

Аппаратное и программное обеспечение сетей

Раздел 4 Уровень передачи данных (Канальный уровень)

Тема № 4-11

Общие принципы и характеристики
стандартов 10-100 Base Ethernet.

Метод доступа CSMA/CD

Немного истории Ethernet

В далёком 1972 году, Robert Metcalfe, работающий в фирме Xerox PARC разработал первую экспериментальную систему Ethernet, чтобы связать Xerox Alto рабочее место оператора с графическим интерфейсом пользователя. Экспериментальный Ethernet использовался, чтобы связать рабочие станции сети Alto друг с другом, с серверами и с лазерными принтерами. (Xerox PARC — научно-исследовательский центр).

Общепринято считать, что Ethernet был изобретён 22 мая 1973 года, когда Роберт Меткалф (Robert Metcalfe) составил докладную записку для главы PARC о потенциале технологии Ethernet.

В середине 80-х годов положение дел в локальных сетях стало меняться. Утвердились стандартные технологии объединения компьютеров в сеть - Ethernet, Arcnet, TokenRing, TokenBus, несколько позже - FDDI.

Конец 90-х выявил явного лидера среди технологий локальных сетей - семейство Ethernet. Популярность стандарта Ethernet10 Мбит/с послужила мощным стимулом его развития. В 1995 году был принят стандарт FastEthernet, в 1998 - GigabitEthernet, а в 2002 году - 10GEthernet. Каждый из новых стандартов превышал скорость своего предшественника в 10 раз, образуя впечатляющую иерархию скоростей 10 Мбит/с - 100 Мбит/с - 1000 Мбит/с - 10 Гбит/с.

Метод доступа CSMA/CD - технология Ethernet.

- **Основной метод доступа к физической среде технологии Ethernet** — это **CSMA/CD** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection — коллективный (множественный) доступ с опознаванием несущей и обнаружением коллизий), применяется для всех спецификациях Ethernet от 10Mb/s до 1000Mb/s. на подуровне MAC в полудуплексном режиме передачи данных (ПД).
- **CS (carrier sense)** - постоянная проверка среды передачи (idle, busy). Интерфейс-отправитель, прослушивая основную гармонику сигнала, должен убедиться, что разделяемая среда свободна. Признаком «незанятости» среды является отсутствие на ней несущей частоты, которая при манчестерском способе кодирования Ethernet 10 Мбит/с, равна 5-10 МГц
- **MA (multiple access)** - если среда свободна, любая станция из множества станций в сети может начать передачу.
- **CD (collision detect)** - обнаружение коллизий. Коллизия — это нормальная ситуация в работе сетей Ethernet. Коллизия возникает, когда один узел начинает передачу, а через некоторое (короткое) время другой узел, проверив среду и не обнаружив несущую (сигналы первого узла еще не успели до него дойти), начинает передачу своего кадра.

Алгоритм CSMA/CD (передача).

- Перед передачей подуровень MAC, заполняет поля кадра MAC адресами, типом передаваемой информацией, полезными данными и контрольной суммой, при этом постоянно прослушивает физическую среду на наличие несущей, если несущая присутствует, то передача откладывается.
- Как только несущая исчезла (физ-я среда освободилась), все узлы сети обязаны выдержать технологическую паузу, равную **межпакетному интервалу** (Inter Packet Gap, IPG) равную 96 битовым интервалам (тактам) (для 10Base-X->9,6 мкс) (Рис 4-11.1).
- Если физическая среда свободна, то MAC уровень начинает передачу кадра и постоянно прослушивает физическую среду, сравнивая каждый переданный бит на физическом уровне с битом в буфере MAC уровня.
- В случае выявления не соответствия – фиксируется **коллизия, (Collision Detection, CD) передача прекращается.**
- Передающая станция усиливает ситуацию коллизии посылкой в сеть специальной последовательности из 32 бит, называемой **jam-последовательностью.**
- Передающая станция, обнаружившая коллизию, прекращает передачу и делает паузу в течение короткого случайного интервала времени, который определяется по алгоритму: **усеченного экспоненциального двоичного алгоритма отсрочки:** $T_{\text{отсрочки}} = L \times (\text{интервал отсрочки}).$

Алгоритм CSMA/CD (передача).

□ Пауза = $L \times$ (интервал отсрочки).

- Интервал отсрочки равен значению 512 битовых интервалов. Битовый интервал для скорости 10 Мбит/с 0,1 мкс, или 100 нс.
- L представляет собой целое число, выбранное с равной вероятностью из диапазона $[0 \dots 2^N]$, где N — номер повторной попытки передачи данного кадра: 1, 2, 10. После 10-й попытки интервал, из которого выбирается пауза, не увеличивается.
- Если 16 последовательных попыток передачи кадра вызывают коллизию, то передатчик должен прекратить попытки и отбросить этот кадр.

□ **Время оборота RTT и распознавание коллизий .**

RTT считается как время за которое сигнал коллизии успеваает распространиться до самого дальнего узла сети, а именно: сигнал должен пройти дважды между наиболее удаленными друг от друга станциями сети (в одну сторону проходит неискаженный сигнал, а в обратном направлении — сигнал, уже искаженный коллизией). Для надежного распознавания коллизий должно выполняться следующее соотношение: **$T_{min} > RTT$** . Здесь T_{min} — время передачи кадра минимальной длины, а RTT — время оборота. Для Ethernet определено стандартом, максимальная длина кабеля для толстого Ethernet 2500м. А минимальный кадр должен быть равен 64 байта минимальная длина поля данных 46 байт а вместе с

Алгоритм CSMA/CD (передача)

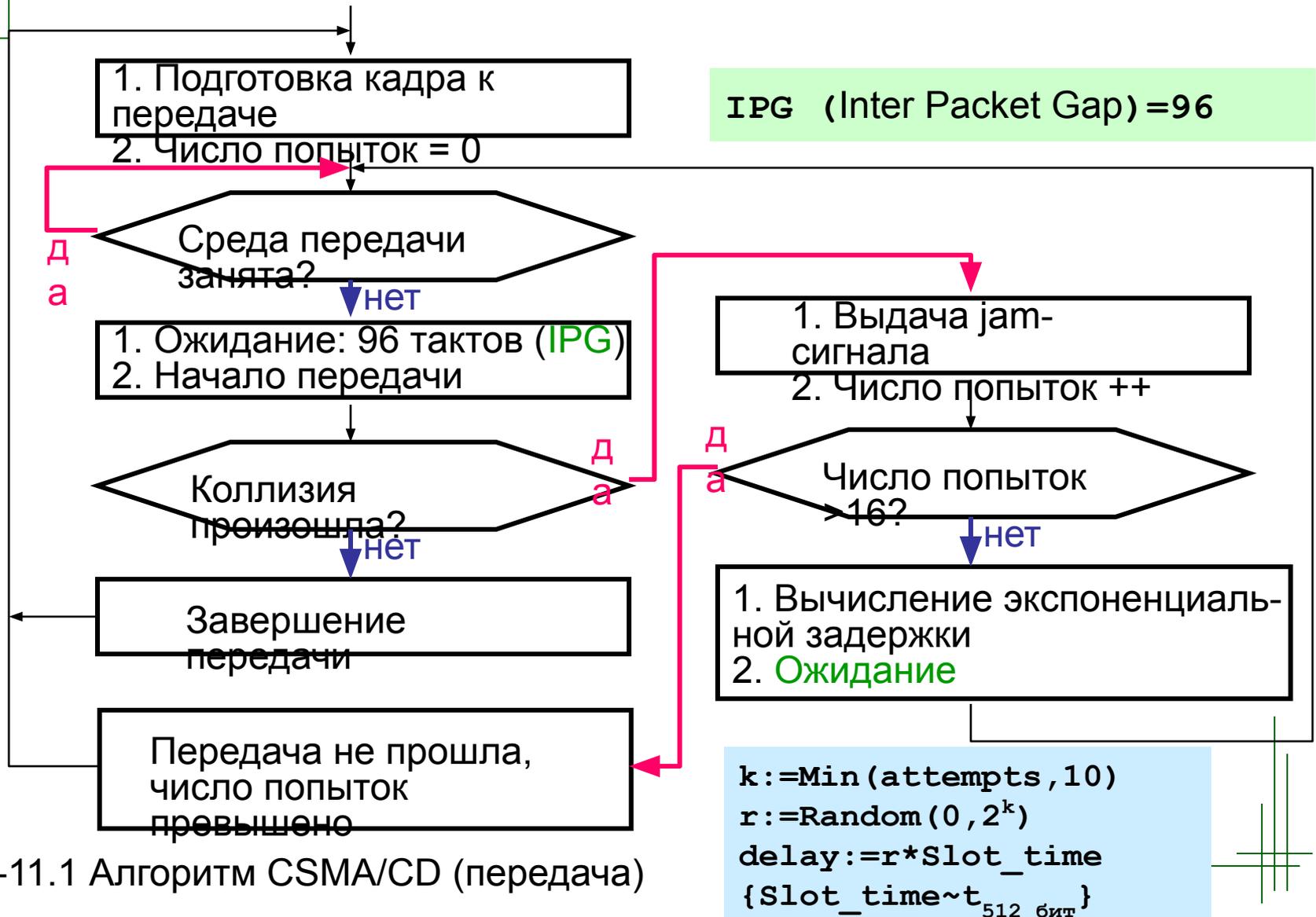


Рис.4-11.1 Алгоритм CSMA/CD (передача)

Алгоритм CSMA/CD. Передача. Возникновение коллизий

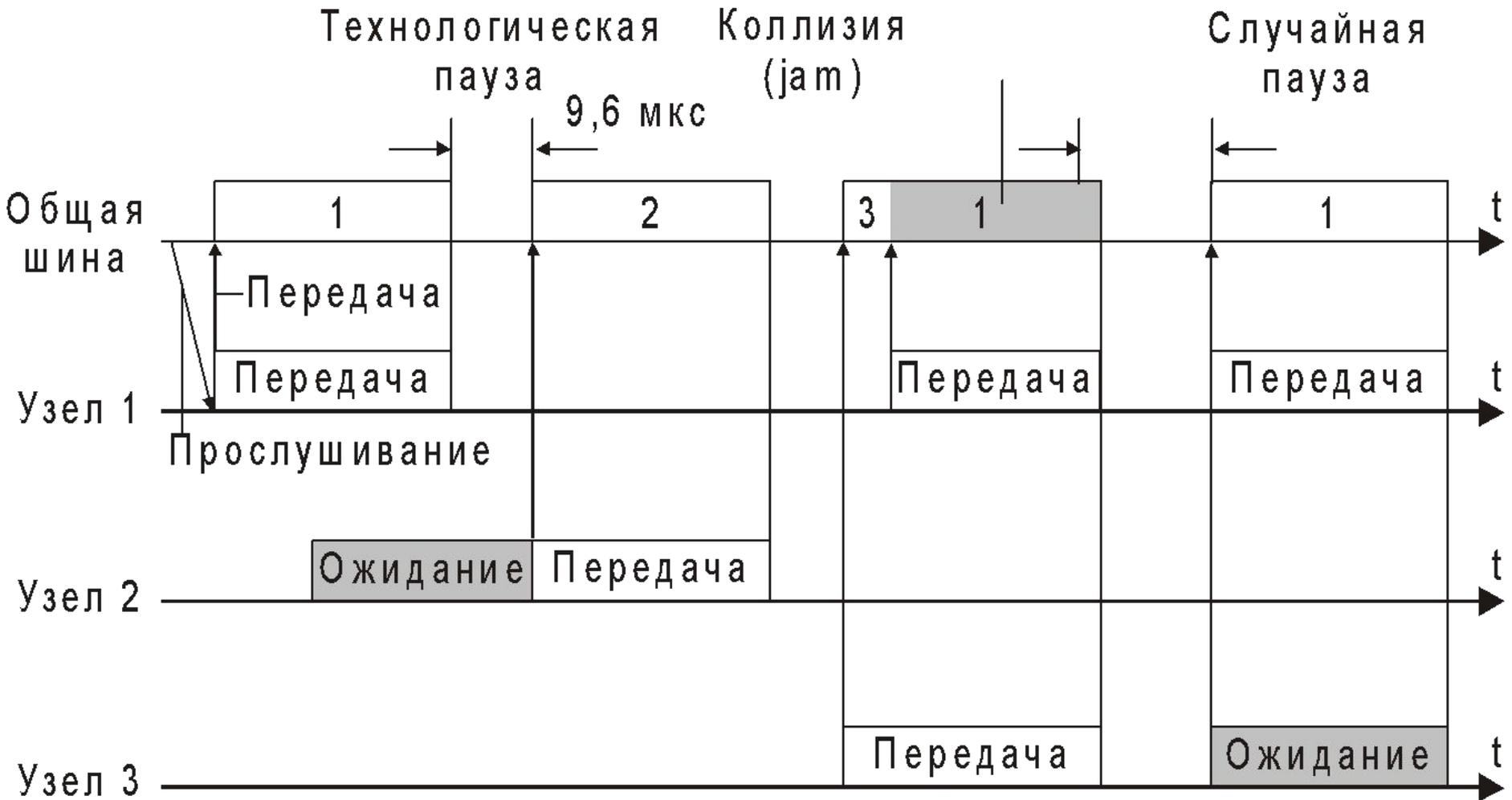


Рис 4-11.2 Метод случайного доступа CSMA/CD

Алгоритм CSMA/CD (прием)

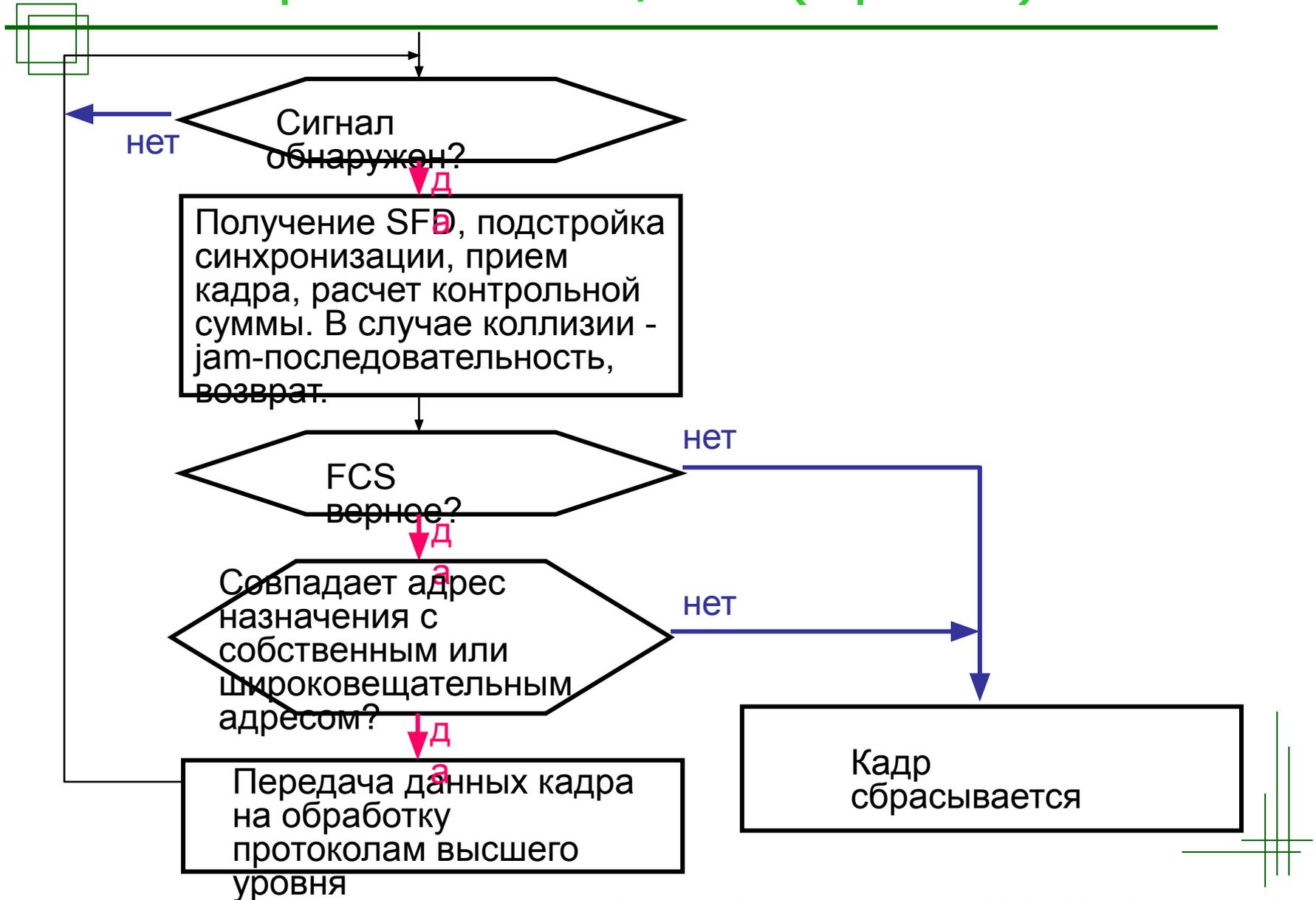
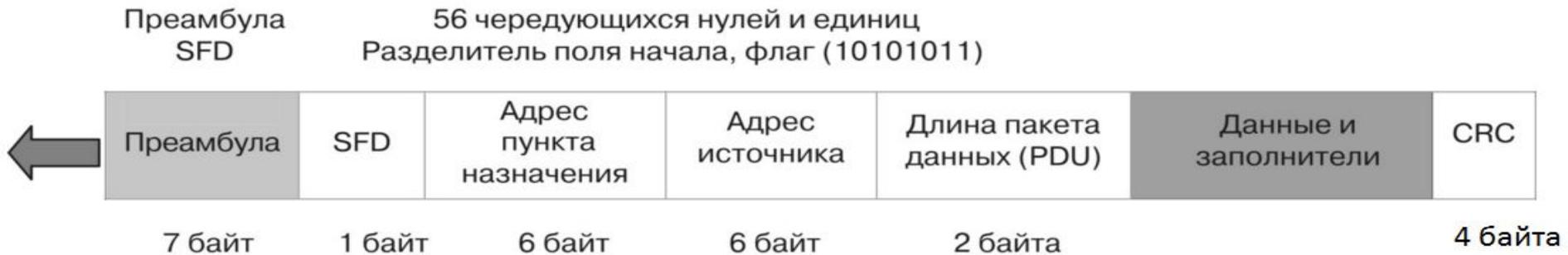


Рис.4-11.3 Алгоритм CSMA/CD (прием)

Метод доступа CSMA/CD. Кадр данных



Преамбула. Преамбула кадров содержит 7 байтов (56 битов) чередующихся нулей и единиц, (10101010) которые приводят в готовность систему для приема прибывающего кадра и подготавливают ее для синхронизации с помощью тактовых импульсов. Преамбула фактически добавляется на физическом уровне и не является (формально) частью кадра.

Ограничитель начала кадра (SFD - Start Frame Delimiter). Поле SFD (1 байт: 10101011) отмечает начало кадра и указывает на окончание синхронизации. Последние два бита - 11 - сигнал, что следующее поле - адрес получателя.

Все станции, подключенные к кабелю, начинают записывать байты передаваемого кадра в свои внутренние буферы. Первые 6 байт кадра содержат адрес назначения. Та станция, которая узнает собственный адрес в заголовке кадра, продолжает записывать его содержимое в свой внутренний буфер, а остальные станции на этом прием кадра прекращают. Станция назначения обрабатывает полученные данные, передает их вверх по своему стеку. Кадр Ethernet содержит не только адрес назначения, но и адрес источника данных, поэтому станция- получатель знает, кому нужно послать ответ.

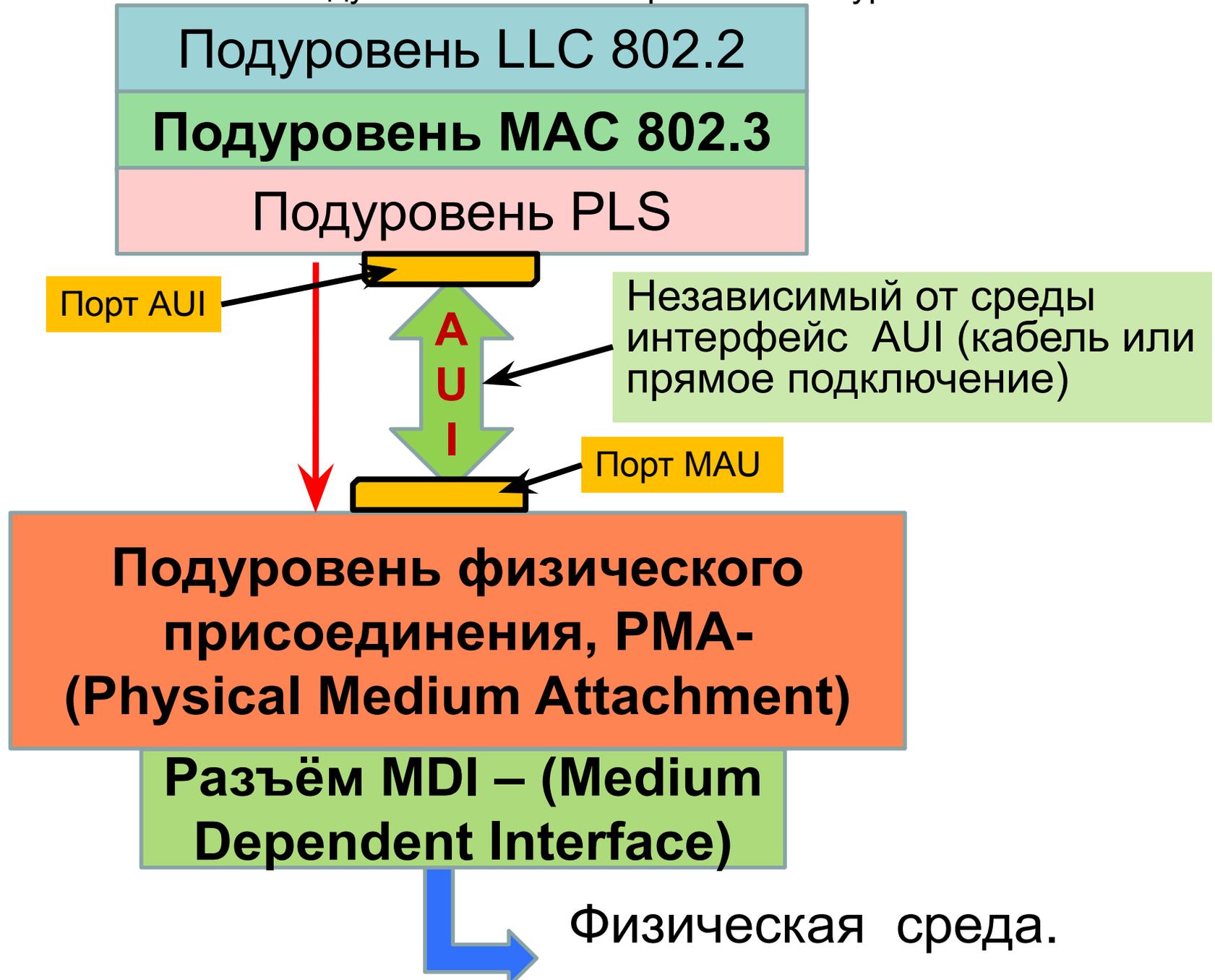
Спецификации физической среды Ethernet

В зависимости от типа физической среды стандарт IEEE 802.3 имеет различные модификации - 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, 10Base-FL, 10Base-FB;

- Первые сети технологии Ethernet были созданы на коаксиальном кабеле диаметром 0,5 дюйма. В дальнейшем были определены и другие спецификации стандарта Ethernet различных сред передачи данных.
- 10Base-5 — коаксиальный кабель диаметром 0,5 дюйма, называемый «толстым» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента — 500 метров (без повторителей).
- Метод доступа CSMA/CD и все временные параметры остаются одними и теми же для любой спецификации физической среды технологии Ethernet 10 Мбит/с.
- Спецификации 10Base-X, хотя и разнятся, но имеют общую функциональную архитектуру физического уровня, а MAC подуровень един для всех, также как и LLC (Рис 4-11.5).

Уровни Стандарта 10Base-X

Рис.4-11.5 Модули канального и физического уровней 10Base-X



Физическая среда Ethernet

- PMA- (Physical Medium Attachment), подуровень подсоединения к физической среде. Преобразует данные в битовый поток последовательных электрических (оптических) сигналов, и обратно. Кроме того, обеспечивает синхронизацию приема/передачи.
- Основное назначение подуровня **PMA** - доступ к среде. В Ethernet используется CSMA/CD (carrier-sense multiple access/collision detection) - множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий. Физическая среда делится между всеми устройствами, и одновременно передавать сообщение может только одно из них.
PMA выполняет следующие функции:
 - Определяет свободен канал – физическая среда- или нет, т.е. определяет наличие несущей;
 - Формирует и посылает преамбулу 56 bits и байт SFD;
 - Выдерживает меж кадровый интервал - после передачи каждого кадра (Inter Packet Gap, IPG) - 9,6 мкс.
 - Корректно обрабатывает «коллизии», а именно: определение «коллизий», усиление коллизии jam – сигналом и переход в

Физические спецификации технологии Ethernet 10Base-х, разновидности PMA.

- **10Base-2** — коаксиальный кабель диаметром 0,25 дюйма, называемый «тонким» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента — 185 метров (без повторителей).
- **10Base-T** — кабель на основе неэкранированной витой пары (UTP). Образует звездообразную топологию на основе концентратора. Расстояние между концентратором и конечным узлом — не более 100 м.
- **10Base-F** — волоконно-оптический кабель. Топология аналогична топологии стандарта 10Base-T. Имеется несколько вариантов этой спецификации — FOIRL (расстояние до 1000 м), 10Base-FL (расстояние до 2000 м), 10Base-FB (расстояние до 2000 м).

Число 10 обозначает номинальную битовую скорость передачи данных стандартов — 10 Мбит/с, а слово «Base» — метод передачи на одной базовой частоте 10. Последний символ в названии стандарта физического уровня обозначает тип кабеля.

Стандарт 10Base-5

- Коаксиальный кабель используется как моноканал для всех станций. Сегмент кабеля максимальной длины в 500 м (без повторителей) должен иметь на концах согласующие *терминаторы* («заглушки») сопротивлением 50 Ом, поглощающие распространяющиеся по кабелю сигналы и препятствующие возникновению отраженных сигналов.
- **Трансивер** — часть сетевого адаптера; устанавливается непосредственно на кабеле и питается от сетевого адаптера компьютера. Трансивер может подсоединяться к кабелю как методом прокалывания. Трансивер соединяется с сетевым адаптером интерфейсным кабелем AUI (*Attachment Unit Interface* — интерфейс подключаемых устройств) длиной до 50 м.)
- Допускается подключение к одному сегменту не более 100 трансиверов, причем расстояние между подключениями трансиверов не должно быть меньше 2,5 м. На кабеле имеется разметка через каждые 2,5 м, обозначающая точки подключения трансиверов. (Сегмент кабеля до 500 м.)



Рис. 4-11.6

*Структурная
схема сетевого
адаптера
стандарта
10Base-5
("толстый"
Ethernet)*



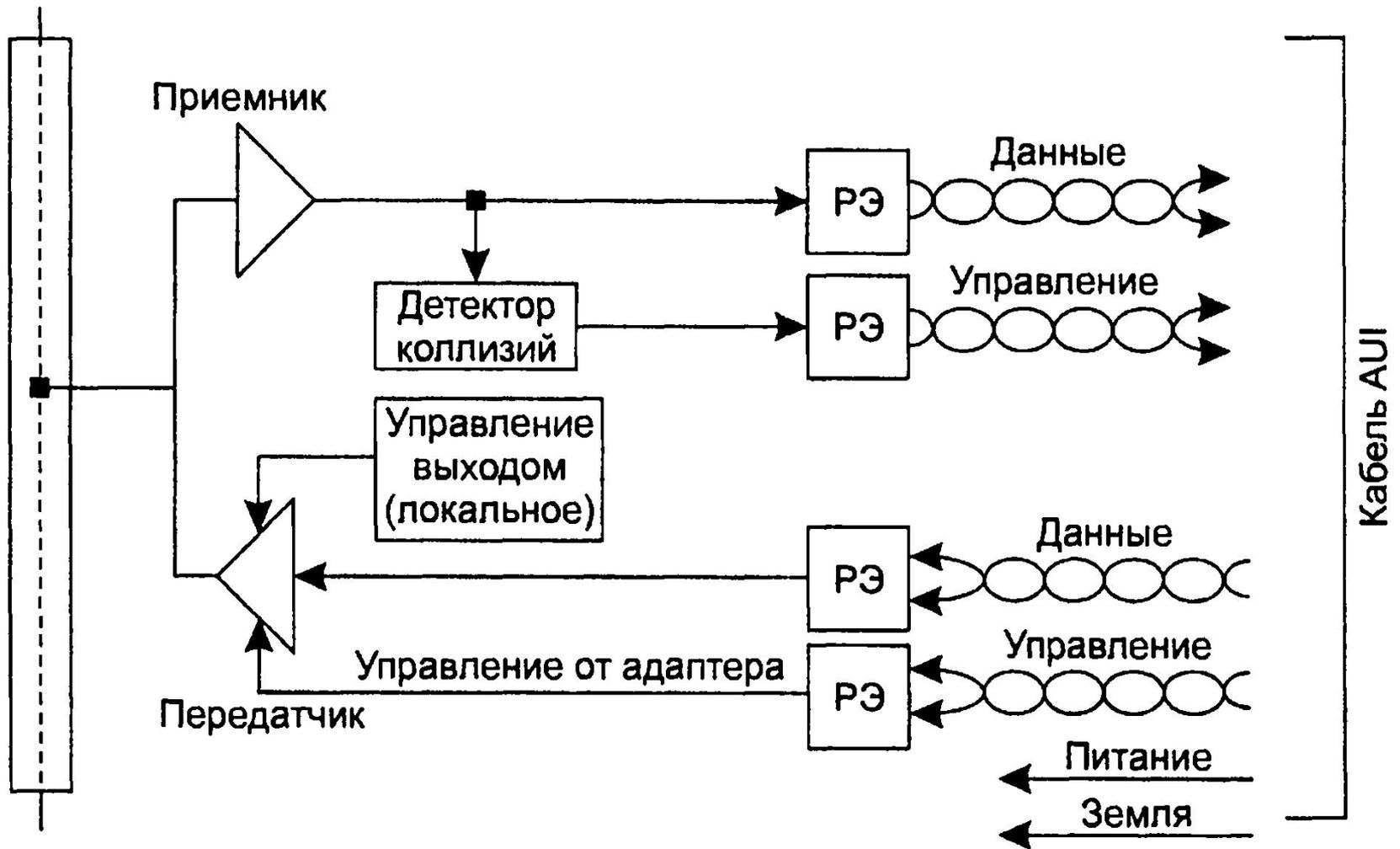


Рис. 4-11.7. Структурная схема трансивера 10Base -5(2)

Стандарт 10Base-5

- **Детектор коллизий** определяет наличие коллизии в коаксиальном кабеле по повышенному уровню постоянной составляющей сигналов. Если постоянная составляющая превышает определенный порог (около 1,5 В), значит, на кабель работает более одного передатчика.
- **Развязывающие элементы (РЭ)** обеспечивают гальваническую развязку трансивера от остальной части сетевого адаптера и тем самым защищают адаптер и компьютер от значительных перепадов напряжения, возникающих на кабеле при его повреждении.
- Передатчик и приемник присоединяются к одной точке кабеля с помощью специальной трансформаторной схемы, позволяющей организовать одновременную передачу и прием сигналов с кабеля.
- **Управление выходом (локально)** – отключает передатчик в случае случайных сбоев. Если максимально возможное время передачи пакета превышает 4000 мкс, то эта схема просто отсоединяет выход передатчика от кабеля. Максимальное время передачи кадра (вместе с преамбулой) равно 1221 мкс.

Стандарт 10Base-5 -Повторители

Повторитель -

-принимает сигналы из одного сегмента кабеля и побитно синхронно повторяет их в другом сегменте, улучшая форму и мощность импульсов, а также синхронизируя импульсы. Повторитель состоит из двух (или нескольких) трансиверов, которые присоединяются к сегментам кабеля, а также блока повторения со своим тактовым генератором.

Правило 5-4-3 -

Для стандарта Ethernet действует правило 5-4-3:

- не более 5 сегментов кабеля в сети;
 - использование в сети не более 4 повторителей и,
 - только 3 сегмента из 5 могут быть нагруженными, то есть такими, к которым подключаются конечные узлы -компьютеры.
- При максимальной длине сегмента кабеля в 500 м это дает максимальную длину сети 10Base-5 в 2500 м. Ограниченное число повторителей объясняется дополнительными задержками распространения сигнала, которые они вносят.

Стандарт 10Base-5

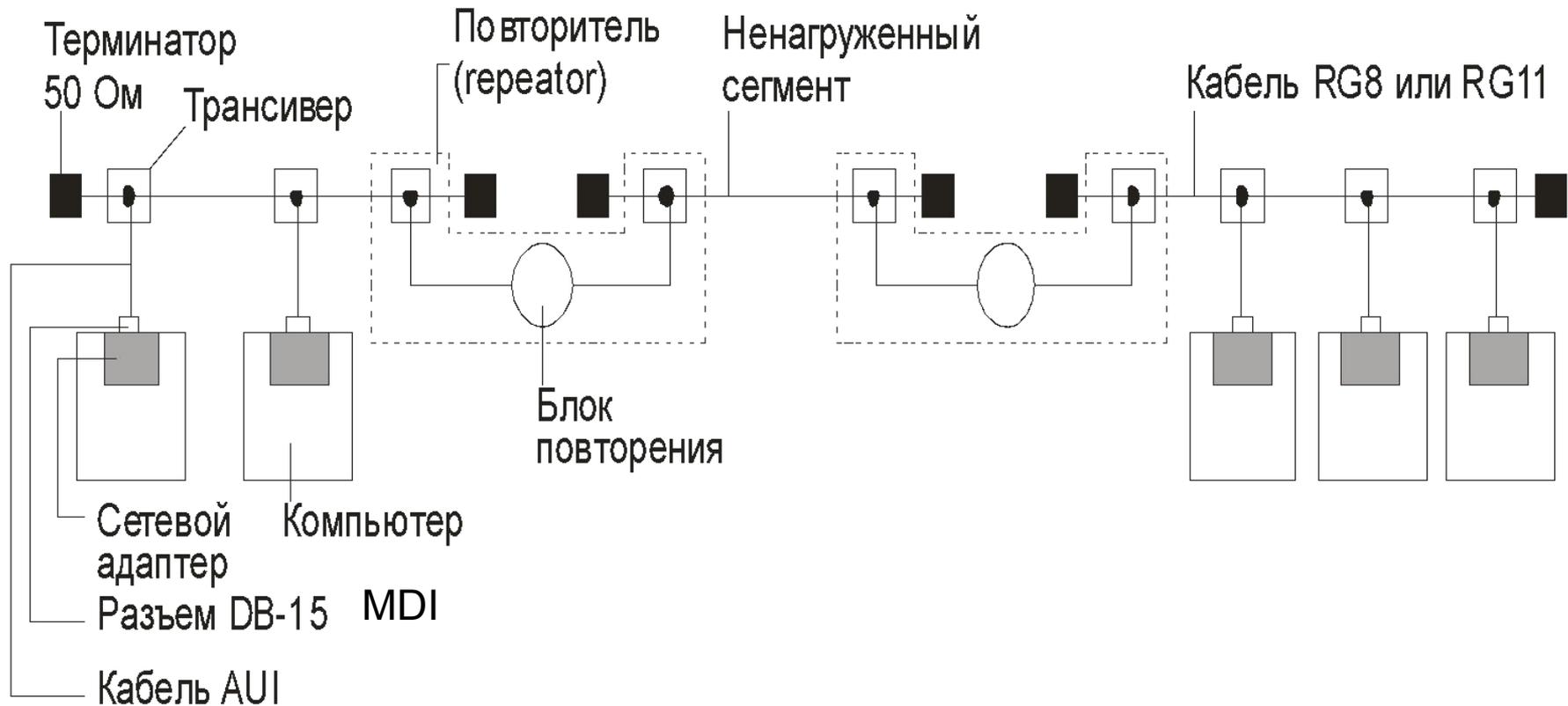


Рис. 4-11.8. Компоненты физического уровня сети стандарта 10 Base-5, состоящей из трех сегментов

Стандарт 10Base-2

В качестве передающей среды используется «тонкий» коаксиал Ethernet-0,2 дюйма.

Максимальная длина сегмента без повторителей составляет 185 м. На концах сегмента стоят согласующие терминаторы 50 Ом.

Станции подключаются к кабелю с помощью высокочастотного **T-коннектора**, который представляет собой тройник, один отвод которого соединяется с сетевым адаптером, а два других — с двумя концами разрыва кабеля.

Максимальное количество станций, подключаемых к одному сегменту, — 30, а число нагруженных сегментов = 3, общее количество узлов в сети 10Base-2 не должно превышать $29 \times 3 = 87$. Минимальное расстояние между станциями — 1 м.

Максимальная длина с учетом не нагруженных двух сегментов составит: $5 \times 185 = 925$ м. Трансиверы 10Base-2 объединены с сетевыми адаптерами за счет большей гибкости тонкого кабель, который подводится

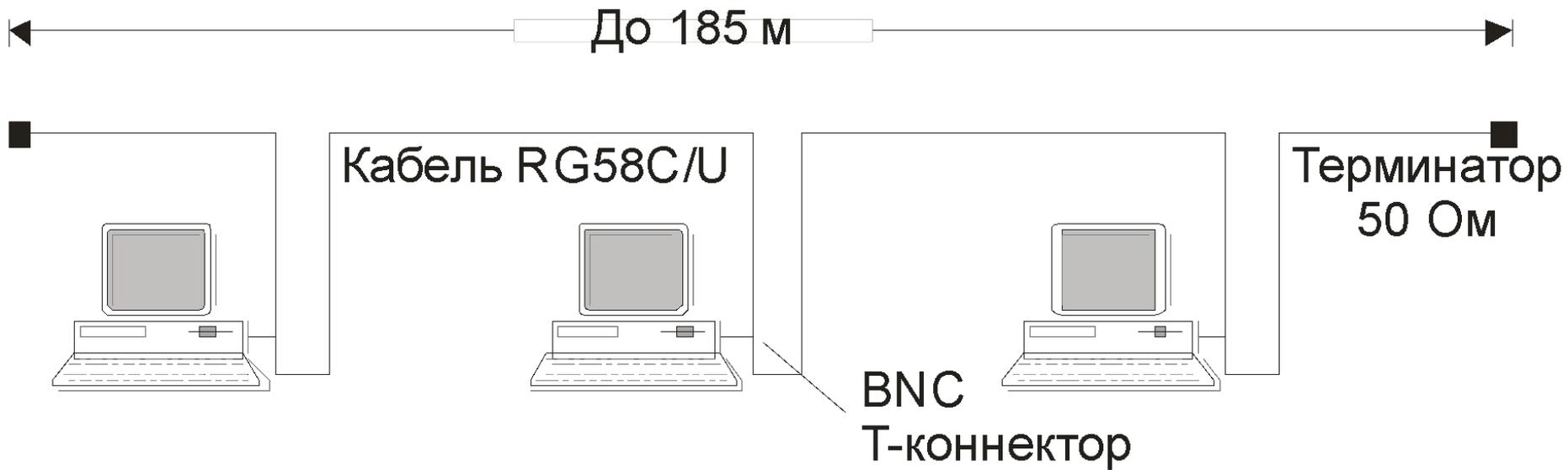


Рис. 4.13_5. Сеть стандарта 10Base-2

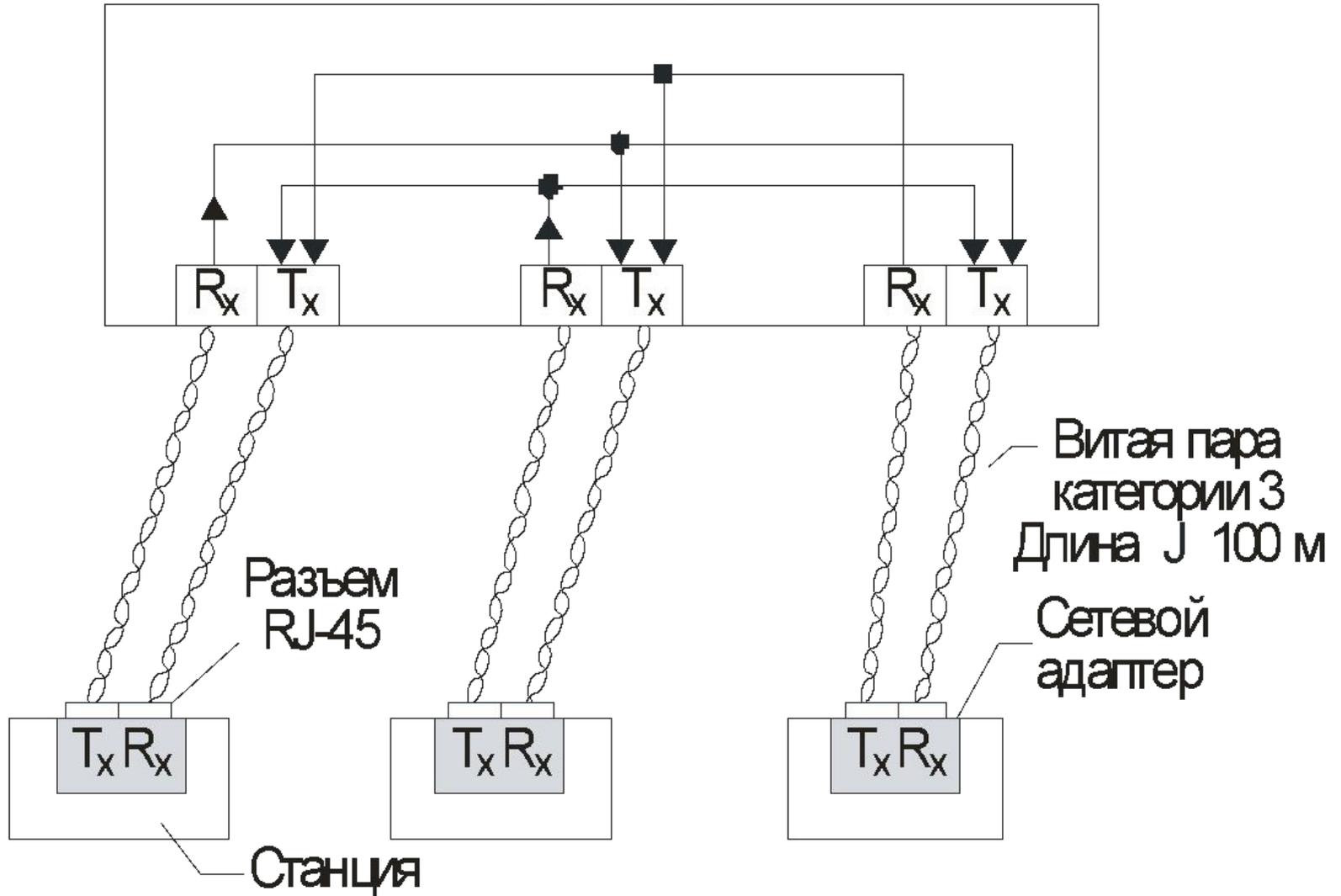
Стандарт 10Base-T

Стандарт принят в 1991 году, как дополнение к существующему набору стандартов Ethernet, и имеет обозначение IEEE 802.3L

Сети 10Base-T используют в качестве среды две *неэкранированные витые пары* (Unshielded Twisted Pair, UTP). Много парный кабель на основе неэкранированной витой пары категории_3. (UTP-cat_3 активно использовался телефонными компаниями внутри зданий). Конечные узлы соединяются с помощью двух витых пар к много портовым повторителю- концентратору (Hub). Одна витая пара требуется для передачи данных от станции к повторителю (выход Tx сетевого адаптера), а другая — для передачи данных от повторителя к станции (вход Rx сетевого адаптера).

Концентратор осуществляет функции повторителя сигналов на всех отрезках витых пар, подключенных к его портам, так что образуется единая среда передачи данных — ***логический моноканал (логическая общая шина), а физически топология звезда***

Концентратор 10Base-T



TX — передатчик; RX — приемник

Рис 4.13_9. Сеть стандарта 10Base-T .

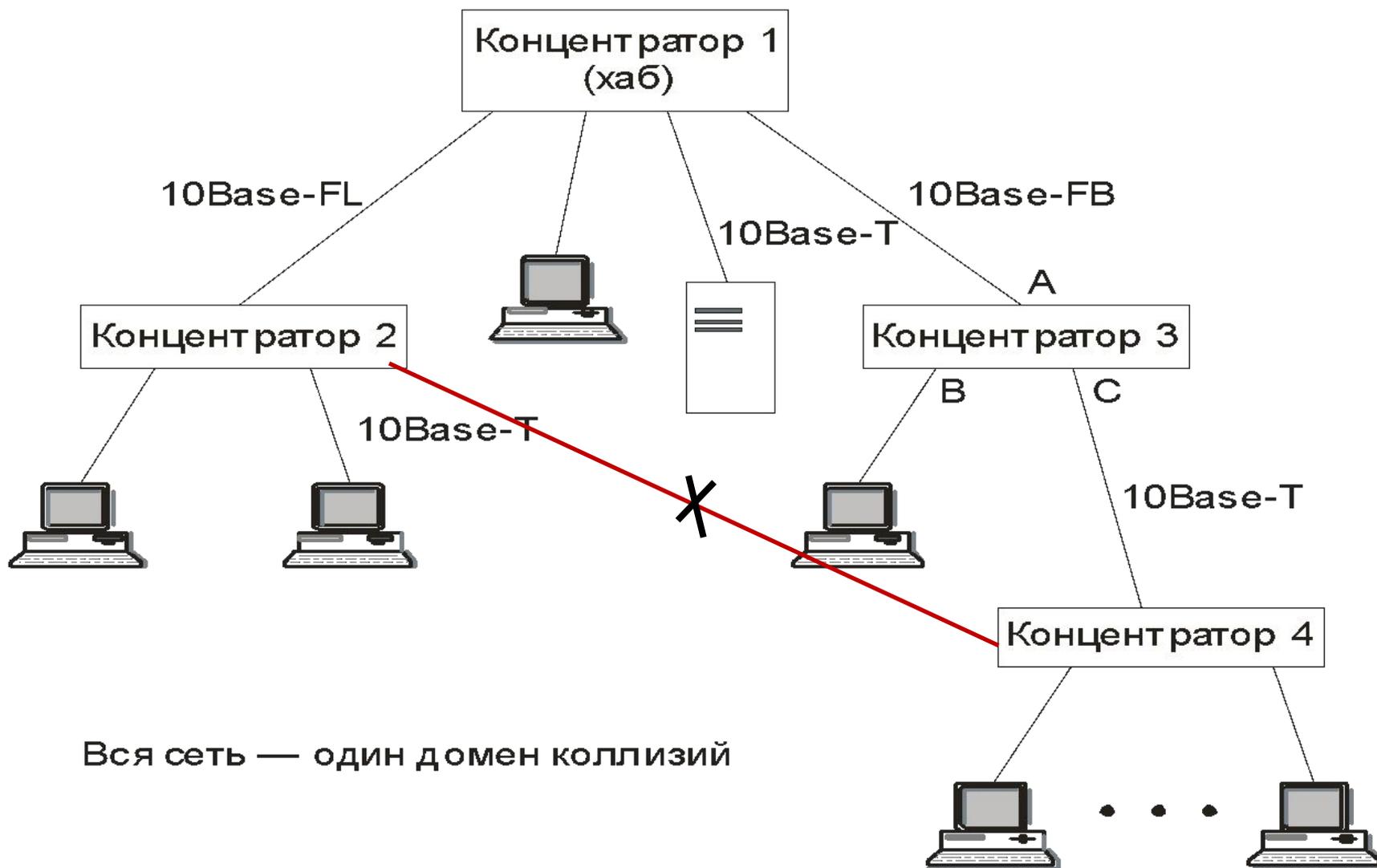
Стандарт 10Base-T

Концентратор (Hub) обнаруживает коллизию в сегменте в случае одновременного приема сигналов по нескольким своим R_x -входам и посылает jam-последовательность на все свои T_x -выхода. Стандартом определено скорость передачи данных 10 Мбит/с, максимальное расстояние отрезка витой пары между узлом и концентратором не более 100 м при UTP не ниже категории 3.

В стандарте 10Base-T ограничивает число концентраторов между любыми двумя станциями сети, не более 4. Это правило **носит название правило 4-х хабов**.

Правило 4-х хабов подобно правилу 5-4-3, применяемому к коаксиальным сетям, служит для гарантированной синхронизации станций при реализации процедур доступа CSMA/CD и надежного распознавания станциями коллизий.

При создании сети 10Base-T с большим числом станций концентраторы можно соединять друг с другом иерархическим способом, образуя древовидную структуру (рис. **4-16.10.**).



Вся сеть — один доменколлизий

Рис 4.13.10. Иерархическое соединение концентраторов Ethernet .

В стандарте 10Base-T определено максимальное число концентраторов между любыми двумя станциями сети, а именно 4. Это правило носит название **правило 4-х хабов**

Стандарт 10Base-T

В сети 10Base-T не разрешается создавать параллельные каналы связи между критически важными концентраторами (так называемое петлевидное соединение концентраторов) для резервирования связей на случай отказа порта, концентратора или кабеля. Резервирование возможно только за счет блокировки одной из параллельных связей.

Общее количество станций в сети 10Base-T не должно превышать общего предела в 1024.

Максимальное количество станций 1024 для данного типа физического уровня количество действительно достижимо. Для этого достаточно создать двухуровневую иерархию концентраторов, расположив на нижнем уровне достаточное количество концентраторов 33 по 32 порта с общим количеством портов 1023 (рис. 4-15.10). Конечные узлы нужно подключить к портам концентраторов нижнего уровня. Правило 4-х хабов при этом выполняется — между любыми конечными узлами будет ровно 3 концентратора.

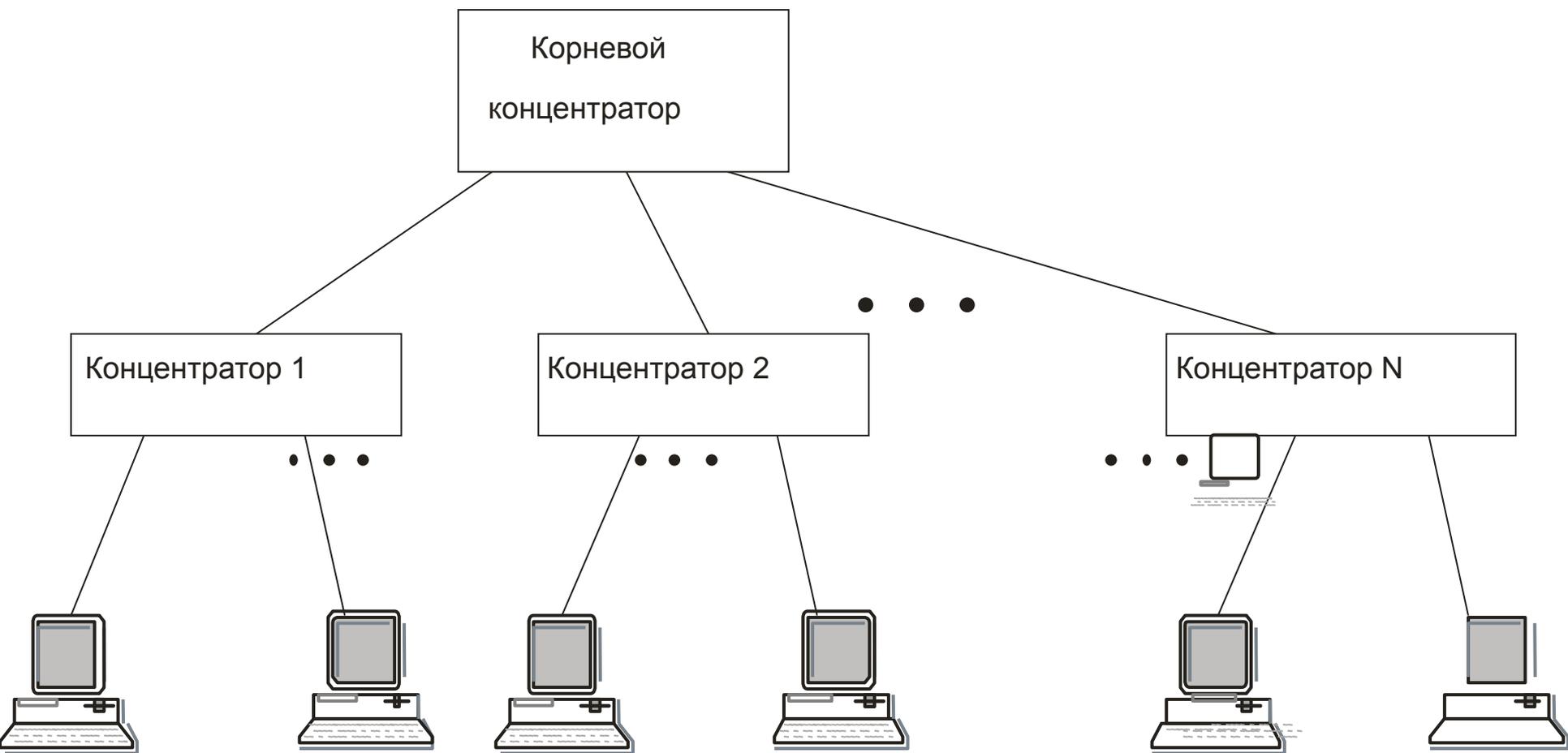


Рис. 4.13.11 Схема с максимальным количеством станций

Стандарт 10Base-T

Учитывая правило 4-х хабов, и то, что максимальная длина кабеля между повторителями равна 100 м, получаем, что **максимальный диаметр сети 10Base-T составляет $5 \times 100 = 500$ м.** (Рис 4.13.10-11).

В стандарте 10Base-T определена процедура тестирования физической работоспособности двух отрезков витой пары, соединяющих трансивер конечного узла и порт повторителя. Эта процедура называется **тестом связности** и основана на передаче каждые 16 мс специальных сигналов J и K манчестерского кода между передатчиком и приемником каждой витой пары.

Наличие активного устройства, которое может контролировать работу узлов и изолировать от сети некорректно работающие узлы, является главным преимуществом технологии 10Base-T по сравнению со сложными в эксплуатации коаксиальными сетями.

Волоконно-оптическая сеть Ethernet

В качестве среды передачи данных 10-мегабитная сеть Ethernet использует оптическое волокно. Стандартом рекомендуются достаточно дешевое многомодовое оптическое волокно, с полосой пропускания 500-800 МГц при длине кабеля 1 км.

Функционально сеть Ethernet на оптическом кабеле состоит из тех же элементов, что и сеть стандарта 10Base-T — сетевых адаптеров, много портового повторителя и отрезков кабеля, соединяющих адаптер с портом повторителя. Для соединения адаптера с повторителем используются два оптоволокна — одно соединяет выход T_x адаптера с входом R_x повторителя, а другое — вход R_x адаптера с выходом T_x повторителя.

Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link — волоконно-оптический канал между повторителями). Он гарантирует длину оптоволоконной связи между повторителями до 1 км. Максимальное число повторителей между любыми узлами сети — 4. максимальный диаметр в 2500м, однако не допускаются отрезки кабеля предельного размера между **всеми** 4 Hubs, а также между повторителями и конечными

Волоконно-оптическая сеть Ethernet

Стандарт 10Base-FL незначительное улучшение стандарта FOIRL. Увеличена мощность передатчиков, поэтому максимальное расстояние между узлом и концентратором увеличилось до 2000 м. Максимальное число повторителей между узлами осталось равным 4, и стандартная максимальная длина сети 2500 м достижима.

Стандарт 10Base-FB предназначен только для соединения повторителей. Конечные узлы не могут использовать этот стандарт для присоединения к портам концентратора. Между узлами сети можно установить до 5 повторителей 10Base-FB при максимальной длине одного сегмента 2000 м и максимальной длине сети 2740 м. В стандарте **10Base-FB** при отсутствии кадров постоянно генерируются синхросигналы: специальная последовательность сигналов - J-J-K-K-J-J-, отличающимися от сигналов кадров данных. Поэтому Hub's вносят меньшие задержки при передаче данных из одного сегмента в другой, и поэтому количество

Таблица 4.13.1 Общие ограничения для всех стандартов Ethernet

Характеристика	Значение
Номинальная пропускная способность	10 Мбит/с
Максимальное число станций в сети	1024
Максимальное расстояние между узлами в сети	2500 м (в 10Base-FB 2750 м)
Максимальное число коаксиальных сегментов в сети	5

Параметры спецификаций физического уровня для стандарта Ethernet

Таблица 4.13.2

Параметр	10Base-5	10Base-2	10Base-T	10Base-F
Кабель	Толстый коаксиальный кабель RG-8 или RG-11	Тонкий коаксиальный кабель RG-58	Неэкранированная витая пара категорий 3, 4, 5	Многомодовый волоконно-оптический кабель
Максимальная длина сегмента, м	500	185	100	2000
Максимальное расстояние между узлами сети (при использовании повторителей), м	2500	925	500	2500 (2740 для 10Base-FB)
Максимальное число станций в сегменте	100	30	1024	1024
Максимальное число повторителей между любыми станциями сети	4	4	4	4 (5 для 10 Base-FB)

Домен коллизий

- **Домен коллизий – это часть сети Ethernet, все узлы которой конкурируют за общую разделяемую среду передачи, и следовательно, каждый узел которой может создавать коллизию с любым узлом этой сети.**

Домен коллизий Сеть Ethernet, построенная на повторителях, всегда образует один домен коллизий. Мосты, коммутаторы и маршрутизаторы делят сеть Ethernet на несколько доменов коллизий. Приведенная на рис. 4-11.10 и 4.13.11 сеть представляет собой один домен коллизий. Если, например, столкновение кадров произошло в концентраторе 4, то в соответствии с логикой работы концентраторов 10Base-T сигнал коллизии распространится по всем портам всех концентраторов. Если же вместо концентратора 3 поставить в сеть мост, то его порт С, связанный с концентратором 4, воспримет сигнал коллизии, но не передаст его на свои остальные порты. Мост просто отрабатывает ситуацию коллизии средствами порта С, который подключен к общей среде, где эта коллизия

Литература.

- 1) **Олифер В. Г. Олифер. Н. А. Компьютерные сети.** Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — 944 е.: ил.
- 2) **Э. Таненбаум . Компьютерные сети.** 4-е изд. /. — СПб.: Питер, 2003. — 992 с;