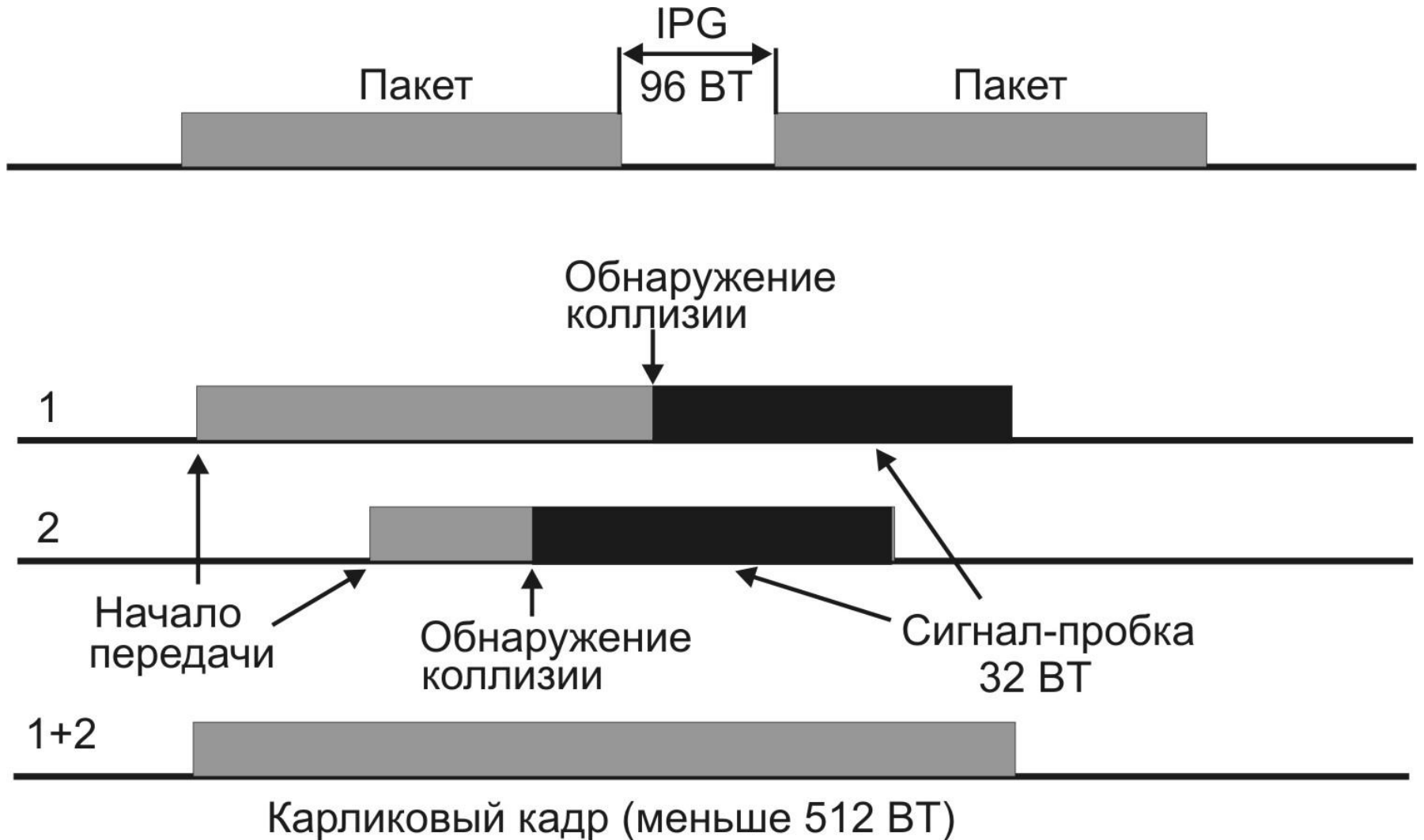


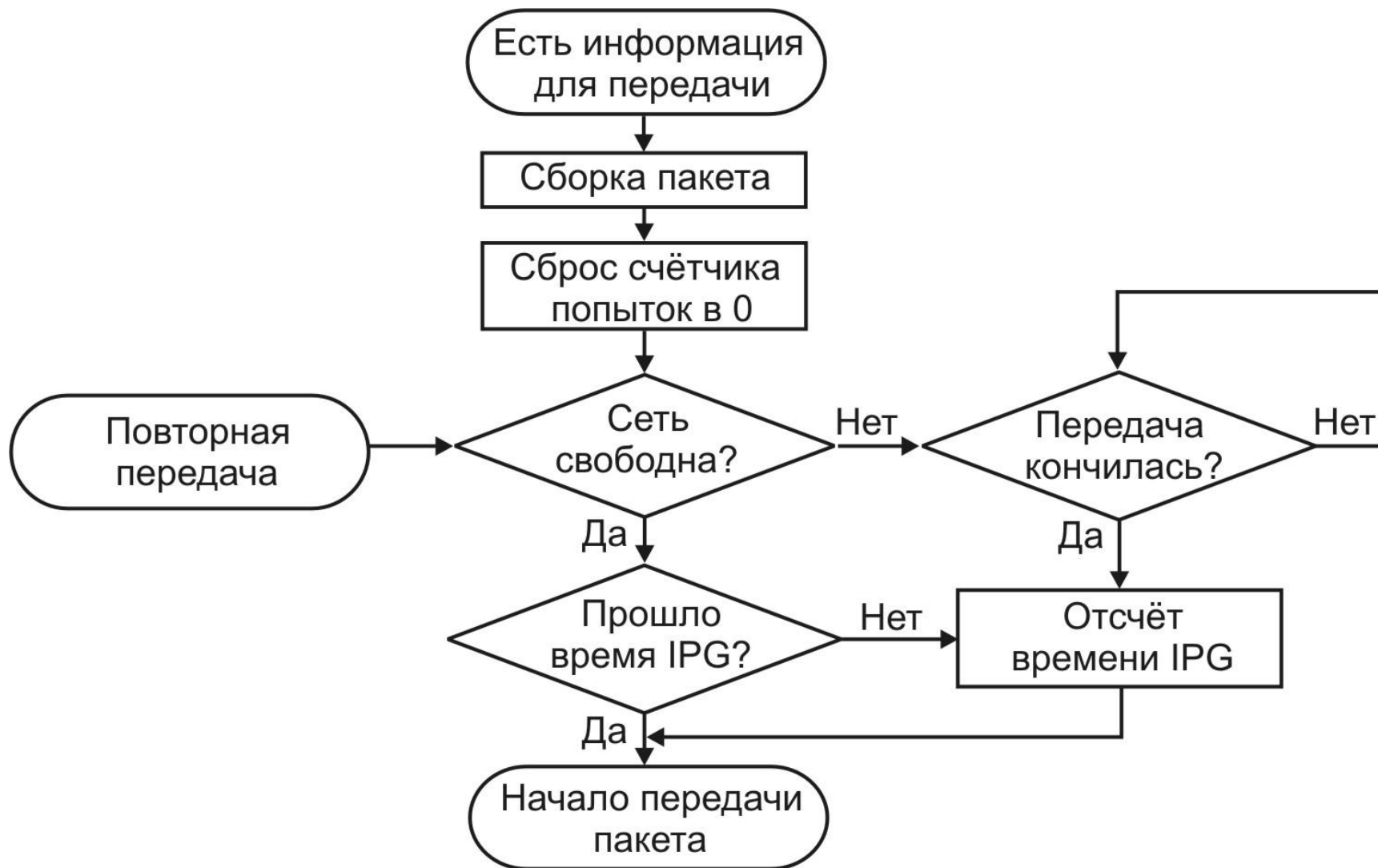
# Метод доступа CSMA/CD (основные понятия)

- **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





# Вычисление задержки повтора передачи

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

- N — значение счетчика попыток;
- RAND (a, b) — генератор случайных нормально распределенных целых чисел в диапазоне a...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

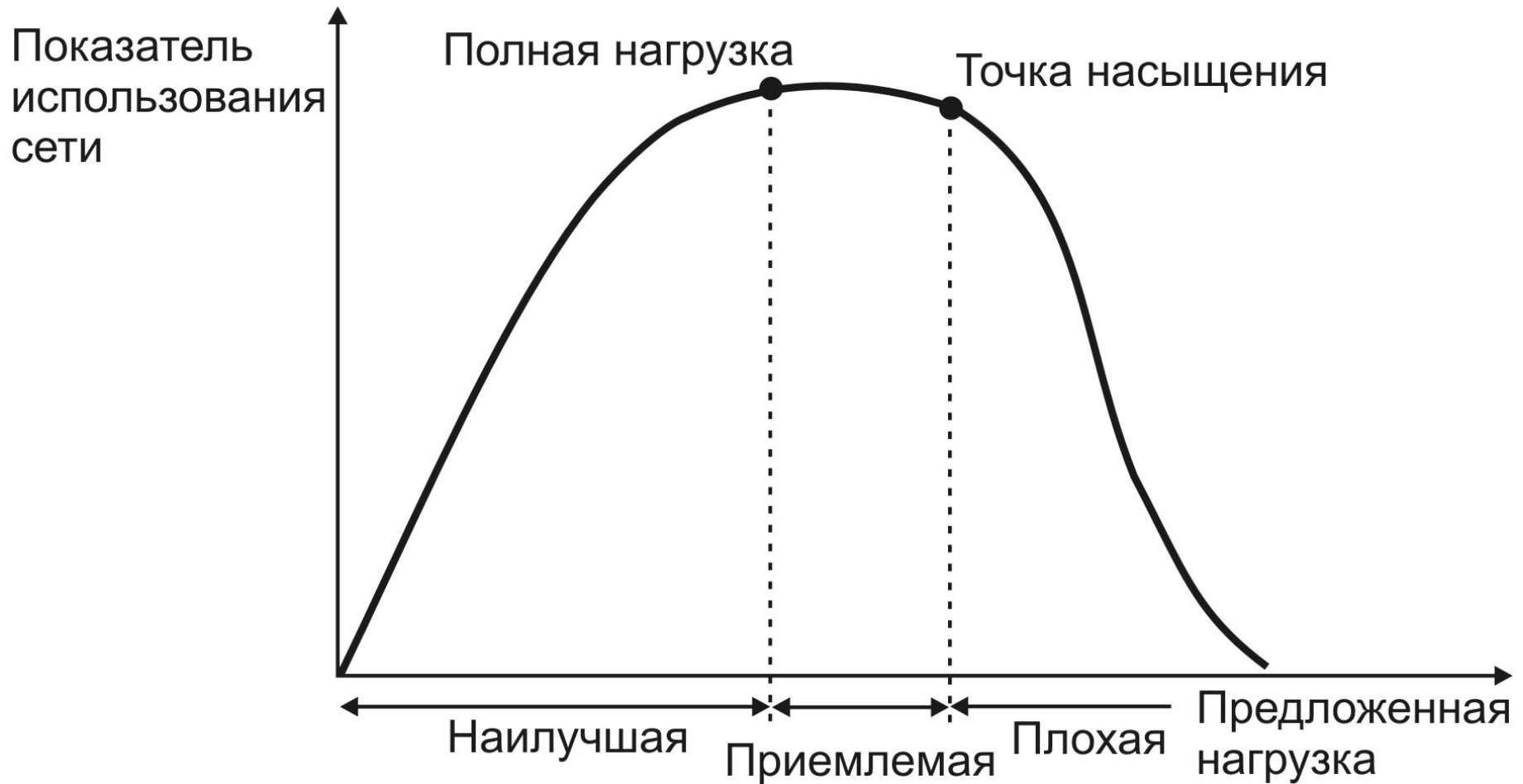
# Признаки искажённого коллизией кадра

- 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)

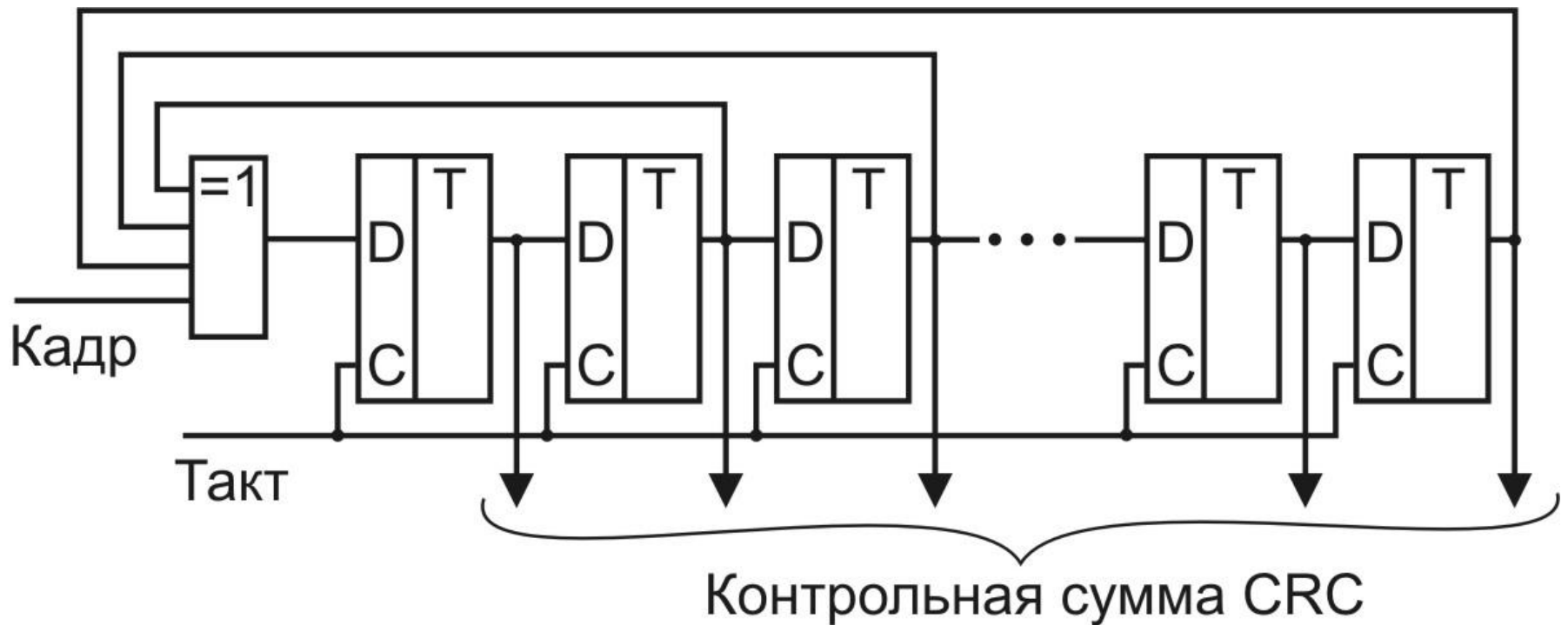
Образующий полином

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

Сложение  
по модулю 2

Остаток  
(контрольная сумма)

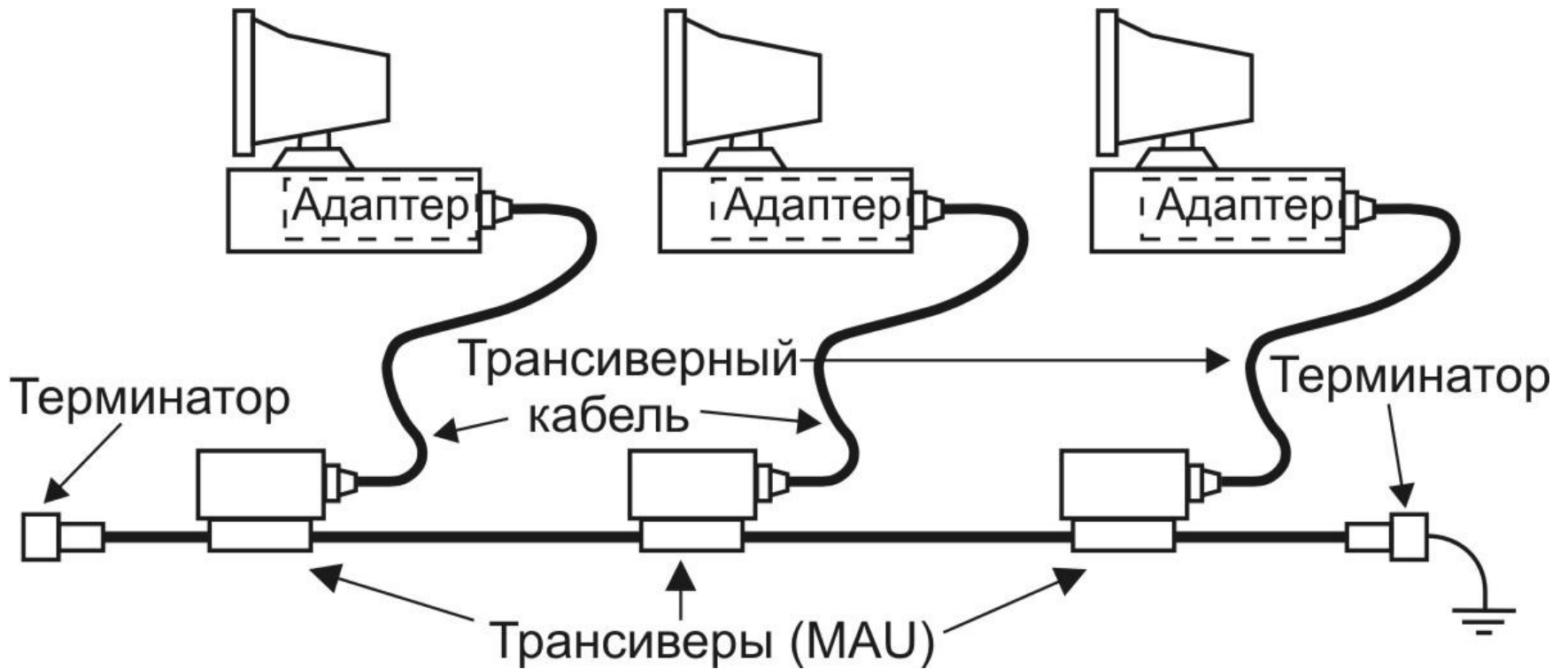
# Реализация вычислителя контрольной суммы



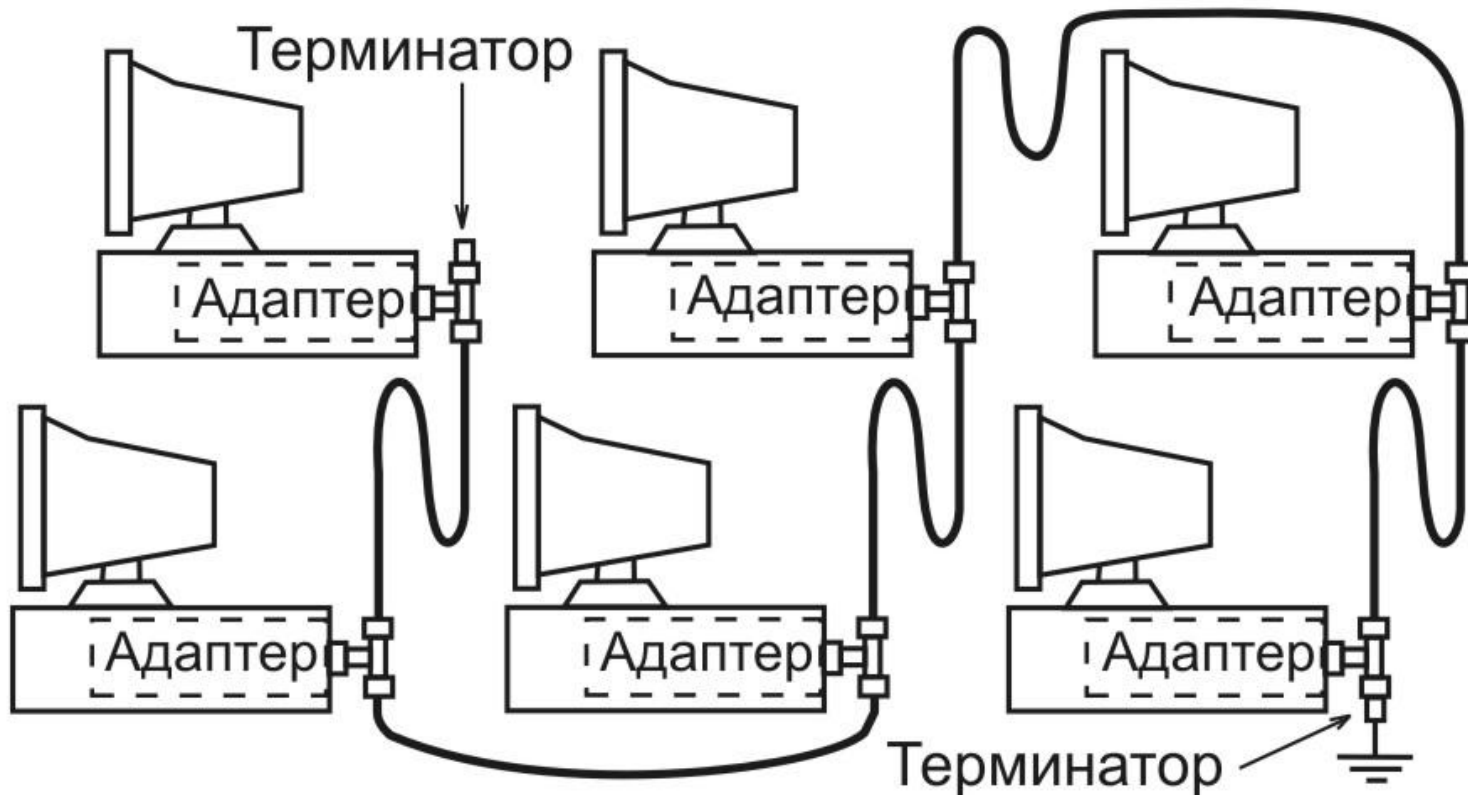
# Выбор образующего полинома

- 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)

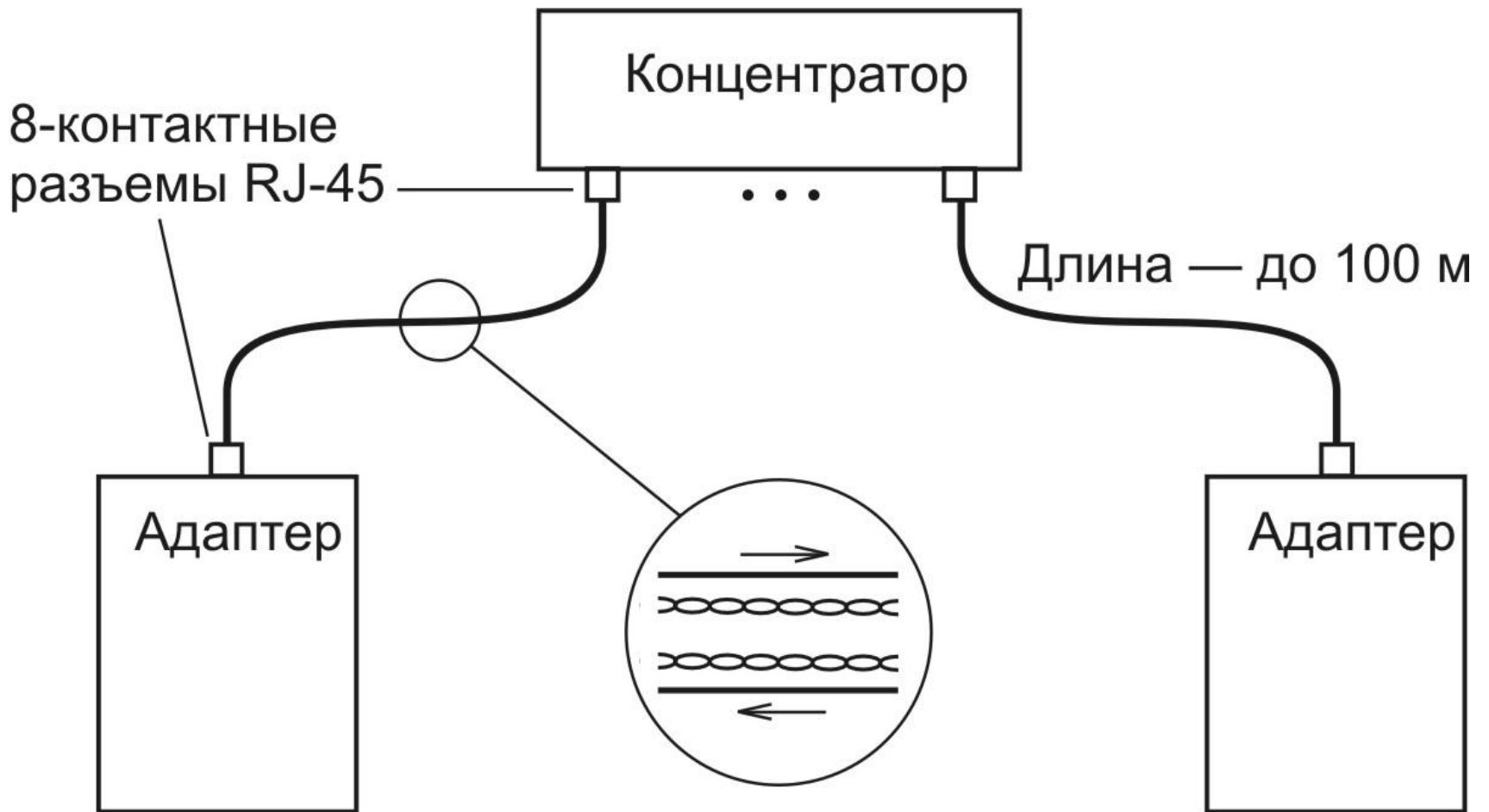


# Параметры сегментов 10BASE5 и 10BASE2

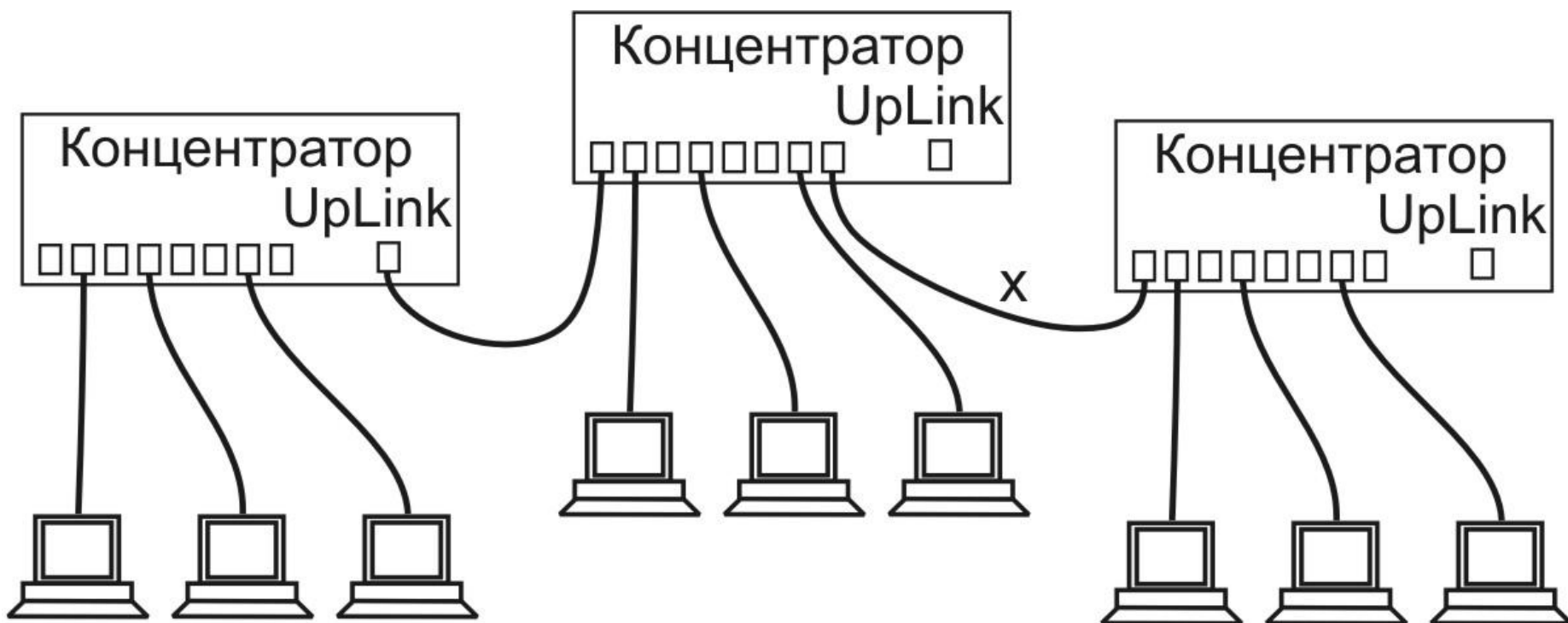
Параметр	10BASE5	10BASE2
Среда передачи	Толстый КК (10 мм, 50 Ом)	Тонкий КК (5 мм, 50 Ом)
Длина сегмента	До 500 м (до 5 сегментов)	До 185 м (до 5 сегментов)
Абонентов на сегмент	До 100	До 30
Расстояние между абонентами	Не менее 2,5 м	Не менее 0,5 м
Внешний трансивер	Нужен MAU (кабель до 50 м)	Не нужен



# Сегменты 10BASE-T



# Объединение сегментов 10BASE-T



# Контакты разъёма RJ-45 сегмента 10BASE-T

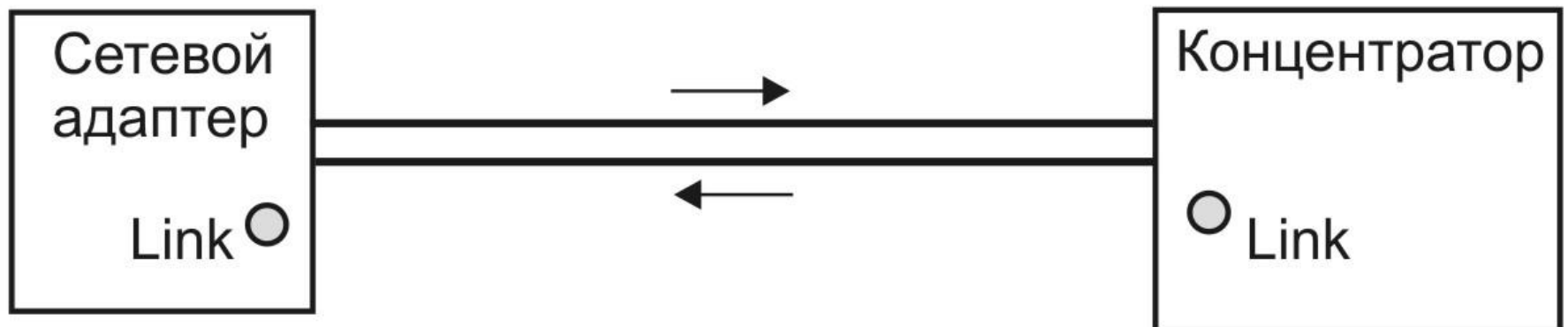
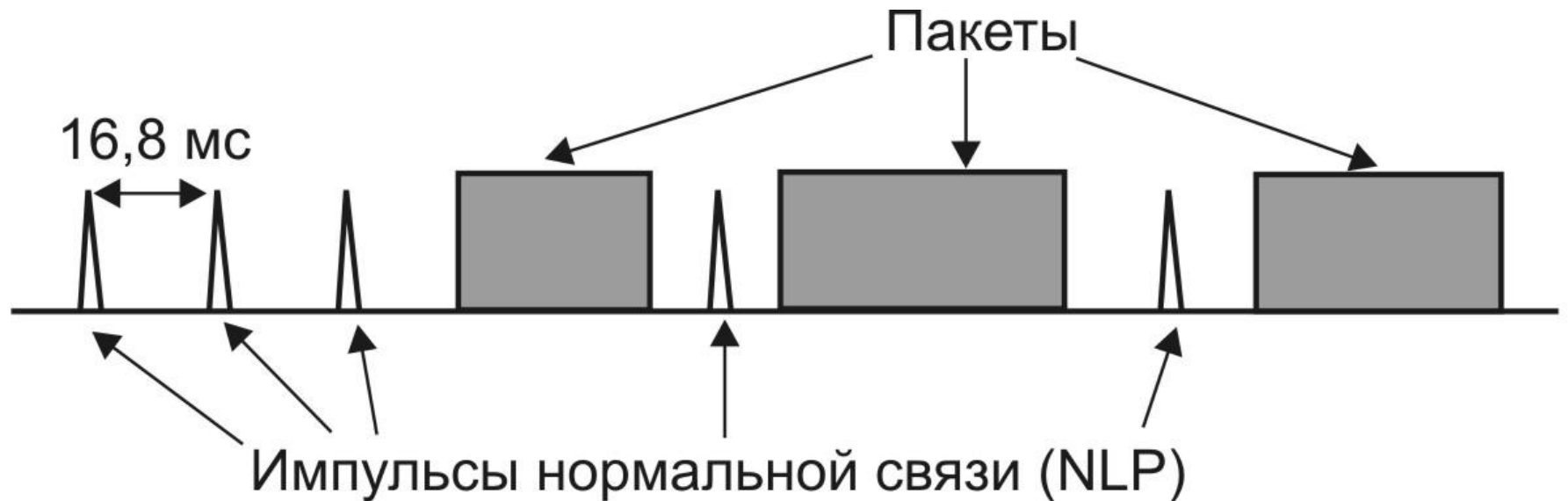


Контакт	Назначение	Цвет провода
1	TX+	Белый/оранжевый
2	TX-	Оранжевый/белый
3	RX+	Белый/зеленый
4	Не используется	—
5	Не используется	—
6	RX-	Зеленый/белый
7	Не используется	—
8	Не используется	—

# Прямой и перекрёстный кабели 10BASE-T



# Контроль целостности линии связи 10BASE-T



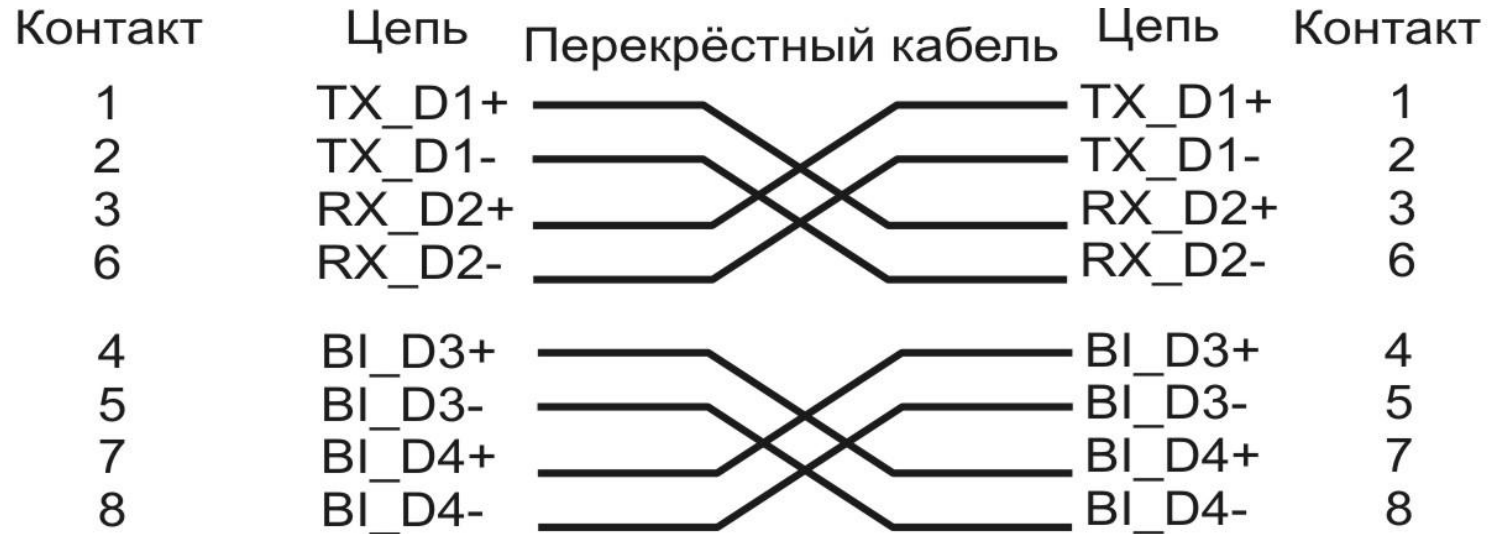
# Контакты разъёма RJ-45 сегмента 100BASE-T4



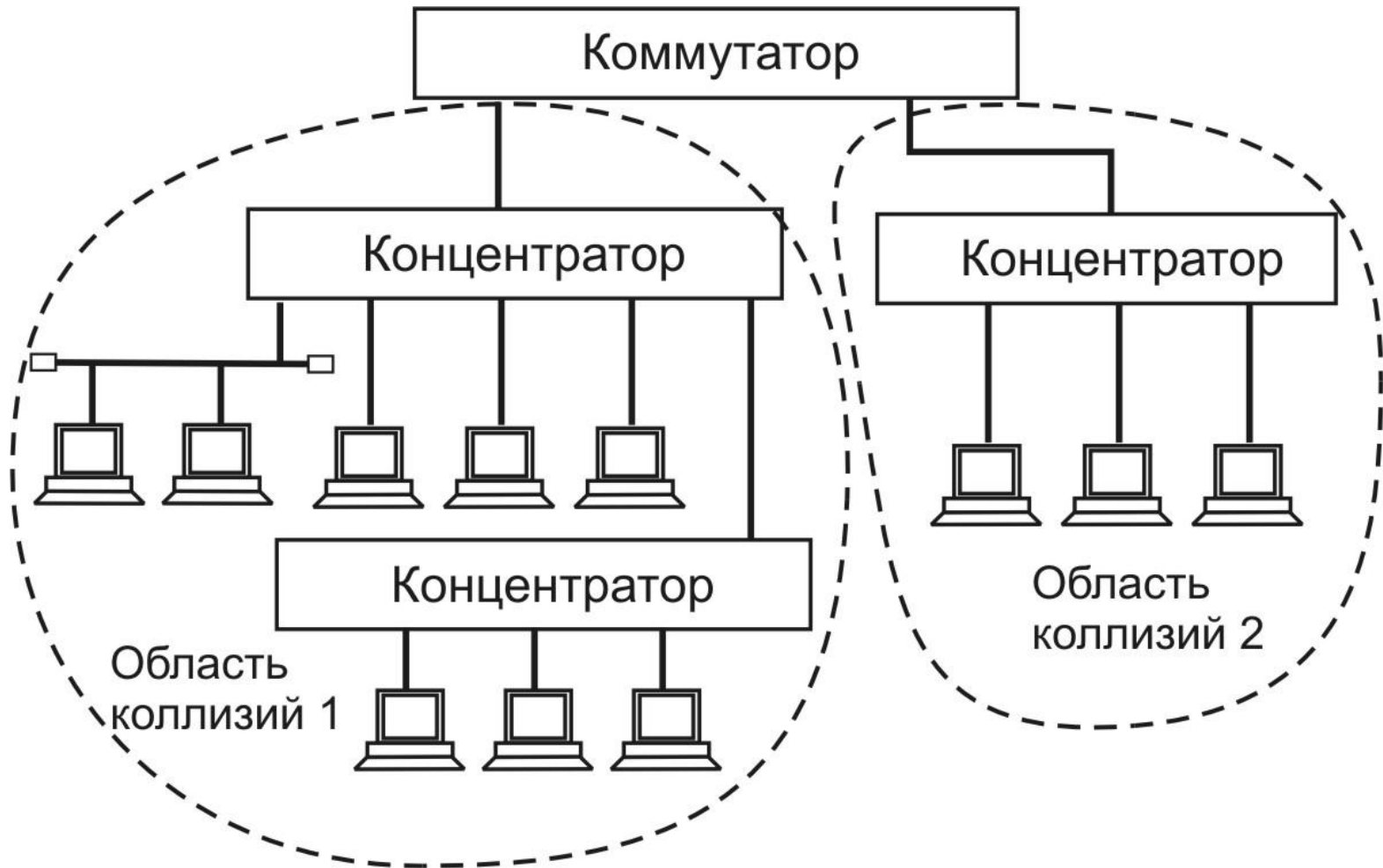
Контакт	Назначение	Цвет провода
1	TX_D1+	Белый/оранжевый
2	TX_D1-	Оранжевый/белый
3	RX_D2+	Белый/зеленый
4	BI_D3+	Голубой/белый
5	BI_D3-	Белый/голубой
6	RX_D2-	Зеленый/белый
7	BI_D4+	Белый/коричневый
8	BI_D4-	Коричневый/белый

# Прямой и перекрёстный кабели

## 100BASE-T4



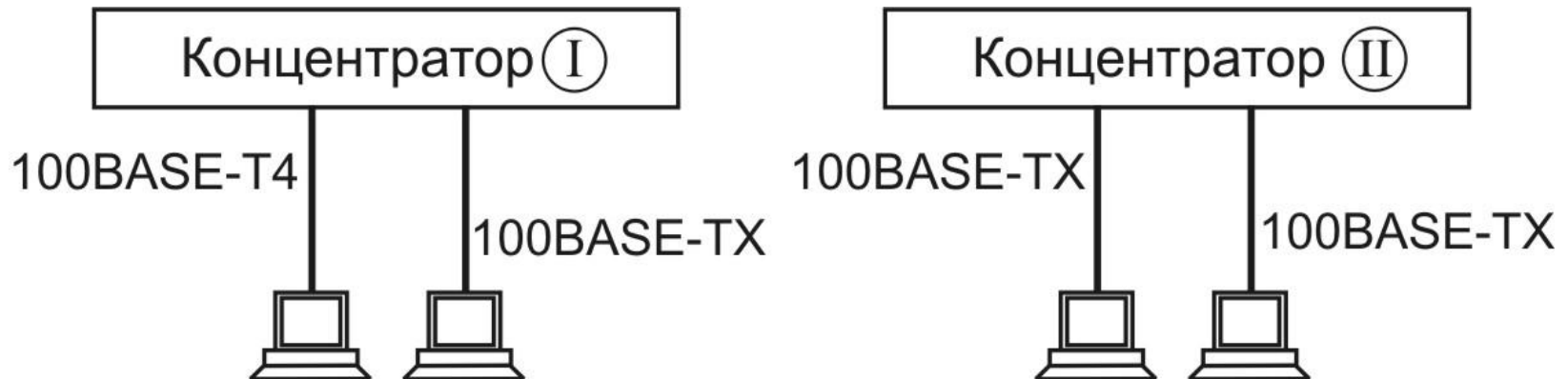
# Область коллизии (Collision Domain)





# 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)  $512 \text{ BT} = 0,512 \text{ мкс}$ ;

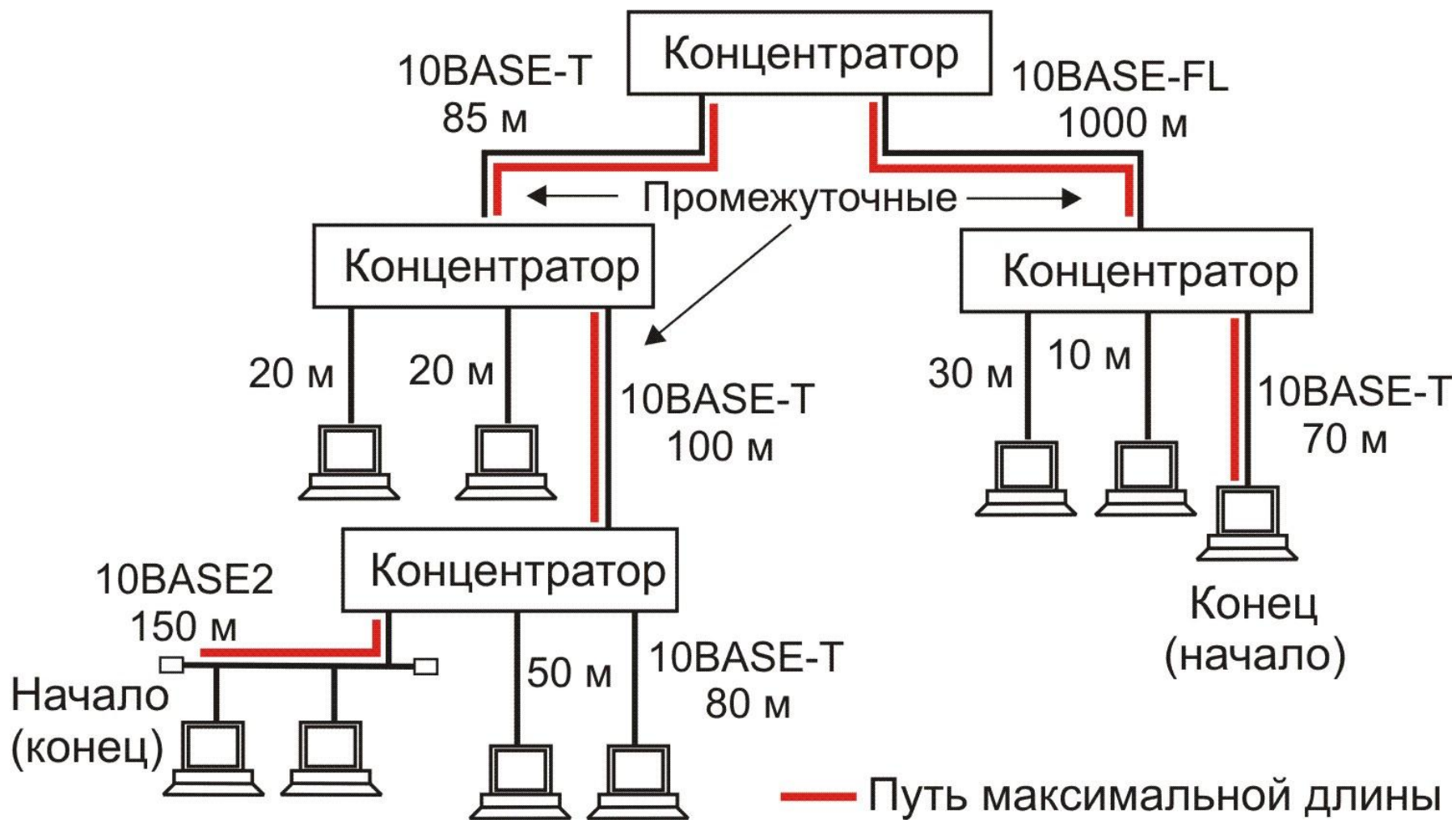
Одинарная задержка в кабеле =  $0,256 \text{ мкс}$ ;

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 ( $\Delta IPG$ ) 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

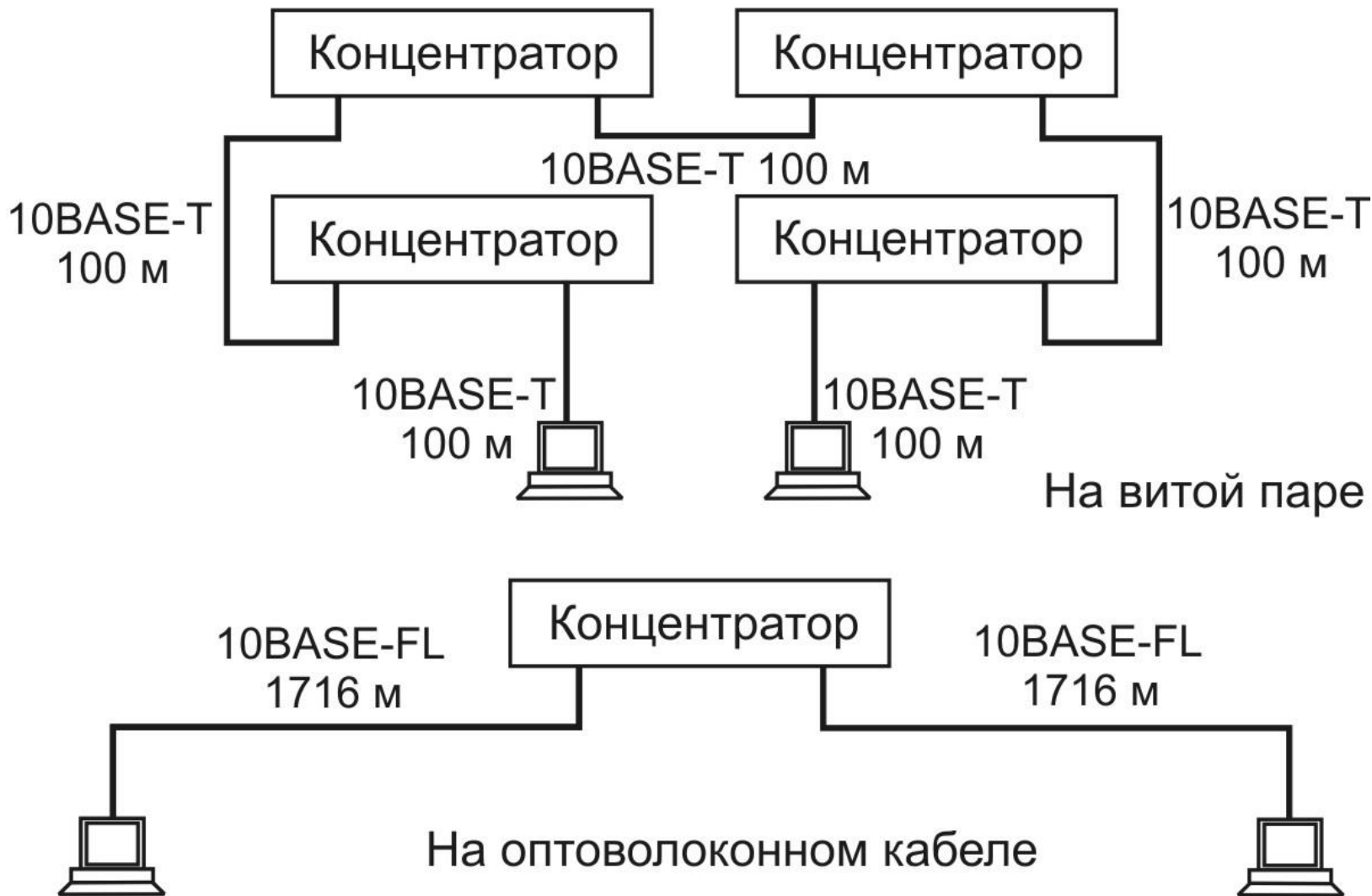
Сегмент	Начальный	Промежуточный
10BASE2	16	11
10BASE5	16	11
10BASE-T	16	11
10BASE-FL	11	8

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

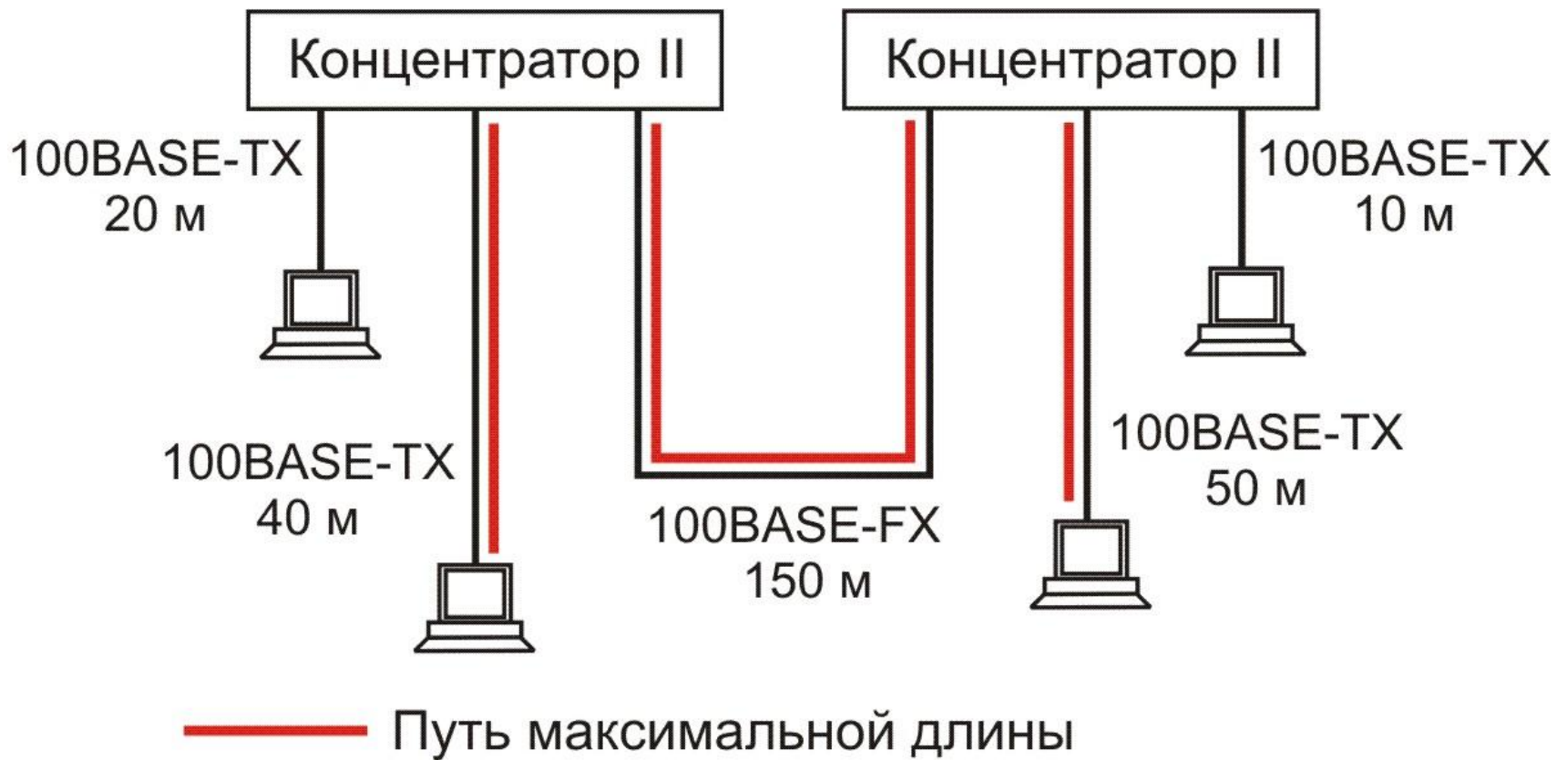


# Методы решения проблем Ethernet

- Уменьшение длины кабелей для сокращения PDV;
- Уменьшение количества концентраторов для сокращения PDV и  $\Delta IPG$ ;
- 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



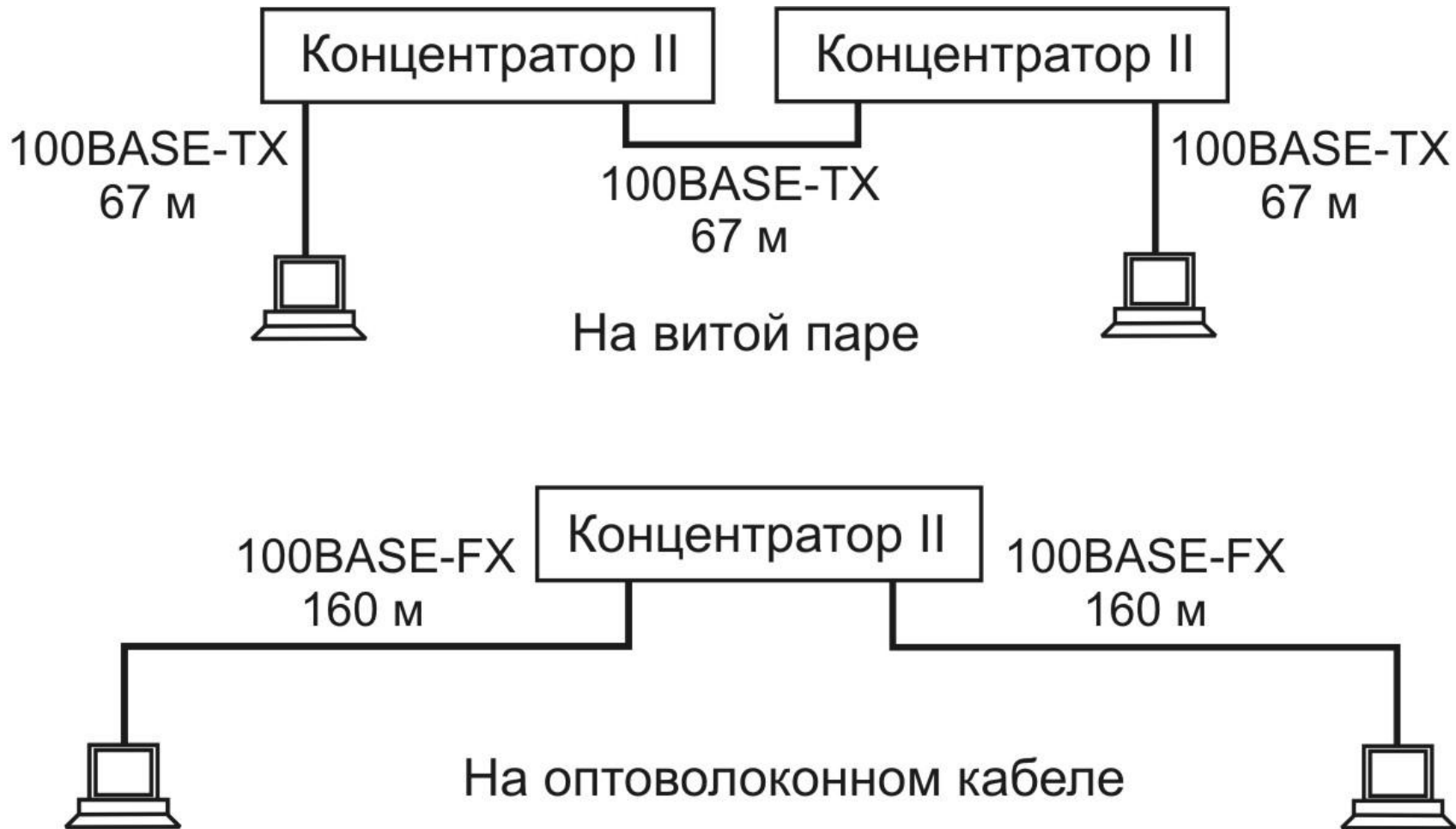
# Расчёт PDV для Fast Ethernet

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

