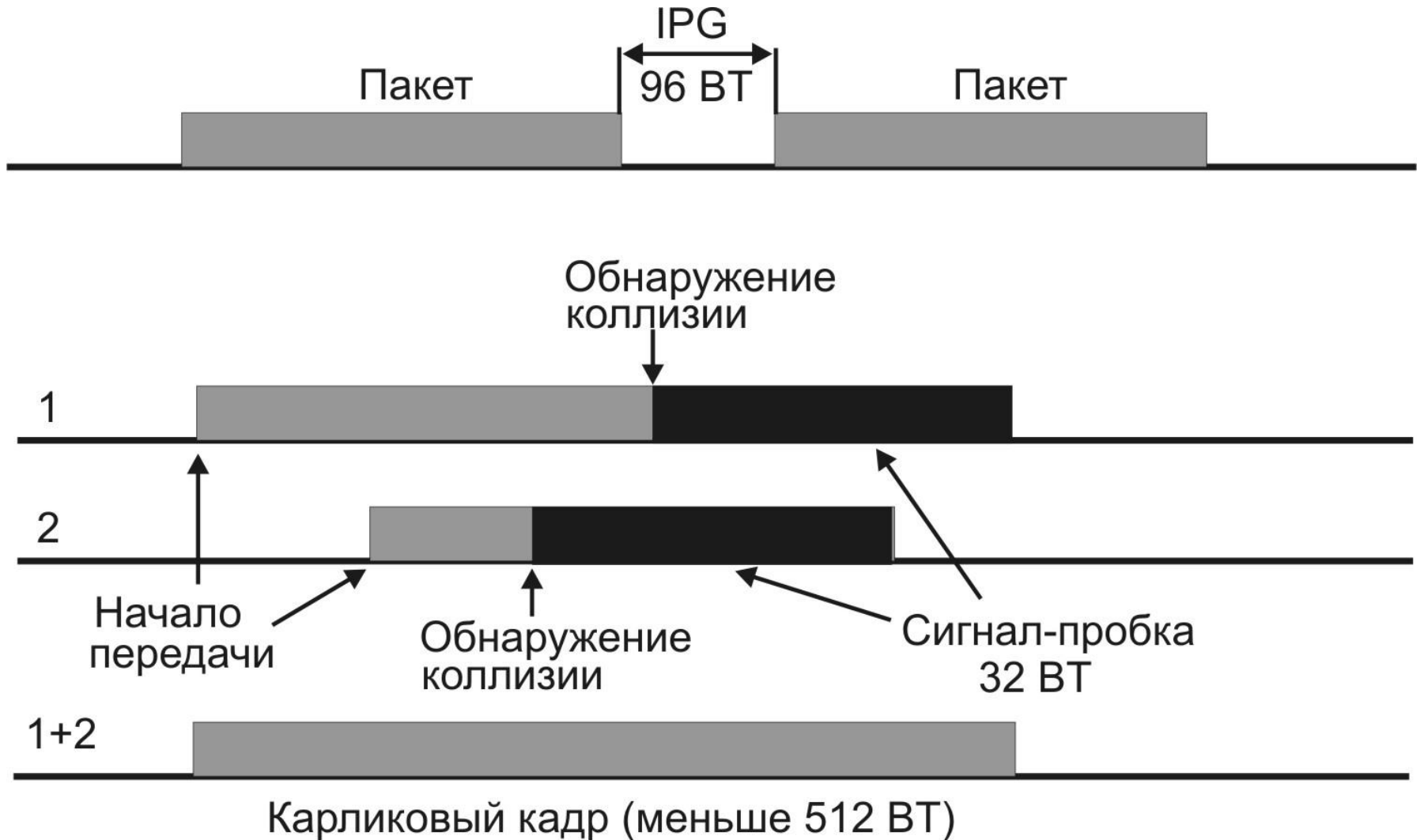


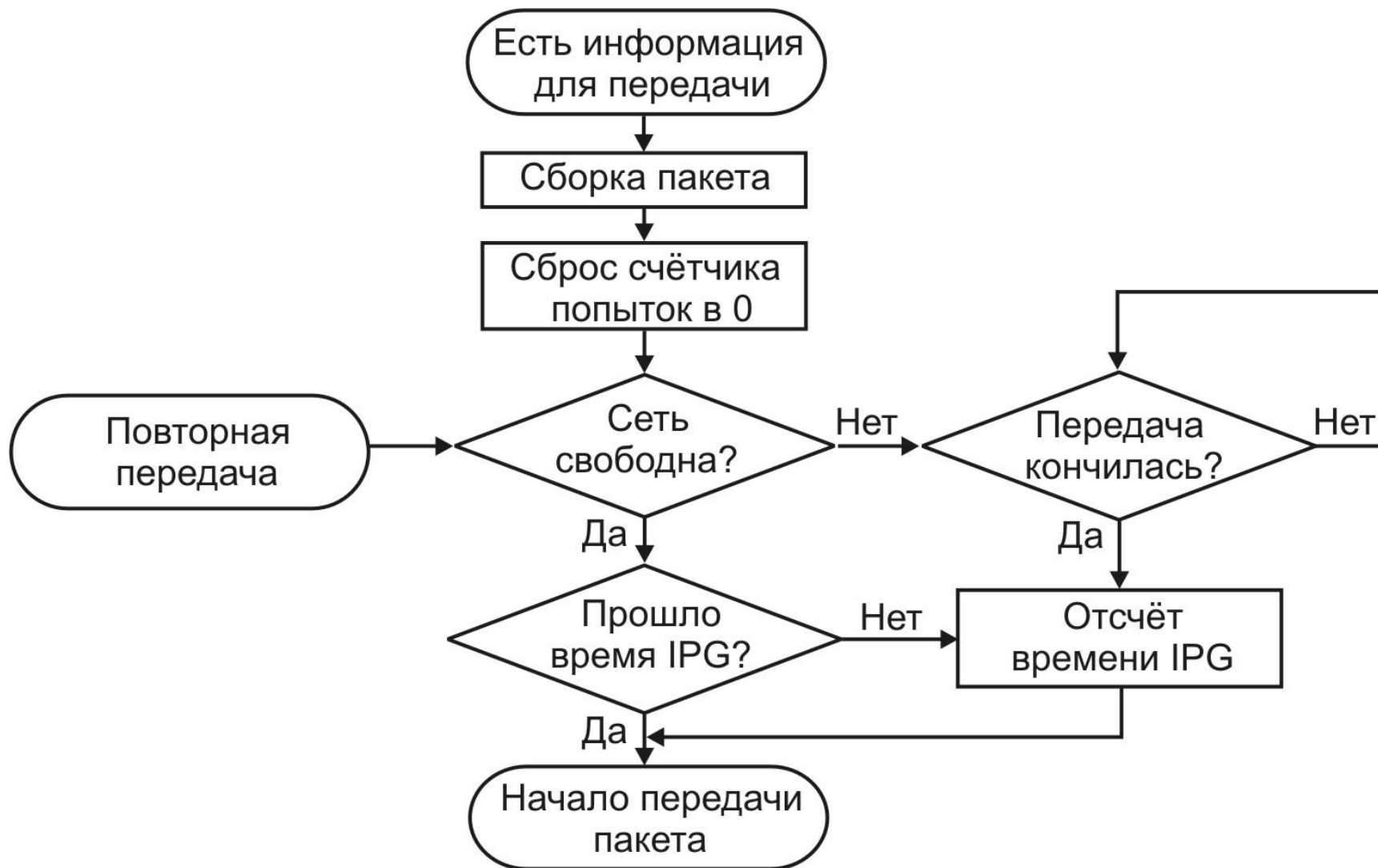
Метод доступа CSMA/CD (основные понятия)

- **BT** (Bit Time, битовый интервал) — длительность передачи одного бита.
- **IPG** (Inter-Packet Gap, межпакетная щель) — минимальный интервал между пакетами, $IPG = 96 \text{ BT}$.
- **PDV** (Path Delay Value, задержка в пути) — двойное время прохождения сигнала между абонентами сети.
- **ST** (Slot time, время канала, квант времени) — максимально допустимое PDV ($ST = 512 \text{ BT}$).
- **Максимальный диаметр сети** — допустимая длина сети ($PDV = ST = 512 \text{ BT}$).
- **Jam** (сигнал-пробка) — последовательность длительностью 32 BT для усиления коллизии.
- **Truncated binary exponential back off** (усечённая двоичная экспоненциальная отсрочка) — задержка перед повторной передачей пакета после коллизии.

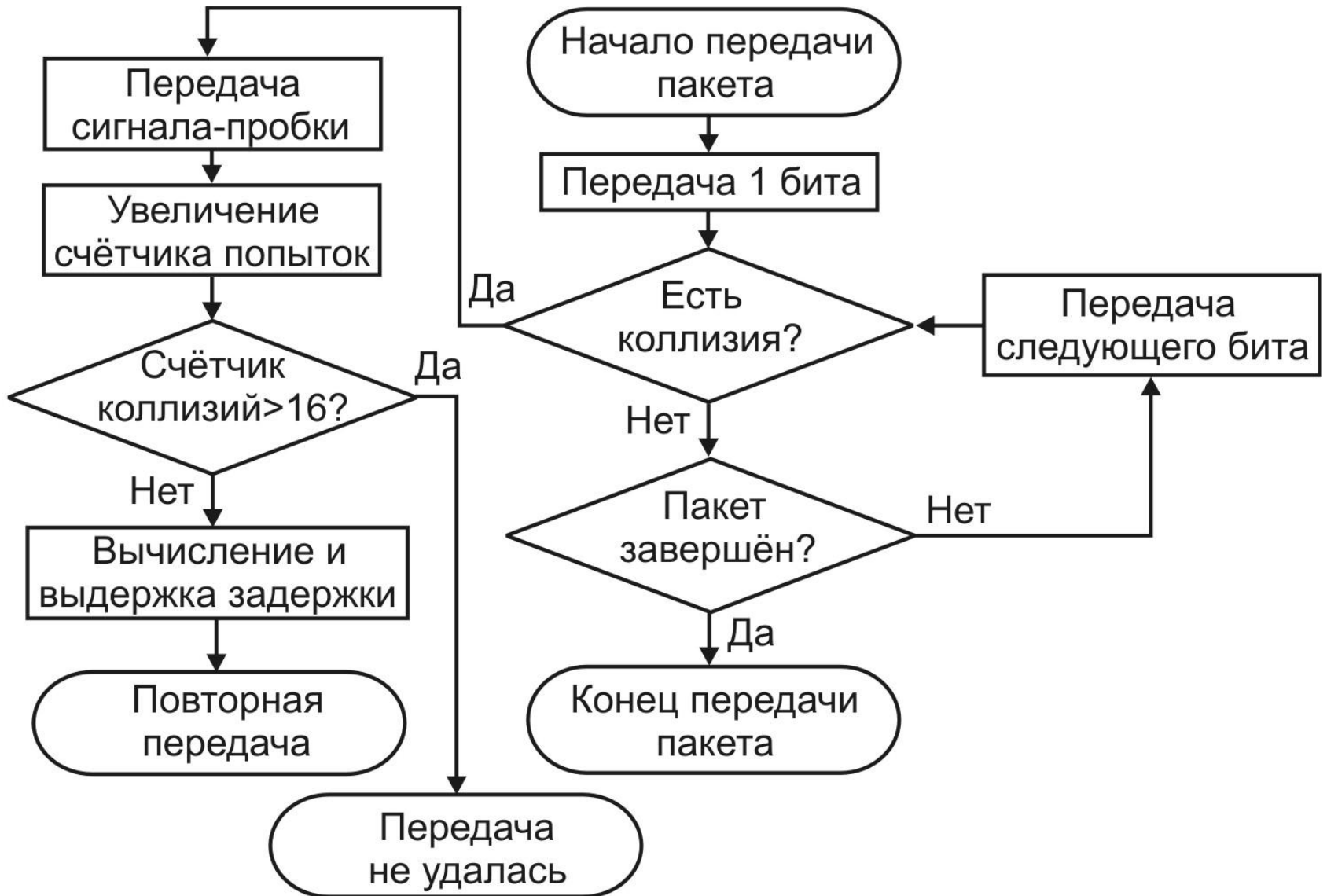
Передача пакетов в Ethernet



Алгоритм начала передачи



Алгоритм передачи пакета



Вычисление задержки повтора передачи

$$\text{Задержка} = \text{RAND}(0, 2^{\min(N, 10)}) \cdot ST$$

- N — значение счетчика попыток;
- $\text{RAND}(a, b)$ — генератор случайных нормально распределенных целых чисел в диапазоне $a \dots b$, включая крайние значения;
- ST — квант времени, равный 512 БТ;
- Максимальная задержка равна 1024 ST (524 788 БТ).

Номер повтора N	Возможные задержки
1	0, ST , 2 ST
2	0, ST , 2 ST , 3 ST , 4 ST
3	0, ST , 2 ST , 3 ST , 4 ST , 5 ST , 6 ST , 7 ST , 8 ST

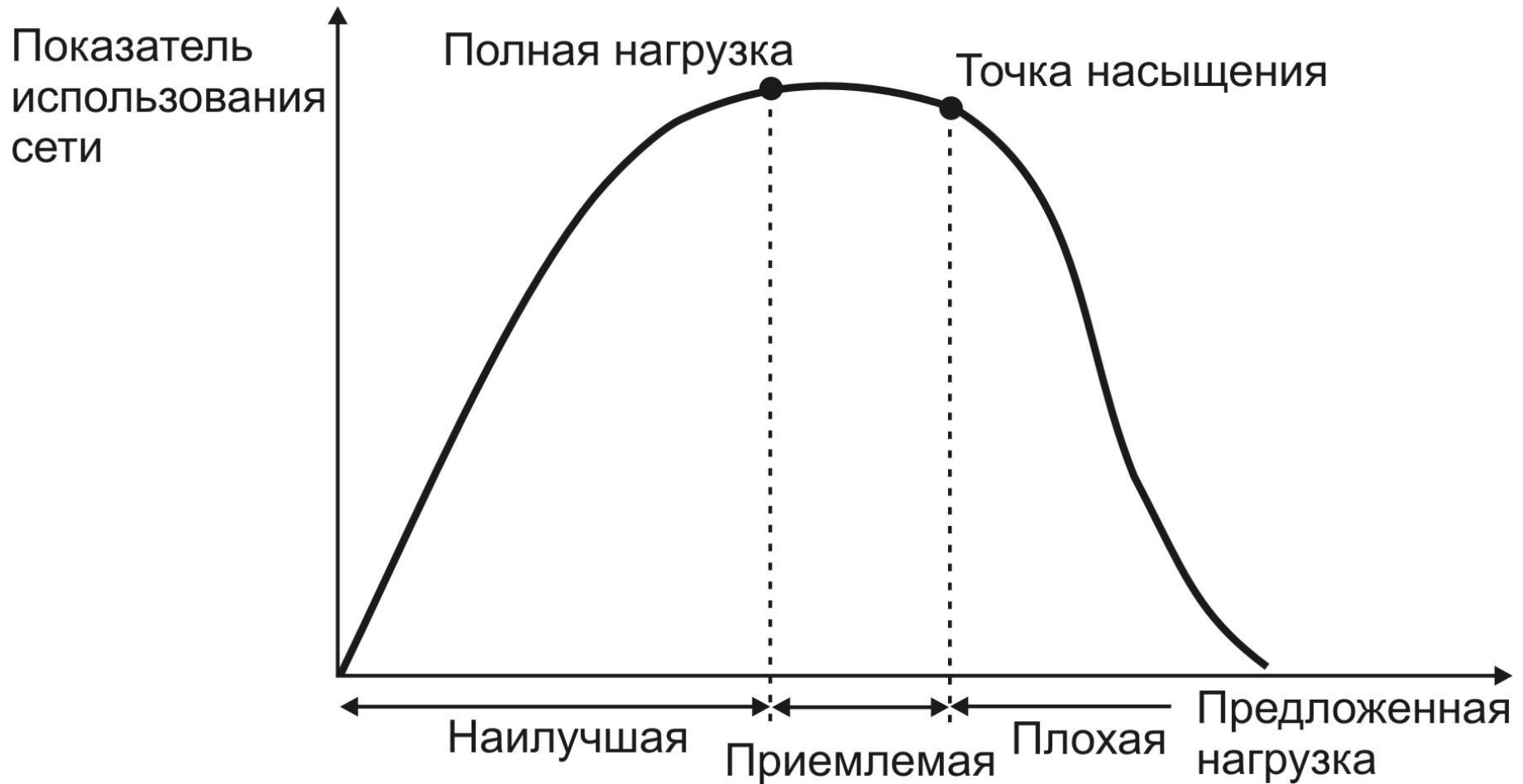
Признаки искажённого коллизией кадра

- Кадр имеет длину, меньшую минимально допустимого размера 512 ВТ (карликовый кадр) — если коллизия произошла до 480-го бита кадра;
- Кадр имеет неправильную контрольную сумму — если коллизия произошла после 480-го бита кадра, то сигнал-пробка (32 бита) играет роль контрольной суммы;
- Кадр имеет длину, не равную целому числу байт, — если коллизия произошла в середине одного из передаваемых байтов.

Максимальная скорость передачи

- Наименьшая избыточность — пакет максимальной длины (1500 байт полезной информации + 26 байт служебной информации + 96 бит IPG = 12304 бита);
- Если нет коллизий, то скорость передачи пакетов (при скорости сети 100 Мбит/с) составит:
 $10^8 / 12304 = 8127,44$ пакета в секунду;
- Пропускная способность сети (скорость передачи полезной информации) будет равна:
 $8127,44 \cdot 1500$ байт = 12,2 Мбайт/с;
- Эффективность использования скорости сети:
 $8127,44 \cdot 12000 \text{ бит} / 10^8 = 98\%$.

Производительность сети Ethernet



Методы контроля ошибок

- Проверка передающим абонентом:
 - Побитовая проверка в процессе передачи пакета (сравнение передаваемого бита и состояния сети);
 - Сравнение переданного пакета и пакета, возвращённого принимающим абонентом;
- Проверка принимающим абонентом:
 - Выбор из нескольких копий пакетов, полученных от передающего абонента;
 - Проверка контрольной суммы пакета, подсчитанной передающим абонентом и включённой в пакет.

Метод CRC (циклическая избыточная проверка)

- Контрольная сумма FCS (n-разрядная) — остаток от деления по модулю 2 передаваемого пакета (кадра) на образующий полином с разрядностью (n + 1);
- Вероятность обнаружения одиночной ошибки равна 100%;
- Вероятность обнаружения ошибок кратностью 2 и более примерно равна: $(1 - 2^{-n})$, где n – разрядность контрольной суммы (при условии $N \gg n$, где N – количество бит кадра);

Разрядность FCS, n	Вероятность обнаружения ошибки
8	0,996
16	0,999985
32	0,99999999997672

Деление по модулю 2 в методе CRC

Массив данных
(кадр)

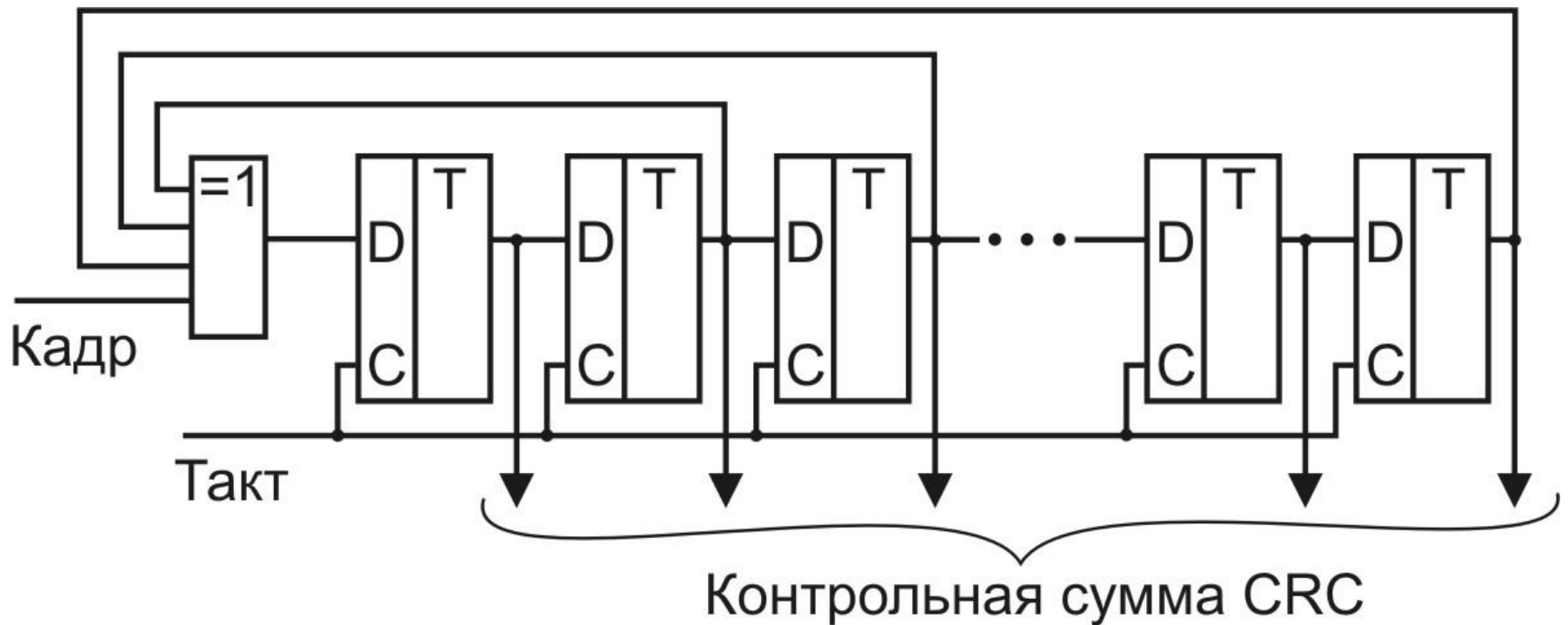
Образующий полином

$$\begin{array}{r} \oplus 101111001110 \mid 10011 \\ \underline{10011} \\ 0010010 \\ \oplus \quad \quad \underline{10011} \\ \quad \quad \quad 000010111 \\ \oplus \quad \quad \quad \quad \underline{10011} \\ \quad \quad \quad \quad \quad 1000 \end{array}$$

Сложение
по модулю 2

Остаток
(контрольная сумма)

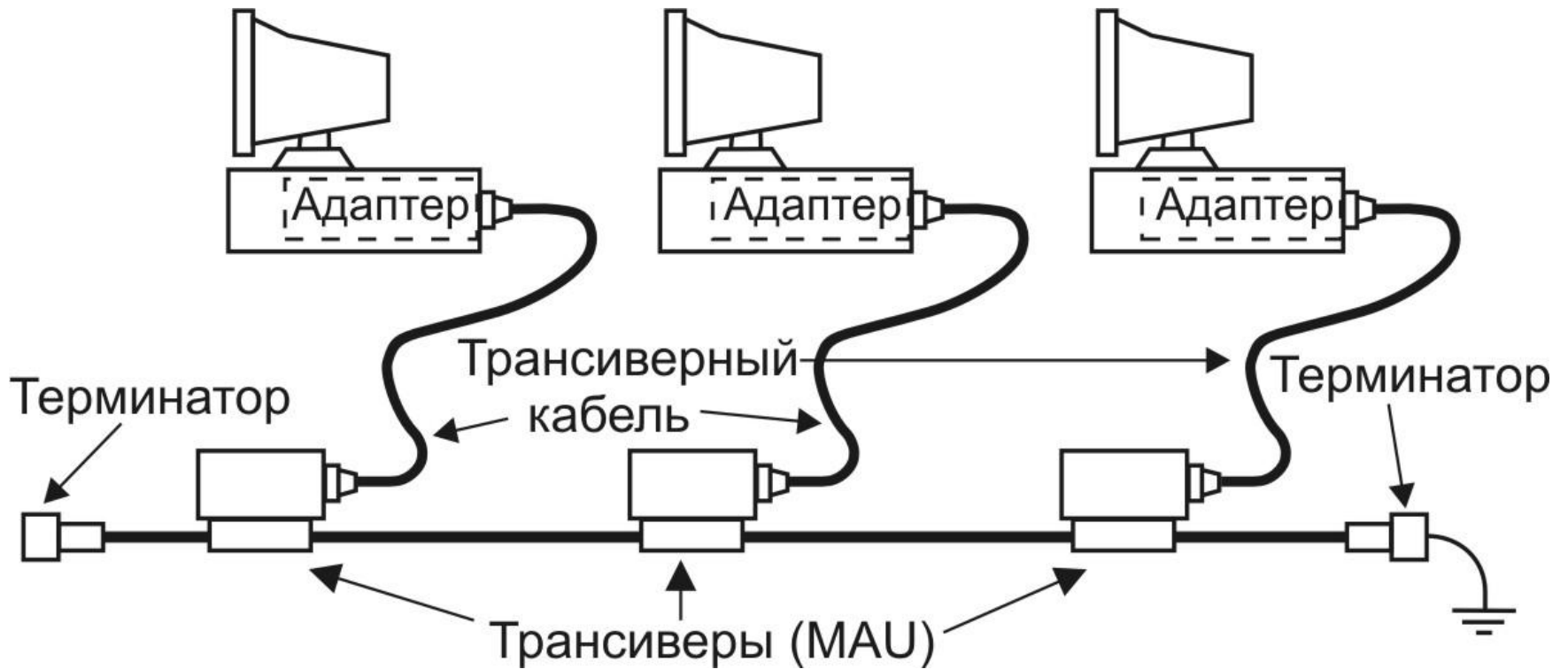
Реализация вычислителя контрольной суммы



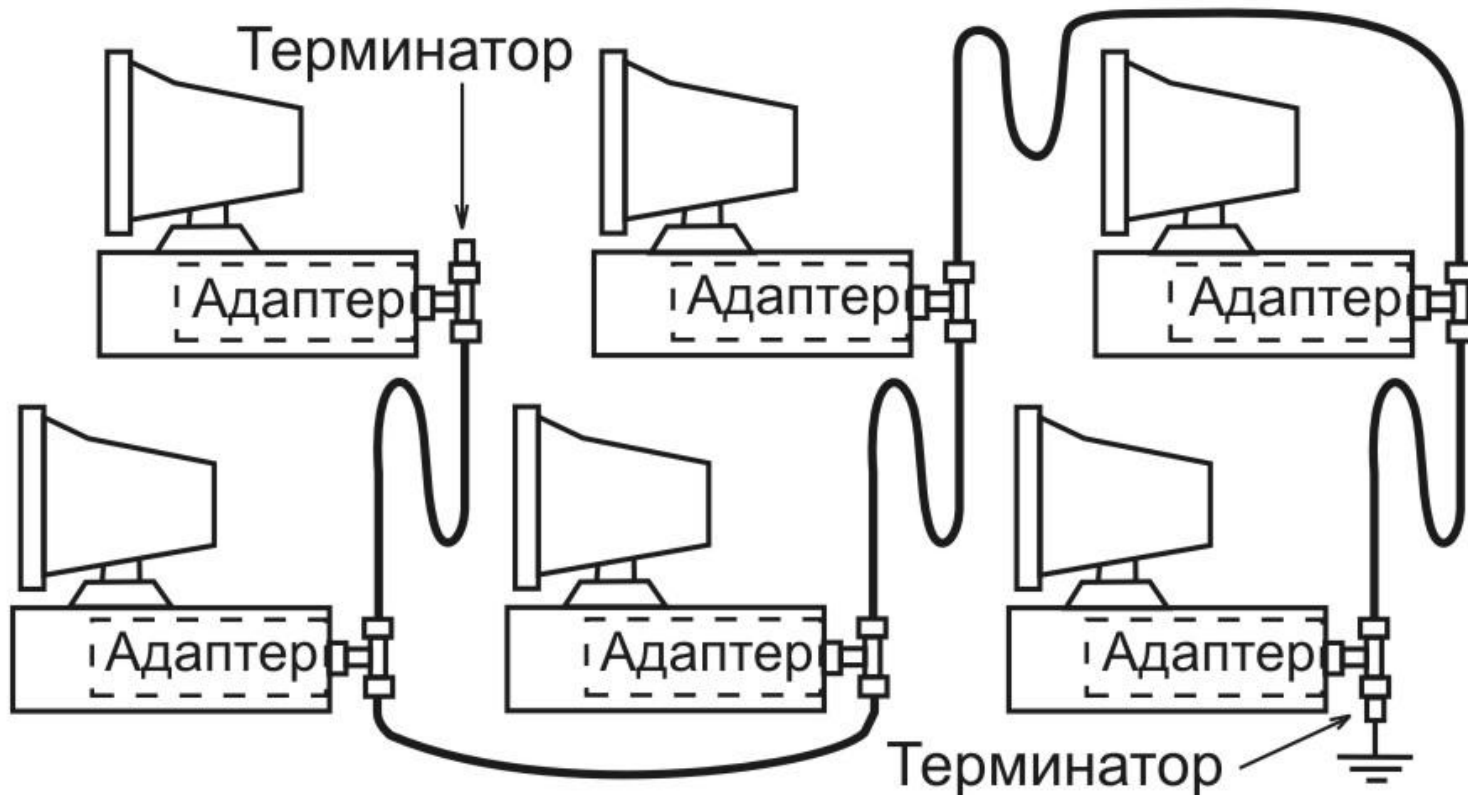
Выбор образующего полинома

- Количество разрядов полинома равно $(n+1)$, где n — требуемая разрядность циклической контрольной суммы;
- Старший бит полинома равен 1;
- Полином делится (по модулю 2) без остатка только на единицу и на самого себя (простое число в смысле деления по модулю 2);
- Количество единиц в коде полинома должно быть минимально, чтобы упростить аппаратуру вычислителя контрольной суммы.

Сегмент 10BASE5



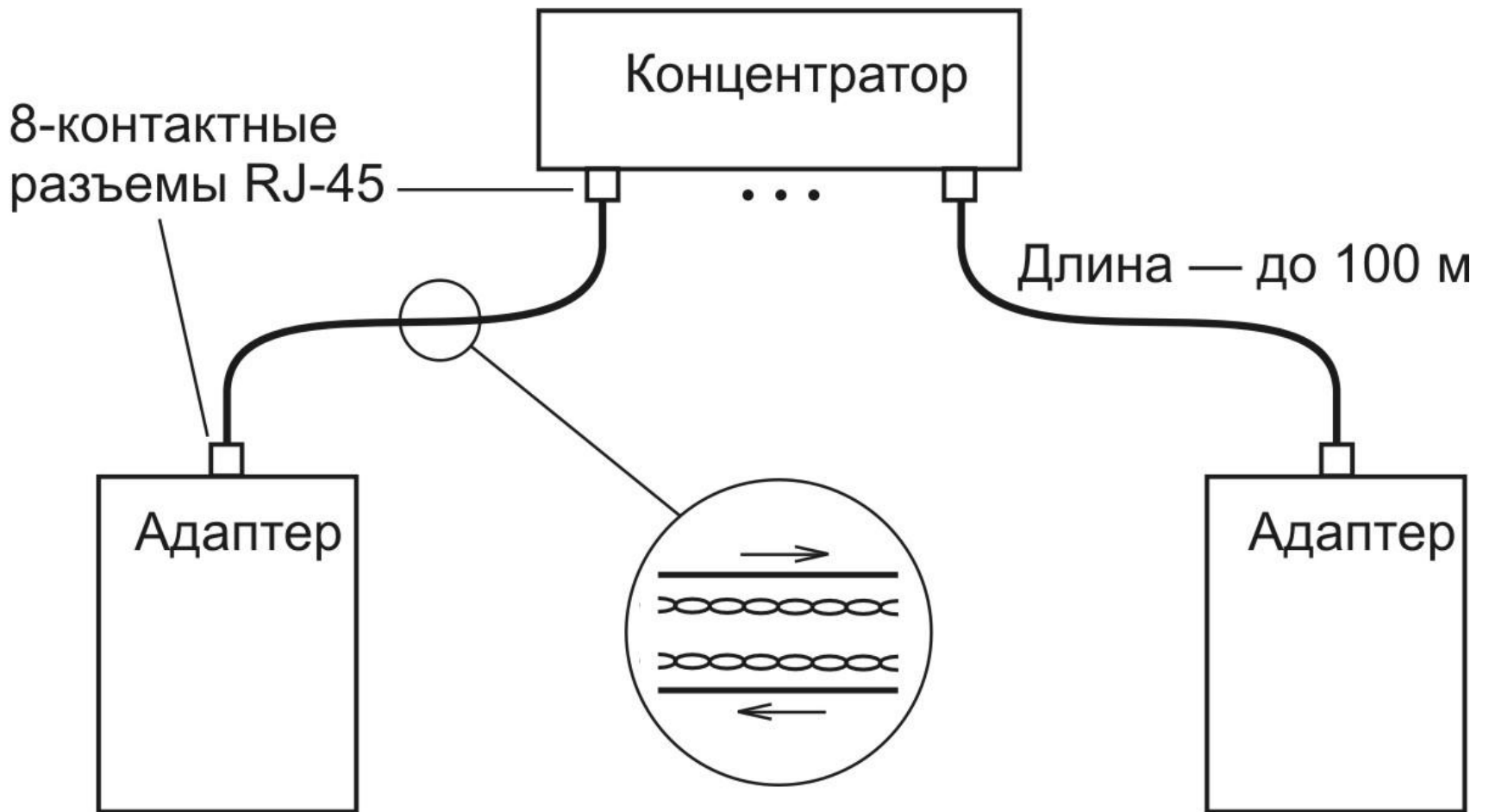
Сегмент 10BASE2 (Cheapernet)



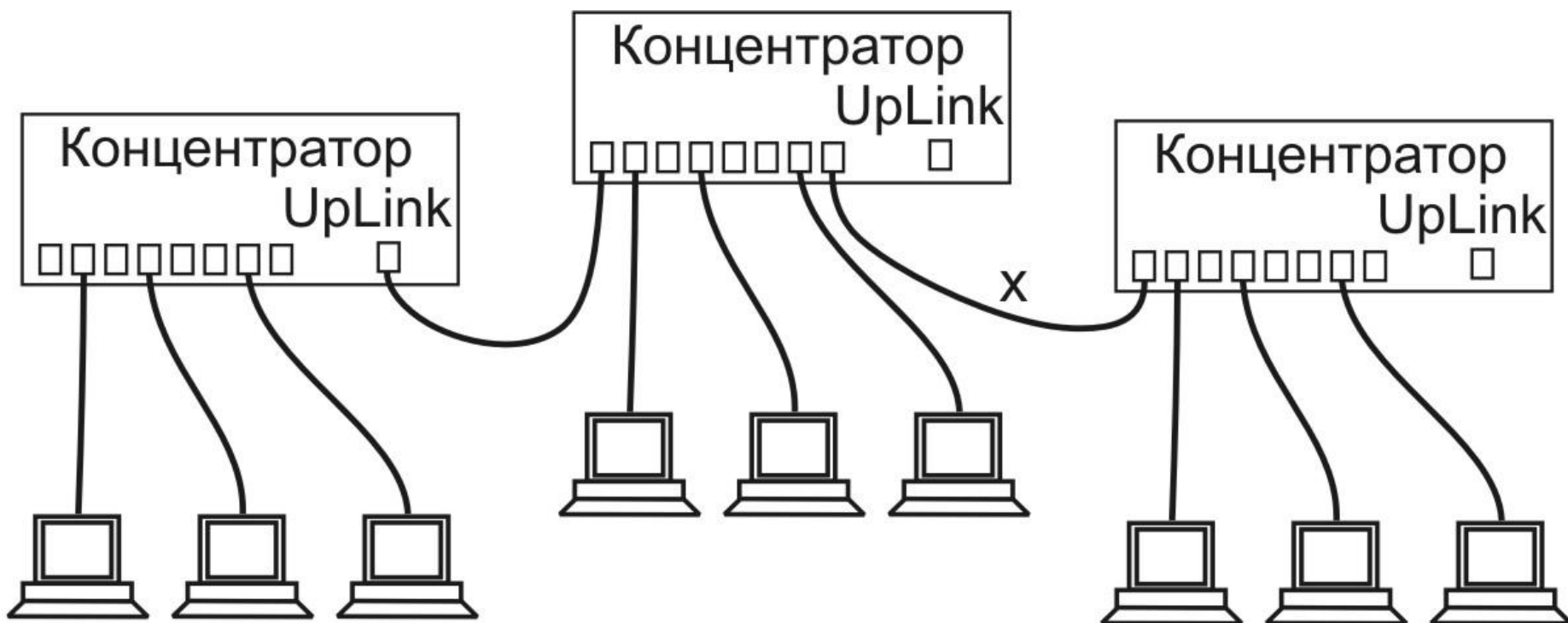
Параметры сегментов 10BASE5 и 10BASE2

Параметр	10BASE5	10BASE2
Среда передачи	Толстый КК (10 мм, 50 Ом)	Тонкий КК (5 мм, 50 Ом)
Длина сегмента	До 500 м (до 5 сегментов)	До 185 м (до 5 сегментов)
Абонентов на сегмент	До 100	До 30
Расстояние между абонентами	Не менее 2,5 м	Не менее 0,5 м
Внешний трансивер	Нужен MAU (кабель до 50 м)	Не нужен

Сегменты 10BASE-T



Объединение сегментов 10BASE-T

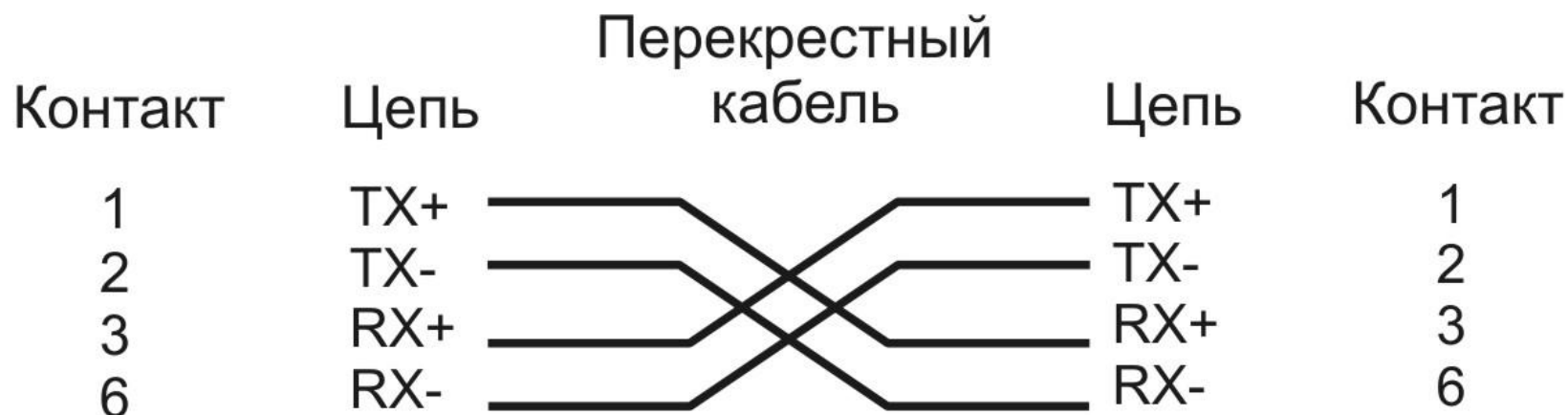


Контакты разъёма RJ-45 сегмента 10BASE-T

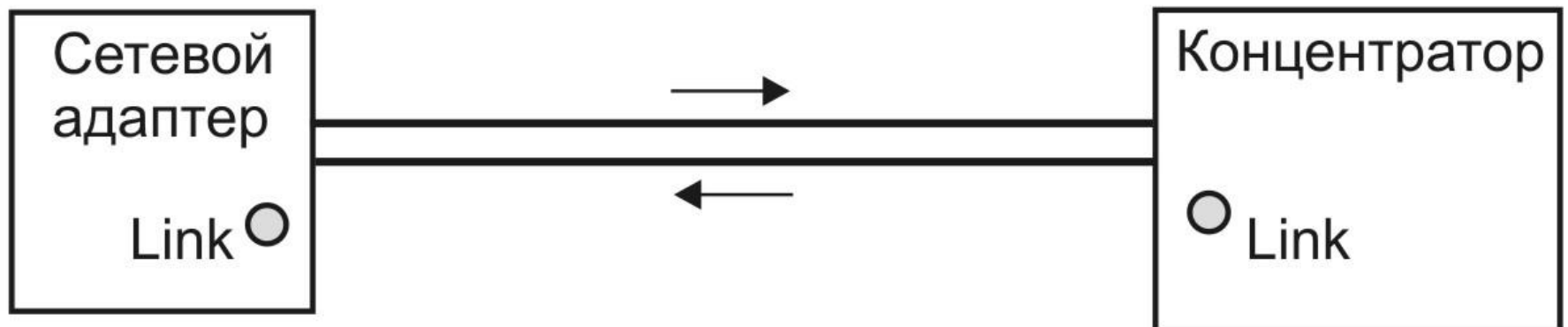
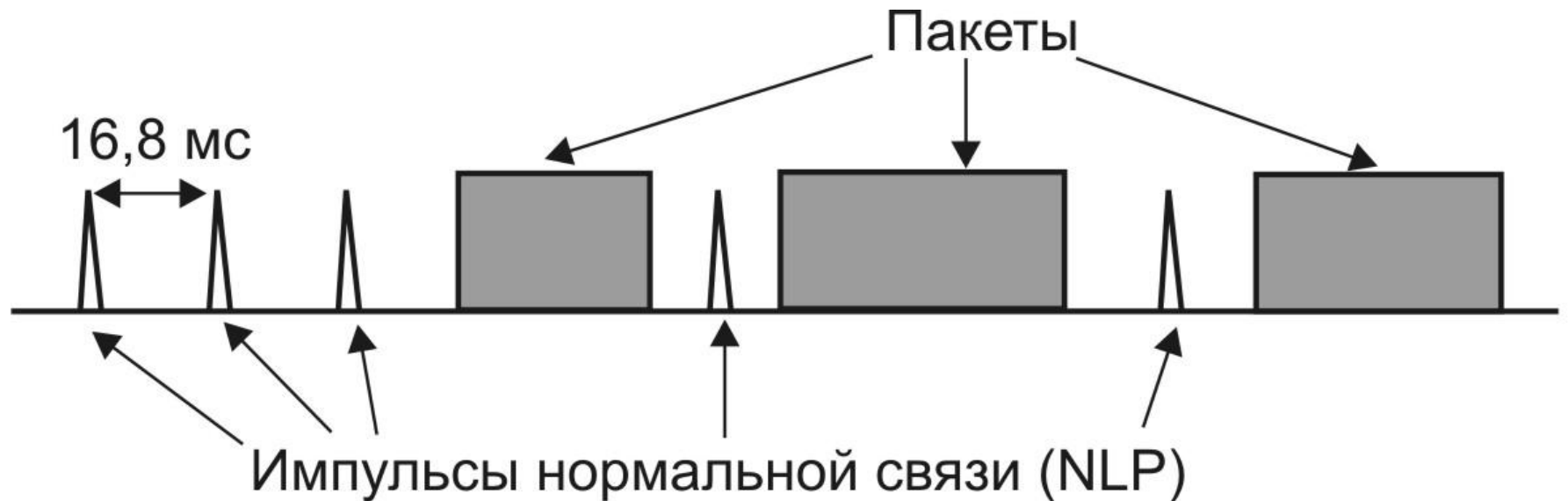


Контакт	Назначение	Цвет провода
1	TX+	Белый/оранжевый
2	TX-	Оранжевый/белый
3	RX+	Белый/зеленый
4	Не используется	—
5	Не используется	—
6	RX-	Зеленый/белый
7	Не используется	—
8	Не используется	—

Прямой и перекрёстный кабели 10BASE-T



Контроль целостности линии связи 10BASE-T



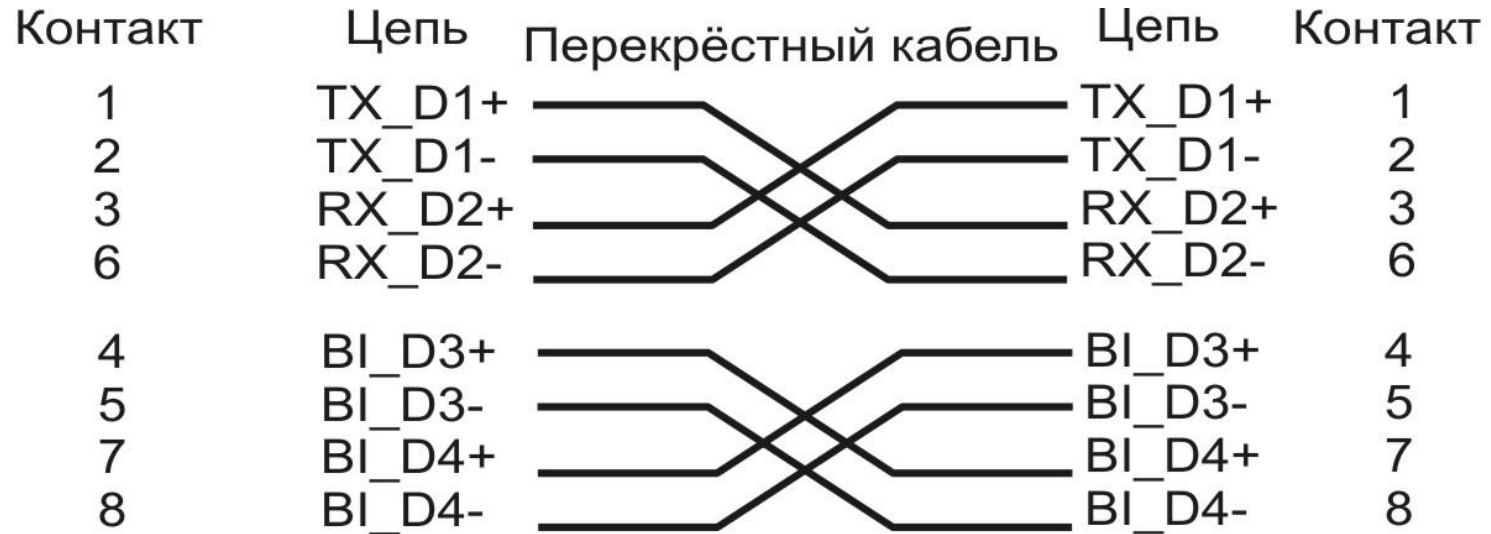
Контакты разъёма RJ-45 сегмента 100BASE-T4



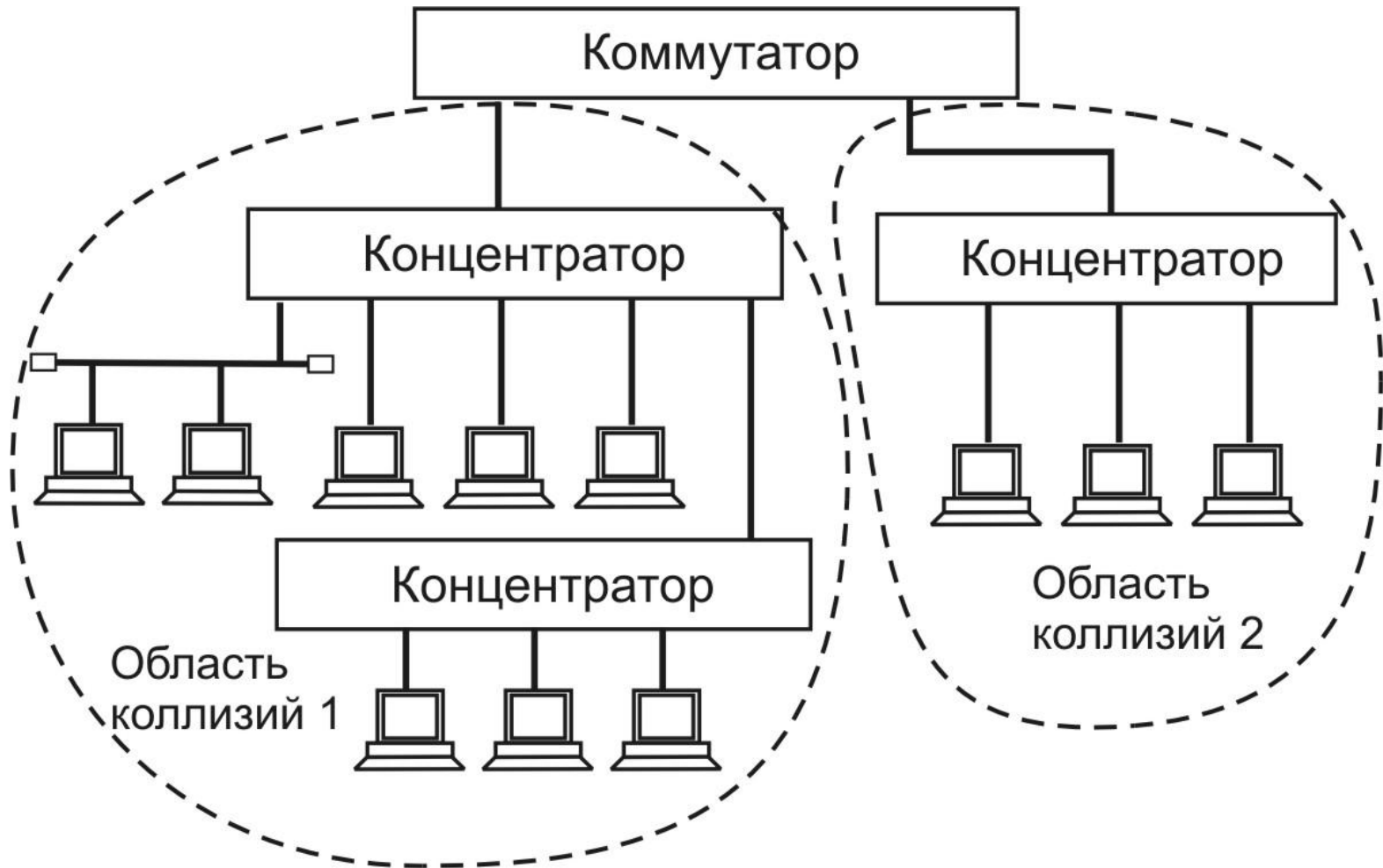
Контакт	Назначение	Цвет провода
1	TX_D1+	Белый/оранжевый
2	TX_D1-	Оранжевый/белый
3	RX_D2+	Белый/зеленый
4	BI_D3+	Голубой/белый
5	BI_D3-	Белый/голубой
6	RX_D2-	Зеленый/белый
7	BI_D4+	Белый/коричневый
8	BI_D4-	Коричневый/белый

Прямой и перекрёстный кабели

100BASE-T4

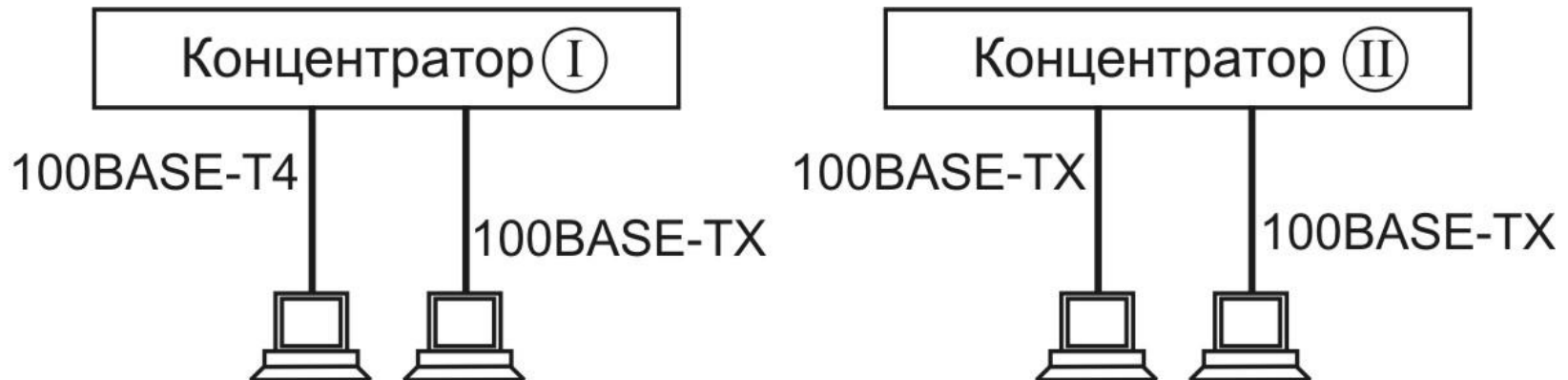


Область коллизии (Collision Domain)



Классы концентраторов

- Класс II — простой, более быстрый, без кодирования и декодирования, без возможности управления (Ethernet, Fast Ethernet);
- Класс I — сложный, более медленный, с кодированием и декодированием, с возможностью управления (только Fast Ethernet).



Предельный размер области коллизий

- **Ethernet (10 Мбит/с):**

Предельная двойная задержка (ST) $512 \text{ BT} = 51,2 \text{ мкс}$;

Одинарная задержка в кабеле = $25,6 \text{ мкс}$;

Предельная длина кабеля = $25,6 \text{ мкс} / 4 \text{ нс} = 6,4 \text{ км}$;

- **Fast Ethernet (100 Мбит/с):**

Предельная двойная задержка (ST) $512 \text{ BT} = 5,12 \text{ мкс}$;

Одинарная задержка в кабеле = $2,56 \text{ мкс}$;

Предельная длина кабеля = $2,56 \text{ мкс} / 4 \text{ нс} = 640 \text{ м}$;

- **Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с):**

Предельная двойная задержка (ST) $512 \text{ BT} = 0,512 \text{ мкс}$;

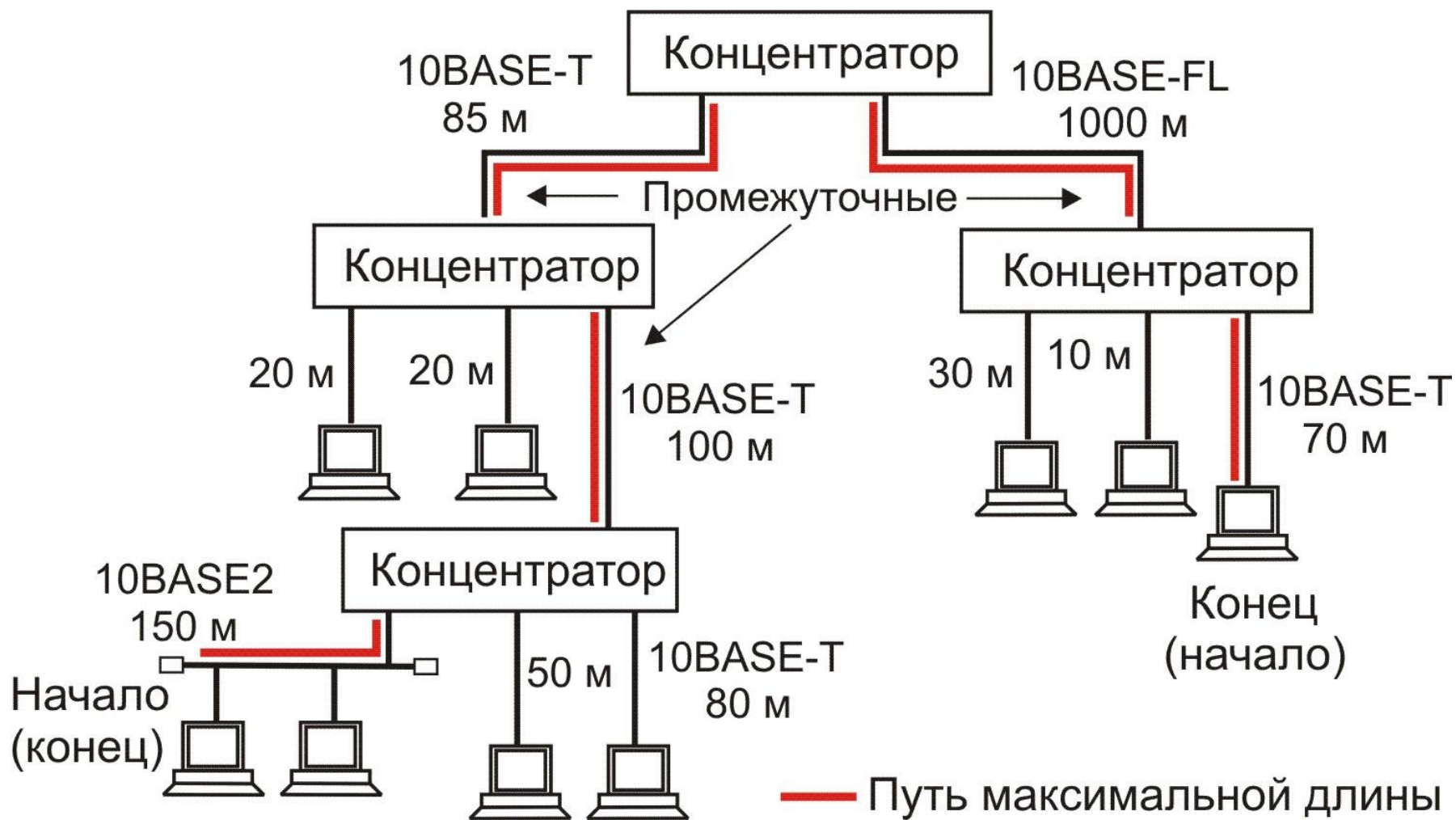
Одинарная задержка в кабеле = $0,256 \text{ мкс}$;

Предельная длина кабеля = $0,256 \text{ мкс} / 4 \text{ нс} = 64 \text{ м}$;

Расчёты для сети Ethernet (10 Мбит/с)

1. Двойная задержка распространения сигнала (PDV) по пути максимальной длины не должна превышать 512 нс. В задержку входят: задержки в сетевых адаптерах, задержки в концентраторах, задержки в кабелях. Ограничение на длину кабелей и количество концентраторов.
2. Уменьшение межпакетной щели (ΔIPG) для любого пути не должно превышать 49 нс. IPG уменьшается при прохождении пакетов через концентраторы. Ограничение на количество концентраторов.
3. Оба условия должны выполняться для всей сети.

Путь максимальной длины Ethernet



Расчёт PDV для сети Ethernet (10 Мбит/с)

Тип сегмента	t_o нач. сегм.	t_o пром. сегм.	t_o кон. сегм.	t_1 на метр
10BASE5	11,8	46,5	169,5	0,087
10BASE2	11,8	46,5	169,5	0,103
10BASE-T	15,3	42,0	165,0	0,113
10BASE-FL	12,3	33,5	156,5	0,100

$$PDV = \sum PDV_s \leq 512 \text{ BT}$$

$$PDV_s = t_o + L \cdot t_1, \text{ где } L \text{ — длина кабеля сегмента в метрах}$$

Расчёт сокращения IPG для сети Ethernet

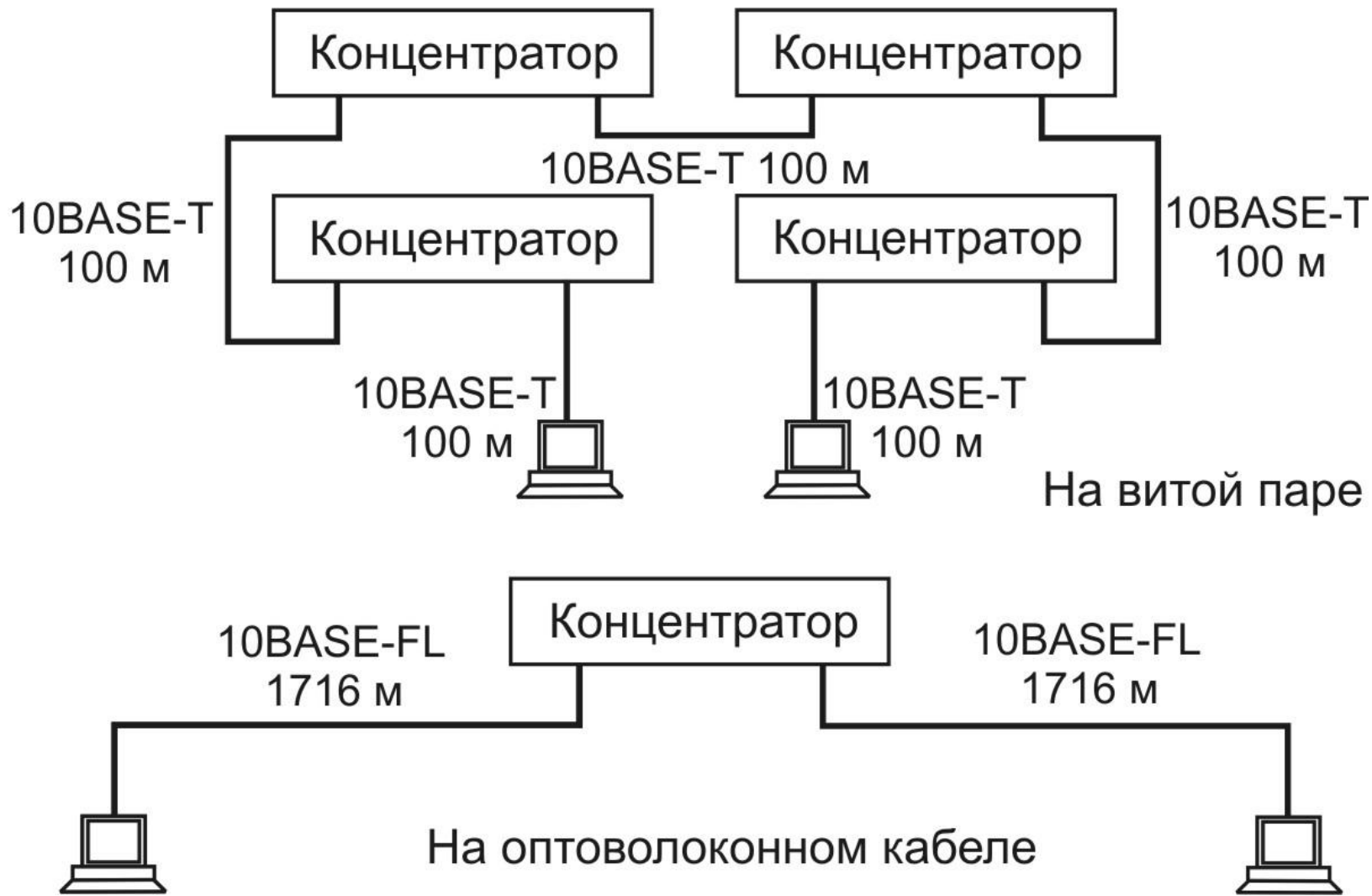
Сегмент	Начальный	Промежуточный
10BASE2	16	11
10BASE5	16	11
10BASE-T	16	11
10BASE-FL	11	8

Сокращение IPG:

$$\Delta IPG = \sum \Delta IPG_s \leq 49 \text{ BT}$$

Учитываются только начальный и промежуточные сегменты пути. Конечный сегмент не учитывается.

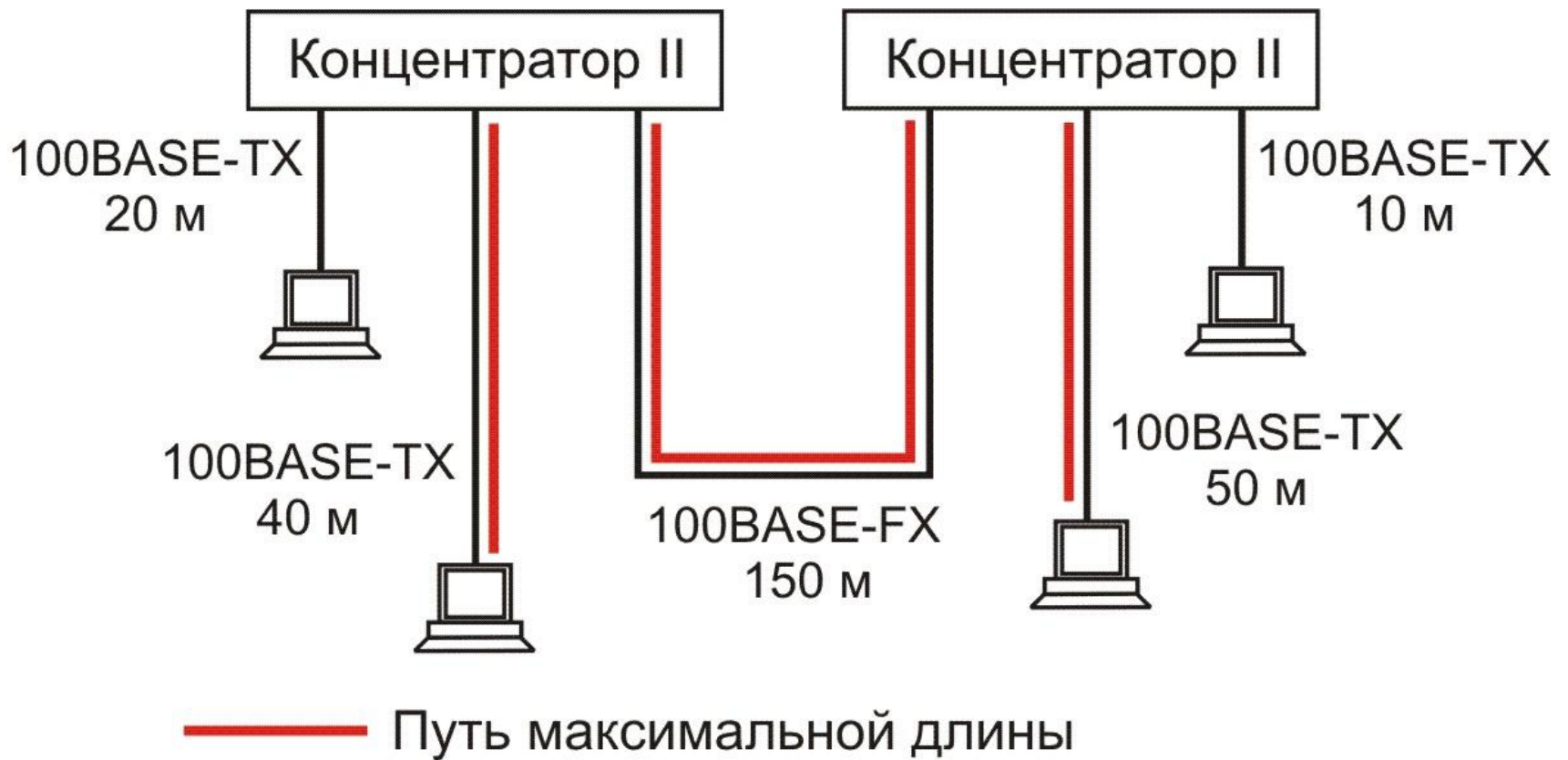
Сети Ethernet максимальной длины



Методы решения проблем Ethernet

- Уменьшение длины кабелей для сокращения PDV;
- Уменьшение количества концентраторов для сокращения PDV и ΔIPG ;
- Выбор кабеля с наименьшей задержкой для сокращения PDV (разница задержек достигает 10%);
- Разбиение сети на две части или более с помощью коммутаторов или мостов;
- Использование полнодуплексного обмена;
- Переход на другую локальную сеть, например, FDDI (требуется мосты).

Путь максимальной длины Fast Ethernet



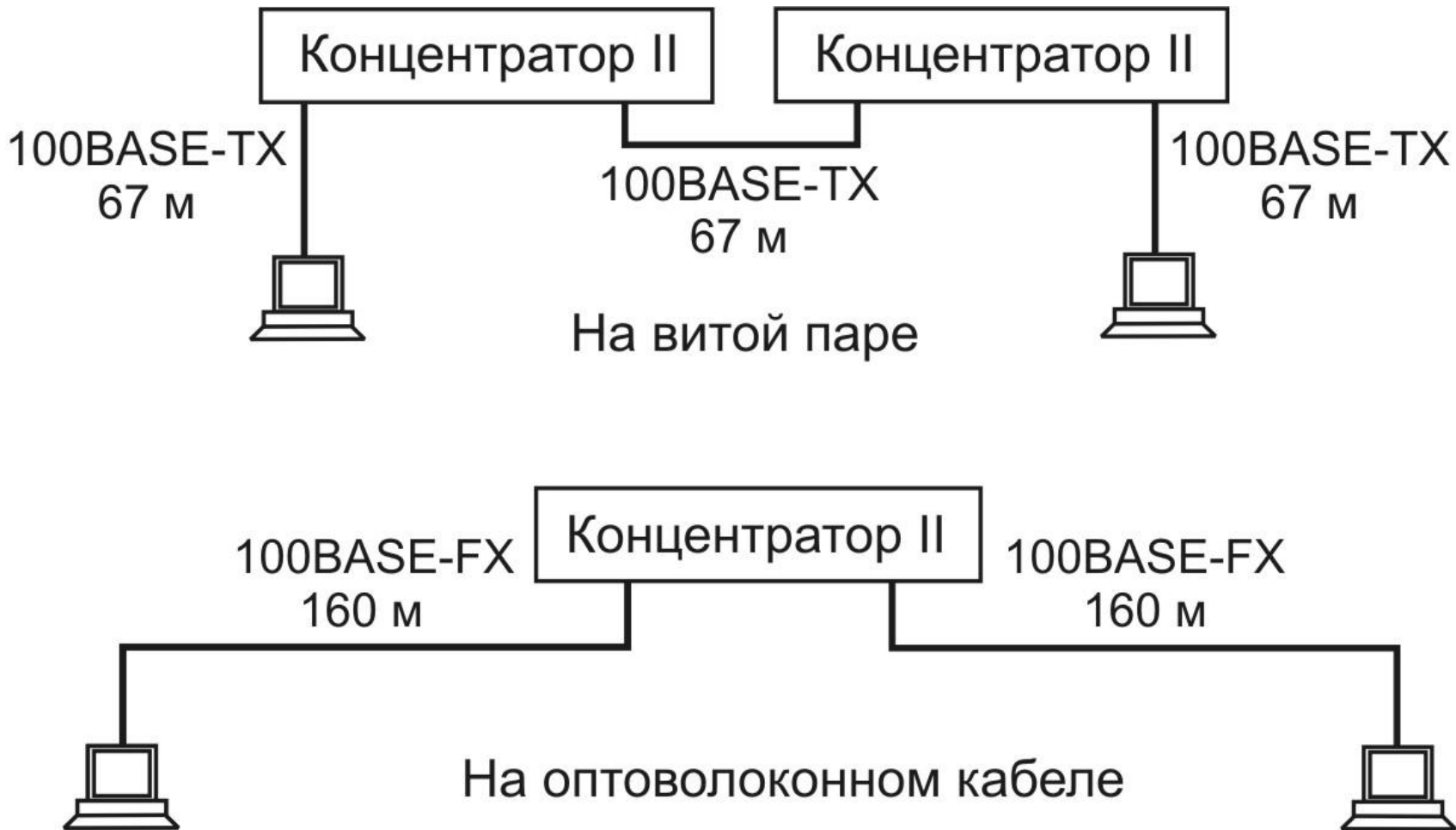
Расчёт PDV для Fast Ethernet

Оборудование	Задержка (двойная)
Два адаптера TX/FX	100
Два адаптера T4	138
Один адаптер T4 и один TX/FX	127
Концентратор I	140
Концентратор II (TX/FX)	92
Концентратор II (T4)	67

Кабель сегмента	Задержка на метр (двойная)
Кабель UTP категории 3	1,14
Кабель UTP категории 5	1,112
Оптоволоконный кабель	1,0

$$PDV = \sum PDV_A + \sum PDV_K + \sum PDV_C \leq 512 \text{ BT (508 BT)}$$

Сети Fast Ethernet максимальной длины



Методы решения проблем Fast Ethernet

- Уменьшение длины кабелей для сокращения PDV;
- Уменьшение количества концентраторов для сокращения PDV;
- Выбор кабеля с наименьшей задержкой для сокращения PDV (разница задержек достигает 10%);
- Разбиение сети на две части или более с помощью коммутаторов или мостов;
- Использование полнодуплексного обмена;
- Переход на другую локальную сеть, например, FDDI (требуется мосты).

Полнодуплексный режим обмена

- Пропускная способность сети вдвое больше (200 Мбит/с вместо 100 Мбит/с, 20 Мбит/с вместо 10 Мбит/с);
- Отсутствие коллизий в сети (независимость двух каналов связи);
- Нет необходимости в методе управления обменом в сети;
- Гарантированная величина времени доступа — не более интервала IPG;
- Нет ограничения на длину сети, связанного с PDV, остаётся только ограничение из-за затухания сигнала;
- Совместимость с полудуплексным режимом — автоматическая (Auto-Negotiation);
- Требуется более сложная и дорогая аппаратура.

Алгоритм полнодуплексной передачи

