

Кодовая группа	Кодовый символ	Кодовое напряжение
00	-3	-2,5В
01	-1	-0.833В
10	+3	2.5В
11	+1	0.833В

е. Для формирования линейного кода входной информационный поток делится на кодовые группы по два бита в каждой. В зависимости от комбинации значений битов кодовой группы ей ставится в соответствие один из четырёх кодовых символов, каждому из которых, в свою очередь, соответствует один из уровней напряжения.

Таким образом, закодированный в соответствии с правилами 2B1Q сигнал представляет собой последовательность скачкообразно изменяющихся напряжений с 4 возможными уровнями:



f.

g. Поскольку в данном случае двум битам сигнала ставится в соответствие один кодовый символ, информационная скорость (data rate, скорость передачи данных) вдвое превышает символьную (symbol rate) - это означает, что модуляционная схема 2B1Q обеспечивает постоянную величину спектральной эффективности модулированного сигнала $\theta = 2$ бита/Гц.

Алгоритм 2B1Q не обеспечивает поддержание баланса положительных и отрицательных импульсов выходного напряжения и, следовательно, входной код 2B1Q должен быть предварительно обработан специальными процедурами, которые должны обеспечить подавление постоянной составляющей.

Системы передачи данных, которые используют алгоритм 2B1Q, способны обеспечить скорость передачи от 64 кбит/с до 2320 кбит/с. Нормативными документами не определена величина шага изменения информационной скорости, поэтому, в различных реализациях эта величина может принимать разные значения (от 8 до 64 кбит/с).

h. *Метод кодирования 4B/5B*

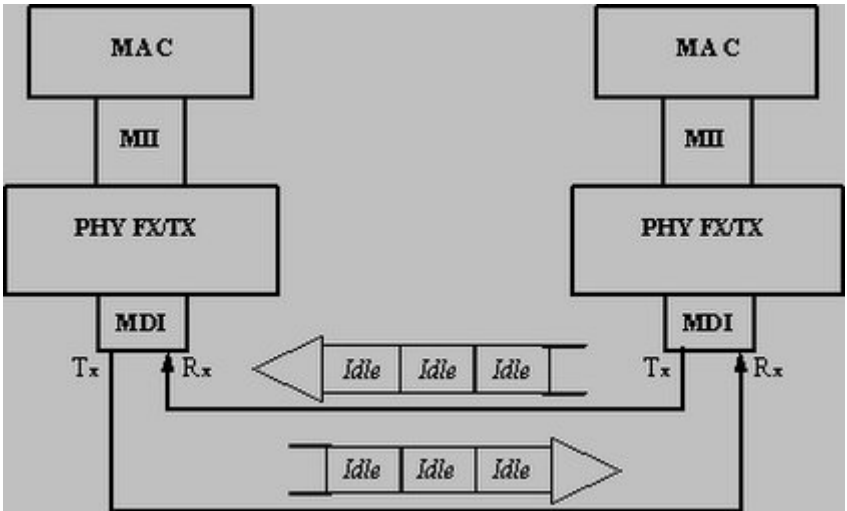
10 Мб/с версии Ethernet используют манчестерское кодирование для представления данных при передаче по кабелю. Метод кодирования 4B/5B определен в стандарте FDDI, и он без изменений перенесен в спецификацию PHY FX/TX. При этом методе каждые 4 бита данных MAC-подуровня (называемых символами) представляются 5 битами. Использование избыточного бита позволяет применить потенциальные коды при представлении каждого из пяти бит в виде электрических или оптических импульсов. Потенциальные коды обладают по сравнению с манчестерскими кодами более узкой полосой спектра сигнала, а, следовательно, предъявляют меньшие требования к полосе пропускания кабеля. Однако, прямое использование потенциальных кодов для передачи исходных данных без избыточного бита невозможно из-за плохой самосинхронизации приемника и источника данных: при передаче длинной последовательности единиц или нулей в течение долгого времени сигнал не изменяется, и приемник не может определить момент чтения очередного бита.

При использовании пяти бит для кодирования шестнадцати исходных 4-х битовых комбинаций, можно построить такую таблицу кодирования, в которой

любой исходный 4-х битовый код представляется 5-ти битовым кодом с чередующимися нулями и единицами. Тем самым обеспечивается синхронизация приемника с передатчиком. Так как исходные биты MAC-подуровня должны передаваться со скоростью 100Мб/с, то наличие одного избыточного бита вынуждает передавать биты результирующего кода 4В/5В со скоростью 125 Мб/с, то есть межбитовое расстояние в устройстве РНУ составляет 8 наносекунд.

Так как из 32 возможных комбинаций 5-битовых порций для кодирования порций исходных данных нужно только 16, то остальные 16 комбинаций в коде 4В/5В используются в служебных целях.

Наличие служебных символов позволило использовать в спецификациях FX/TX схему непрерывного обмена сигналами между передатчиком и приемником и при свободном состоянии среды, что отличает их от спецификации 10Base-T, когда незанятое состояние среды обозначается полным отсутствием на ней импульсов информации. Для обозначения незанятого состояния среды используется служебный символ Idle (11111), который постоянно циркулирует между передатчиком и приемником, поддерживая их синхронизм и в периодах между передачами информации, а также позволяя контролировать физическое состояние линии.



Существование запрещенных комбинаций символов позволяет отбраковывать ошибочные символы, что повышает устойчивость работы сетей с РНУ FX/TX. Для отделения кадра Ethernet от символов Idle используется комбинация символов Start Delimiter (пара символов JK), а после завершения кадра перед первым символом Idle вставляется символ T .

4. Сводная таблица по стандартам кабельной системы.

Характеристики	Ethernet	IEEE 802.3					
		10Base5	10Base2	1Base5	10BaseT	10Broad36	10BaseF

Скорость, Mbps	10	10	10	1	10	10	10
Метод передачи	Baseband	Baseband	Baseband	Baseband	Baseband	Broadband	Baseband
Макс. длина сегмента, м	500	500	185	250	100	1800	1800
Среда передачи	50-Ом коаксиал (толстый)	50-Ом коаксиал (толстый)	50-Ом коаксиал (тонкий)	неэкр. витая пара	неэкр. витая пара	75-Ом коаксиал	Многомодовая оптика 62.5мкм диам.
Топология	Шина	Шина	Шина	Звезда	Звезда	Шина	Звезда