

# Лекция

## Коммутаторы пакетов

# Технологии локальных сетей

- Ethernet
- Token Ring, FDDI
- Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN
- Gigabit Ethernet



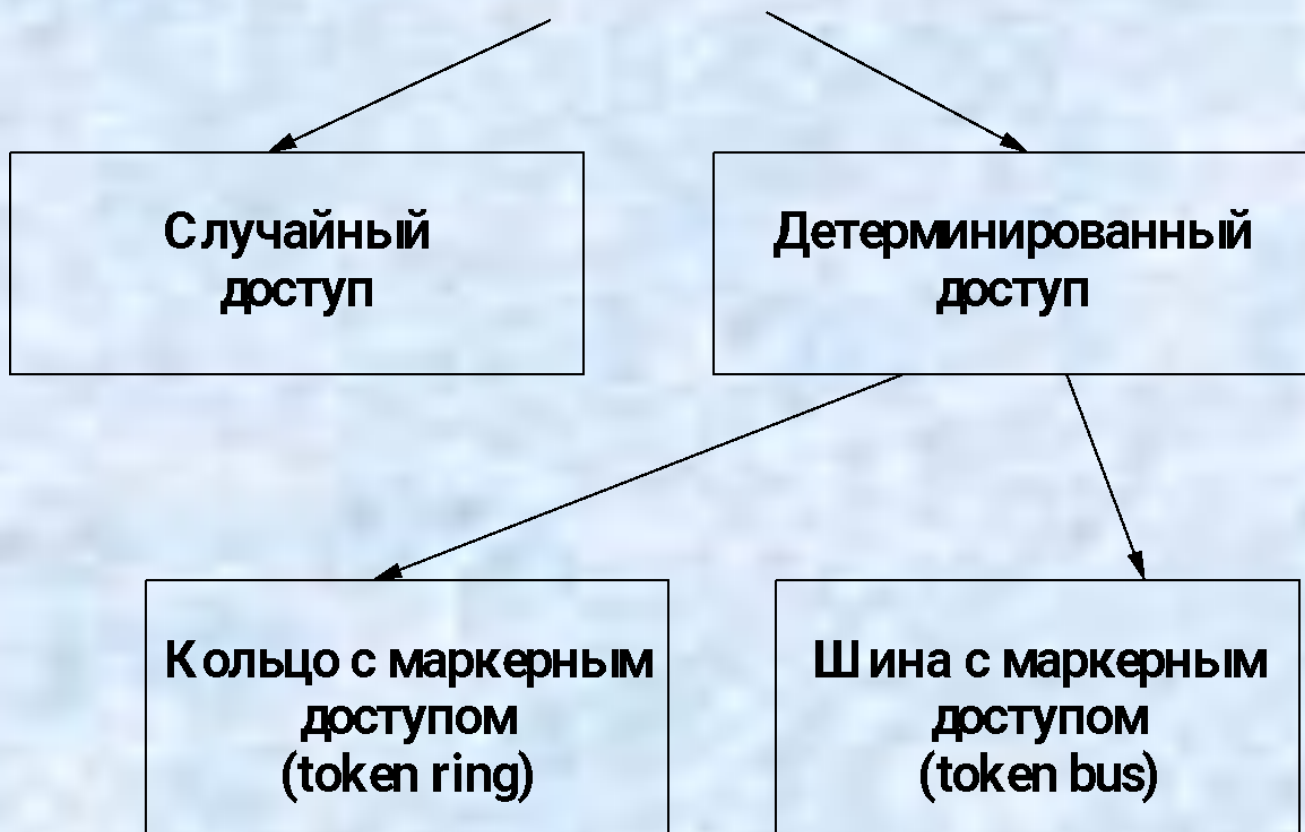
## Технологии локальных сетей

Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN,  
Fast Ethernet, Gigabit Ethernet

– много общего:

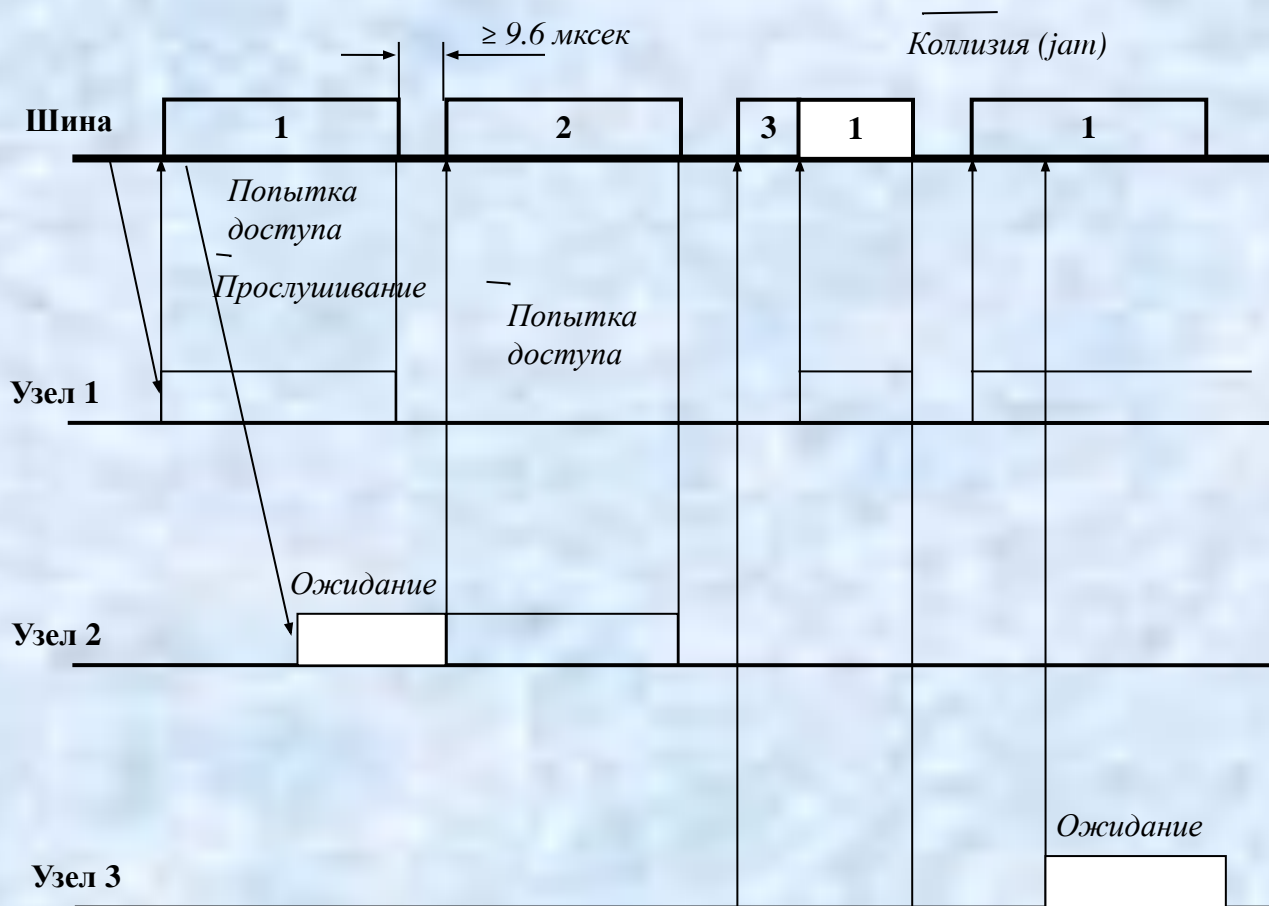
- Расстояния между узлами сети: 100 м – 2000 м
- Единый формат адреса – 6 байт, уникальность обеспечивается производителем сетевого адаптера
- Разделяемая среда для конечных узлов (компьютеров) – использование методов доступа Media Access Control (MAC)
- Качественные кабели для связи компьютеров:
  - Высокая скорость протоколов – 10, 16, 100, 1000 Мбит/с
  - Простая логика протоколов – без восстановления потерянных и искаженных кадров, так как эти события крайне редки

## Методы доступа к физической среде (уровень МАС)



# Метод случайного доступа Ethernet

Ориентирован на среду типа "общая шина"

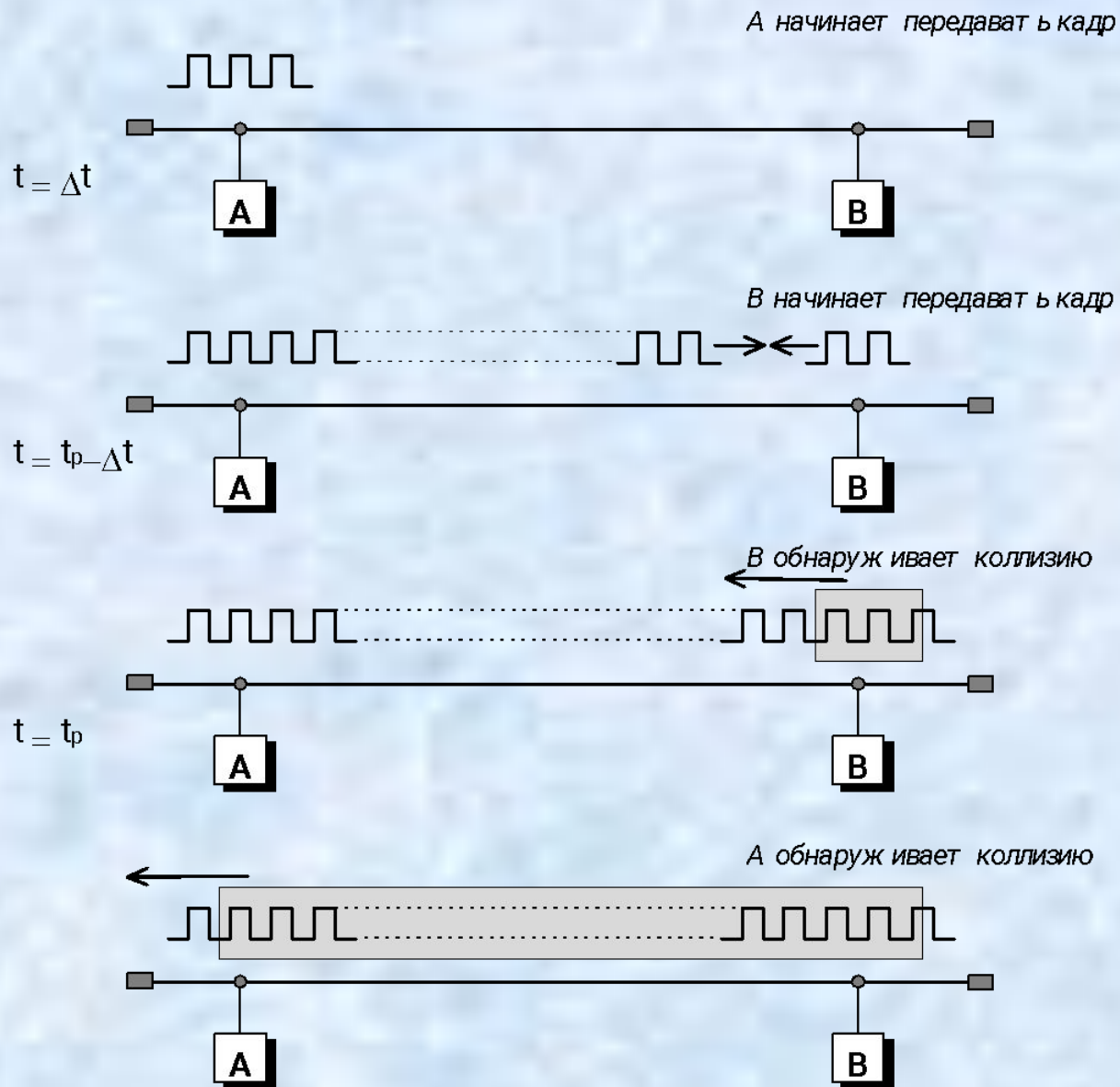


Пауза =  $L \times$  Интервал отсрочки

$L \rightarrow [0, 2^N]$ ,  $N$  - номер попытки,  $N \leq 10$

Пауза =  $[0, 1024 \times T_{\text{отсрочки}}] = [0, 524288] = [0 \text{ мкс}, 0.52 \text{ с}]$

# Возникновение коллизии



$t_p$  - задержка распространения сигнала между станциями A и B



## **Особенности случайного метода доступа Ethernet**

**(CSMA/CD – Carrier Sense Multiply Access with  
Collision Detection)**

### **Преимущества:**

- простой алгоритм  $\Rightarrow$  дешевая и надежная аппаратура*
- ♦ возможность широковещательной передачи пакетов*

### **Недостатки:**

- большие потери из-за коллизий и ожиданий при нагрузке сети  $> 50\%$*
- ограниченная длина сети:  
 $2 \times (\text{время распространения сигнала между узлами}) \leq$   
время передачи кадра – иначе коллизия может быть не связана с  
передачей своего кадра!*

# Форматы кадров Ethernet

## Кадр Ethernet DIX (II)

6	6	2	4	6-15	00	4	
DA	SA	T		Data		FCS	

Адрес назначения

Адрес источника

Тип протокола,  
которому предназначены  
данные

Данные

Контрольная  
сумма

## Кадр Novell 802.3/ Raw 802.3

6	6	2	4	6-15	00	4	
DA	SA	L		Data		FCS	

Длина кадра

## Кадр 802.3/ LLC – стандарт IEEE

6	6	2	1		1	1(2)	46-14	97	4	
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Cont.		Data		FCS	

Заголовок LLC

Тип протокола,  
которому предназначены данные



## Кадр Ethernet SNAP – универсальный

6	6	2	1		1	1(2)	3	2	46-1492	4	
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Cont.	OUI	T	Data	FCS		

Код организации,  
стандартизирующей значения  
поля T,

Код IEEE – 00 00 00

Тип протокола,  
которому предназначены  
данные



## Типы адресов Ethernet

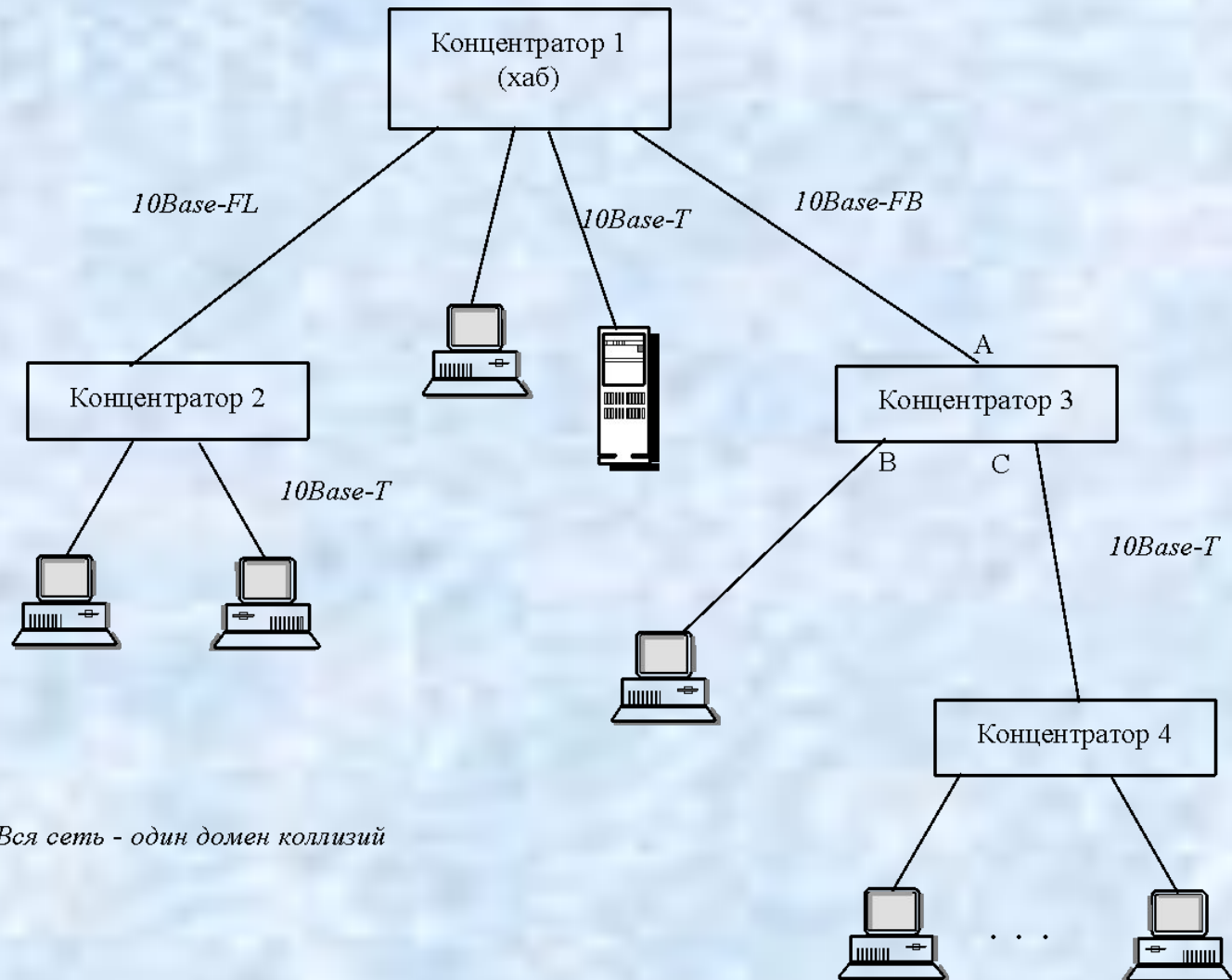
- ◆ индивидуальный - unicast (0 в старшем разряде)
- ◆ широковещательный - broadcast (11...1111)
- ◆ групповой - multicast (10.....)

*Разница между групповой рассылкой и широковещанием весьма существенна: кадр, предназначенный для групповой рассылки, посылается некоторой группе станций Ethernet; широковещательный же кадр получают абсолютно все станции сети.*

# Использование кадров Ethernet различными стеками протоколов

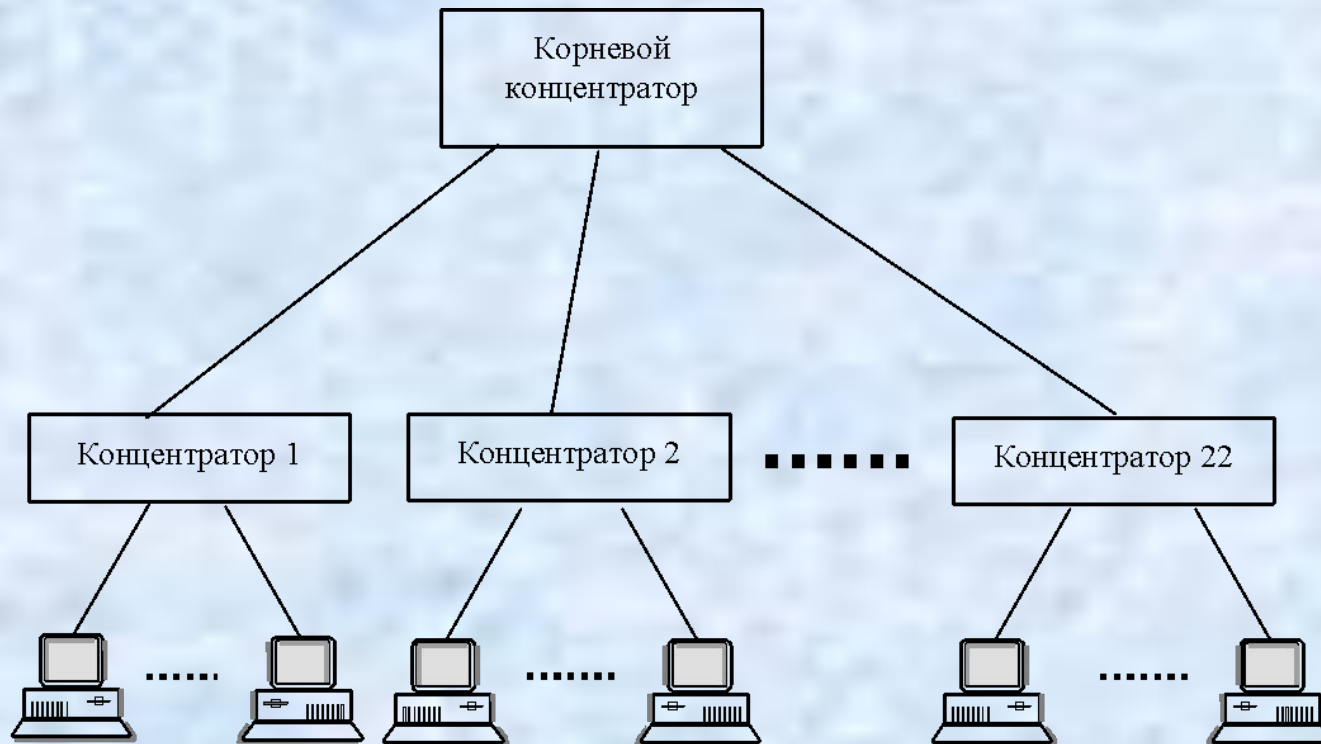
Тип кадра	Сетевые протоколы
Ethernet II	IPX, IP, AppleTalk Phase I
Ethernet 802.3	IPX
Ethernet 802.2	IPX, FTAM
Ethernet SNAP	IPX, IP, AppleTalk Phase II

# Иерархическое соединение концентраторов Ethernet

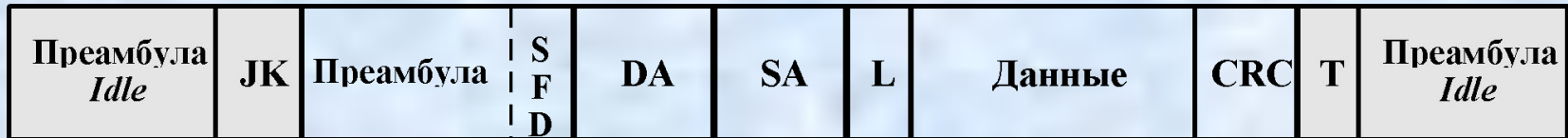


*Вся сеть - один домен коллизий*

# Узлы в сети Ethernet на концентраторах



# Формат кадра Fast Ethernet



— *первый байт преамбулы*

**JK** – ограничитель начала потока значащих символов

**T** – ограничитель конца потока значащих символов

SFD – ограничитель длины кадра

L – двухбайтовое поле (длина поля данных)

T – двухбайтовое поле (тип кадра)



# Gigabit Ethernet

- Формат кадра – прежний
- Существуют полудуплексная (применяется редко) и полнодуплексные версии
- Минимальный размер кадра увеличен с 64 до 512 байт -> 200 м домен коллизий
- Введен Burst Mode – несколько кадров можно передавать подряд, без межкадрового интервала – до 8192 байта, кадры м.б. меньше 512 байт
- Физическая среда:
  - 1000Base-SX (Short Wavelength, 850 нм): многомодовое волокно - 220/500 м
  - 1000Base-LX (Long Wavelength, 1300 нм): многомодовое волокно – 550 м, одномодовое – до 5000 м
  - Твинаксиал – пара проводников в одном направлении, пара в другом





# Семейство Ethernet

Метод доступа CDMA/CD или Full Duplex

Ф  
И  
з  
и  
ч  
ес  
к  
и  
й  
у  
р  
о  
ве  
н  
ь  
-

## Ethernet

10Base-5

10Base-2

10Base-T

10Base-FL

10Base-FB

## Fast Ethernet

100Base-TX

100Base-T4

100Base-FX

## Gigabit Ethernet

1000Base-SX

1000Base-LX

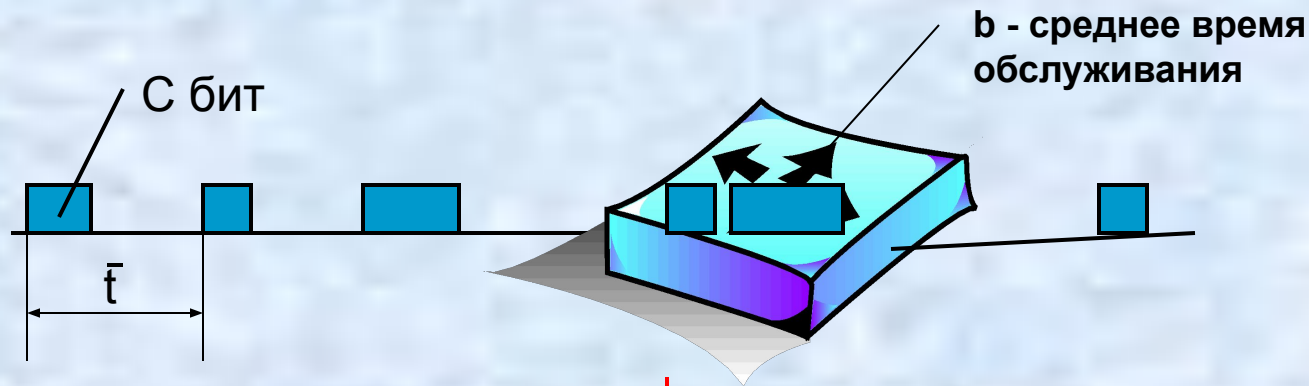
1000Base-TX

**10GB – стандарт активно  
разрабатывается, область  
применения – магистрали  
глобальных сетей**

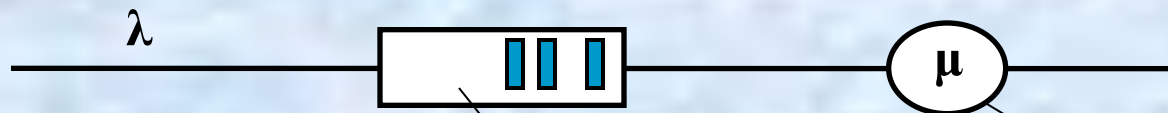
**Конкурент SDH**

# Алгоритмы управления очередями

Применение методов теории массового обслуживания (Queuing Theory) для анализа очередей в сетях



Модель M|M|1

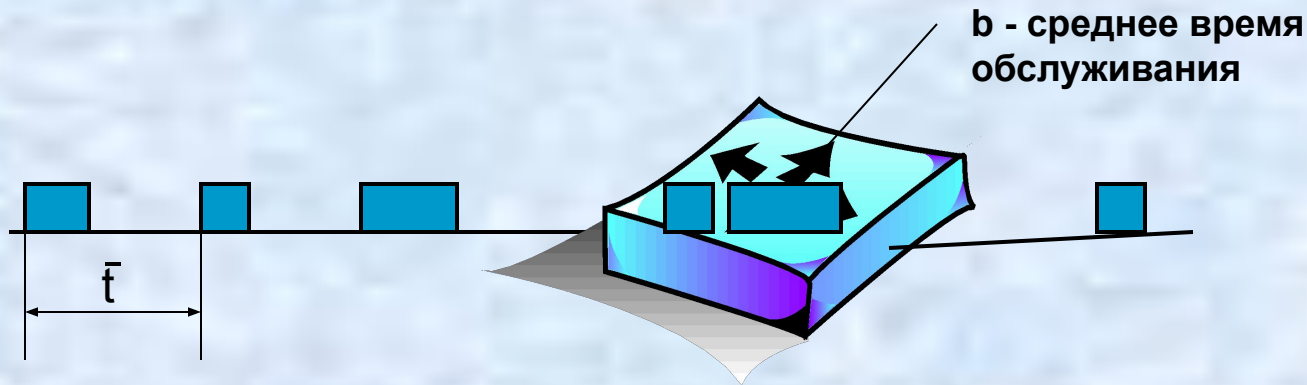


$\lambda = 1/\bar{t}$  - интенсивность поступления заявок-пакетов в обслуживающий прибор, скорость поступления данных  $\lambda \times C$   
 $\mu = 1/b$  - интенсивность выхода заявок-пакетов из обслуживающего прибора,  $b$  - среднее время продвижения пакета

$\rho = \lambda/\mu$  - коэффициент загрузки обл. прибора

## Алгоритмы управления очередями

Применение методов теории массового обслуживания (Queuing Theory) для анализа очередей в сетях



При экспоненциальном распределении времен поступления пакетов

$$A(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

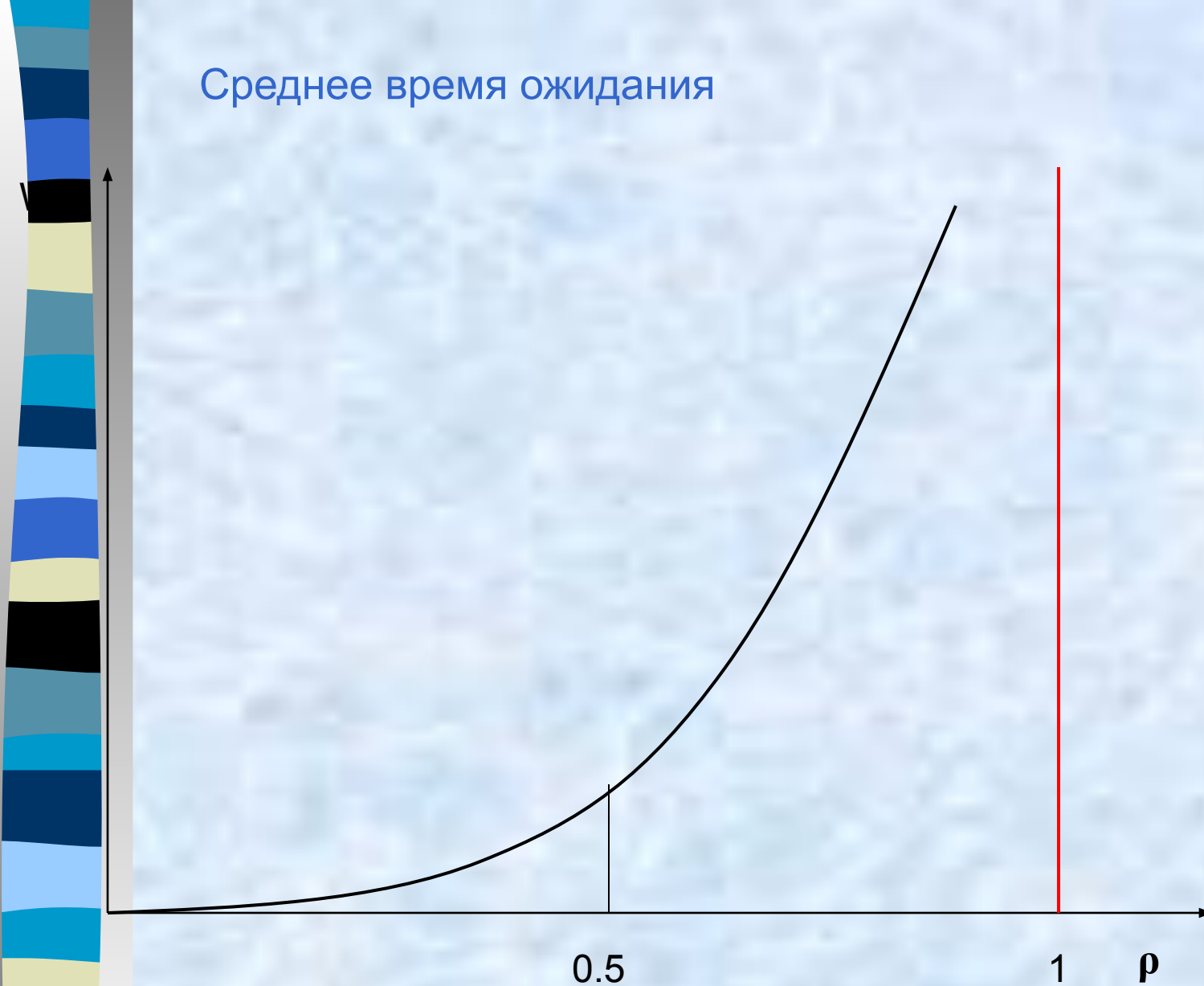
и экспоненциальном распределении времени обслуживания

$$B(x) = 1 - e^{-\mu x}$$

среднее время ожидания  $W$  равно

$$W = \rho b / (1 - \rho)$$

## Среднее время ожидания



При  $\rho < 0.5$  задержки близки к 0 - низкая загрузка сети гарантирует качество обслуживания!





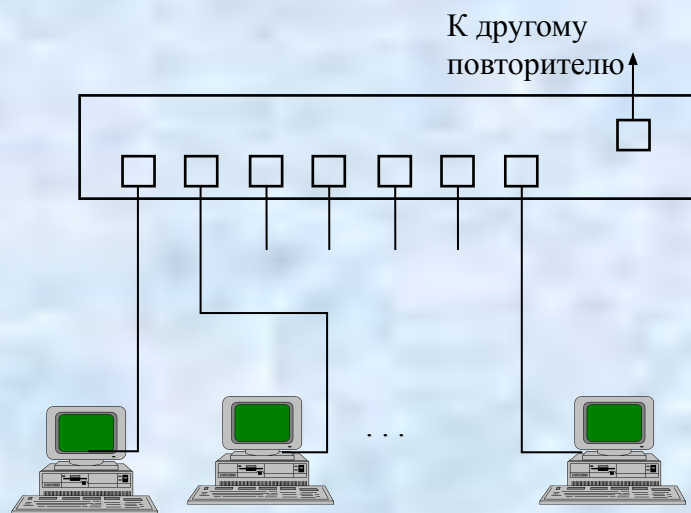
# Активное оборудование физического и канального уровней локальных сетей

- ◆ **Сетевые адаптеры** - обеспечивают сопряжение узлов сети (компьютеров) с линиями связи.
- .. **Повторители (repeaters)** - работают на физическом уровне, улучшают физические характеристики сигналов, удлиняют связи в сети
- .. **Концентраторы (hubs)** - центральными узлы обмена информацией между несколькими конечными станциями сети сегмента сети. Выполняют функции повторителя.
- .. **Мосты (bridges)** - локализуют трафик внутри сегментов сетей. Передают пакет с порта на порт только тогда, когда MAC-адрес принадлежит этому порту
- Коммутаторы (switching) мосты** - осуществляют одновременную передачу пакетов между всеми парами портов по алгоритму моста

# Повторители (repeaters) и концентраторы (hubs)

- Устройства, которые на физическом уровне повторяют (и, как правило, улучшает их электрические характеристики: форму, мощность) сигналы, пришедшие на вход одного из портов:

- ◆ на всех остальных портах (Ethernet)
- ◆

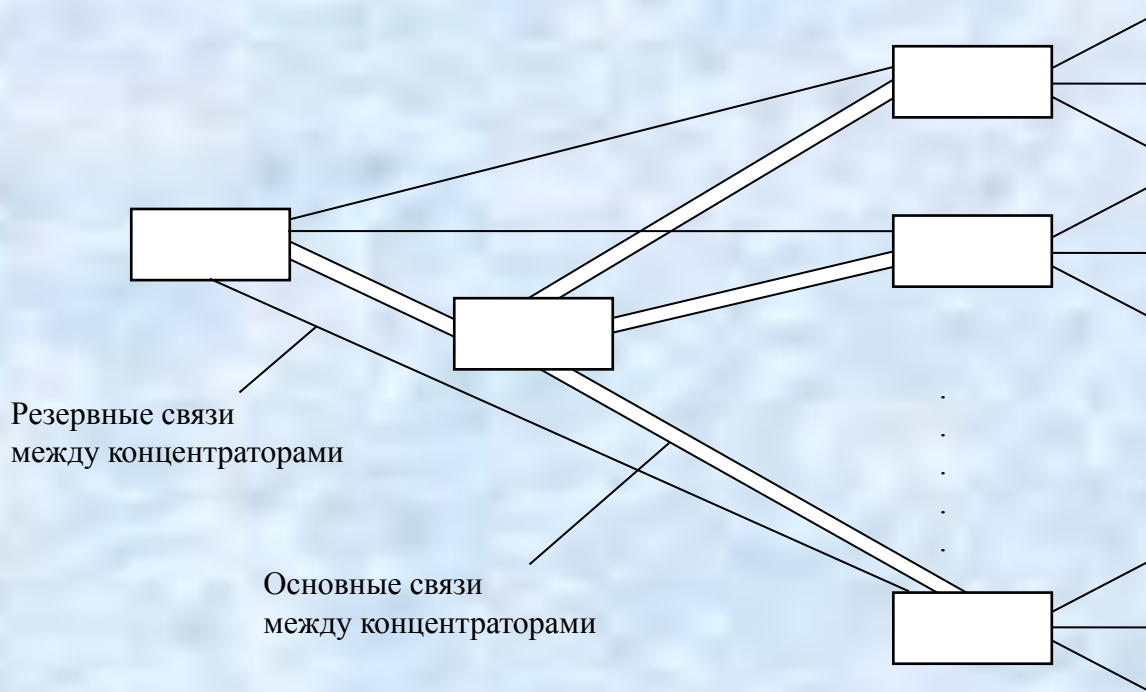


**Концентратор: повторитель + дополнительные функции**

# Дополнительные функции концентраторов

**Автосегментация (partitioning)** - отключение порта при повреждении кабеля данного сегмента или других ошибочных ситуациях

**Поддержка резервных связей:**





# Конструктивы коммуникационных устройств

Стек устройств

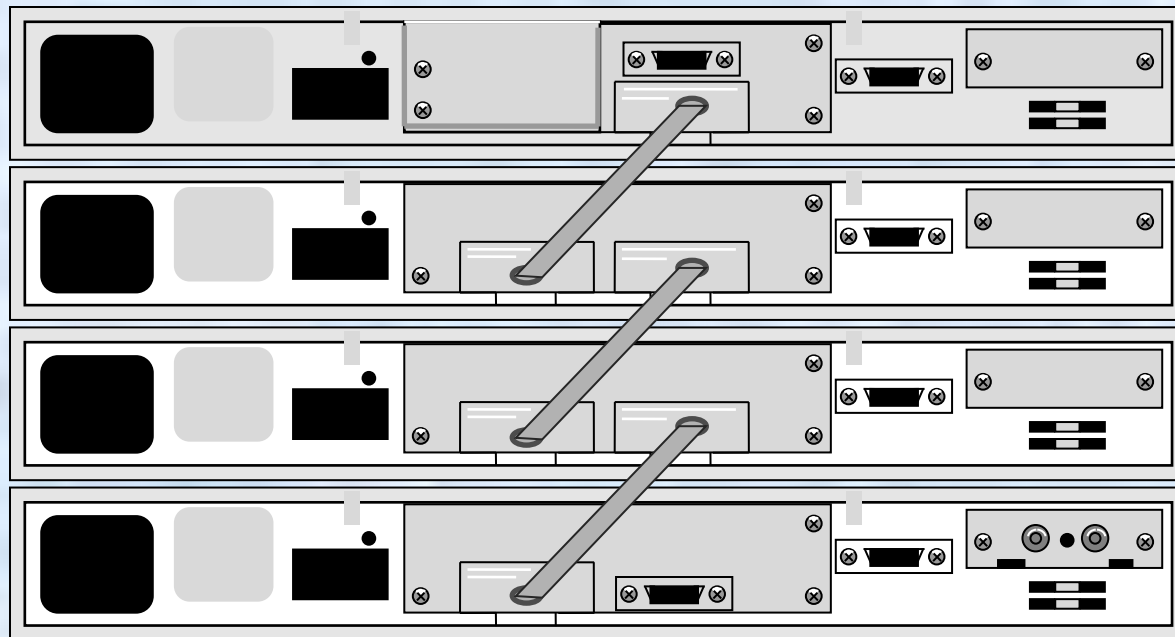


Шасси



С фиксированным набором портов (Standalone)

# Стековые концентраторы



# Логическая структуризация локальных сетей

## ***Преимущества деления сетей на подсети и сегменты:***

- Сегментация уменьшает общий сетевой трафик.*
- Подсети увеличивают гибкость сети.*
- Подсети повышают безопасность данных.*
- Подсети упрощают управление сетью*

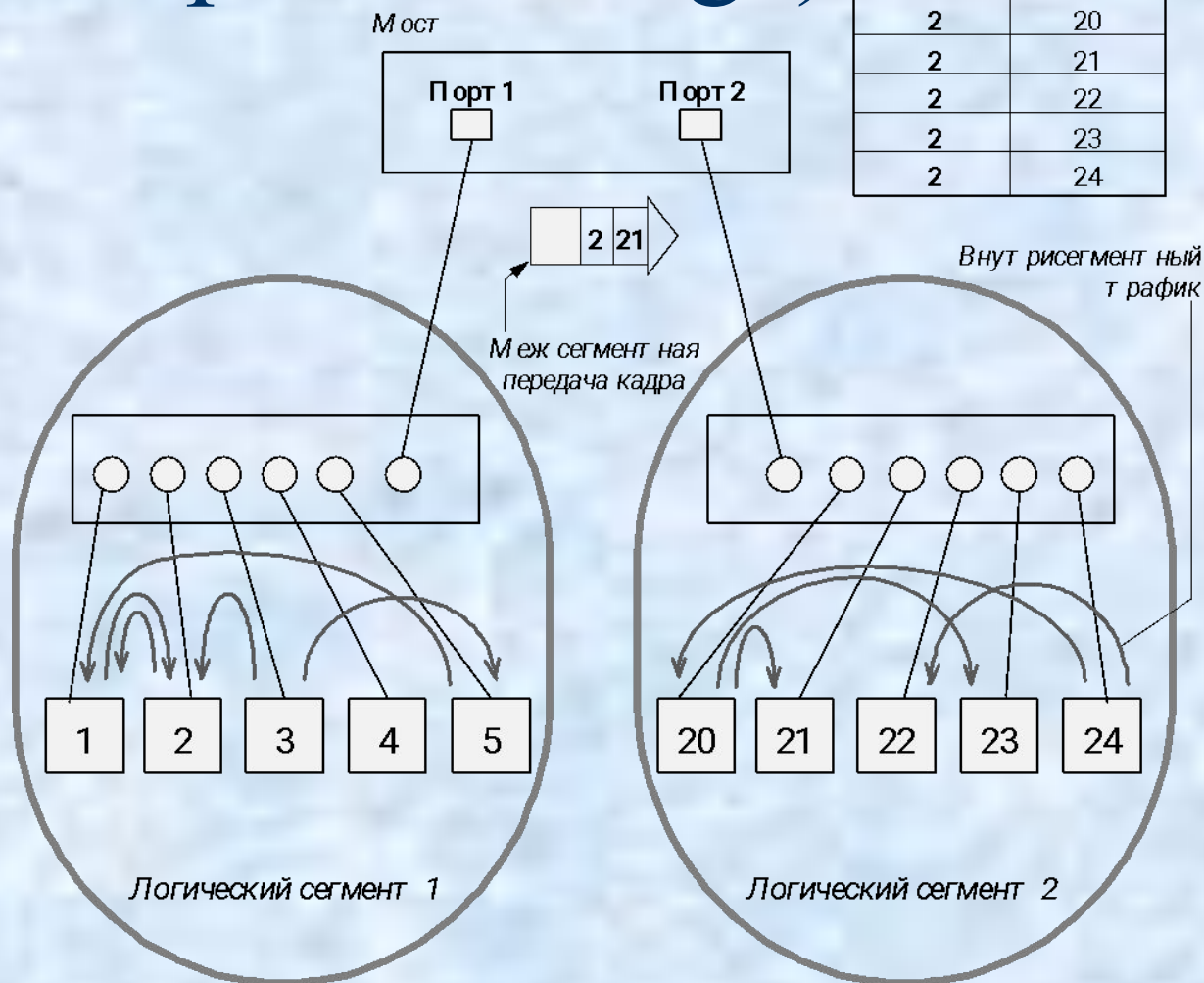


# Мосты и коммутаторы 2-го уровня

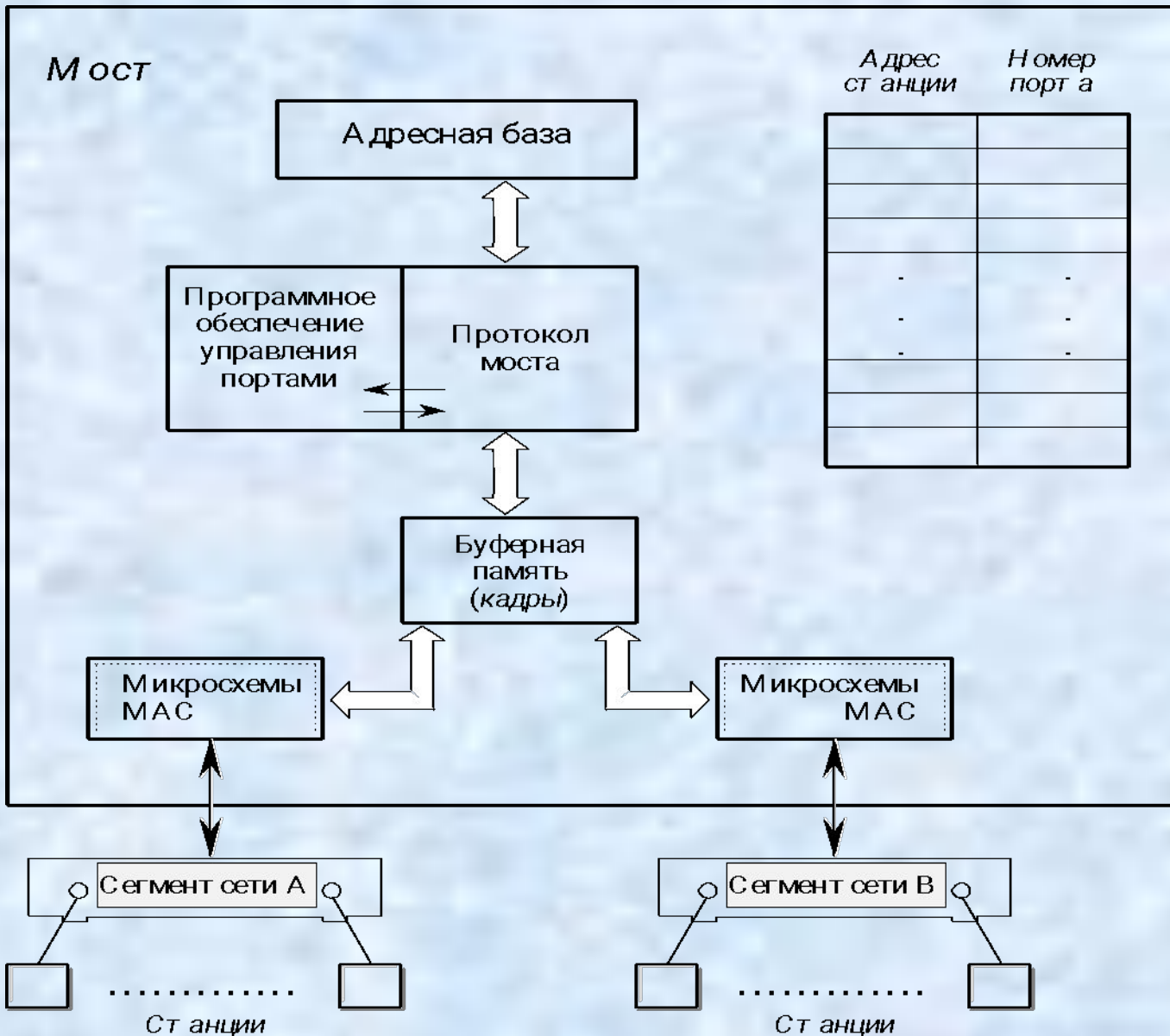
- Позволяют логически структурировать сеть на сегменты с локализацией трафика
- Работают на канальном уровне – поддержка любых протоколов сетевого уровня (IP, IPX)
- Только древовидная топология сети

# Мосты (transparent bridge)

Порт	Адрес
1	1
1	2
1	3
1	4
1	5
2	20
2	21
2	22
2	23
2	24



# Структура моста



# Таблица моста

Forwarding Table						Page 1 of 1
Address	Dispn	Address	Dispn	Address	Dispn	
00608CB17E58	LAN B	0000810298D6	LAN A	02070188ACA	LAN A	
00008101C4DF	LAN B	+ 000081016A52	LAN A	* 010081000100	Flood	
* 010081000101	Discard	* 0180C2000000	Discard	* 000081FFD166	Flood	

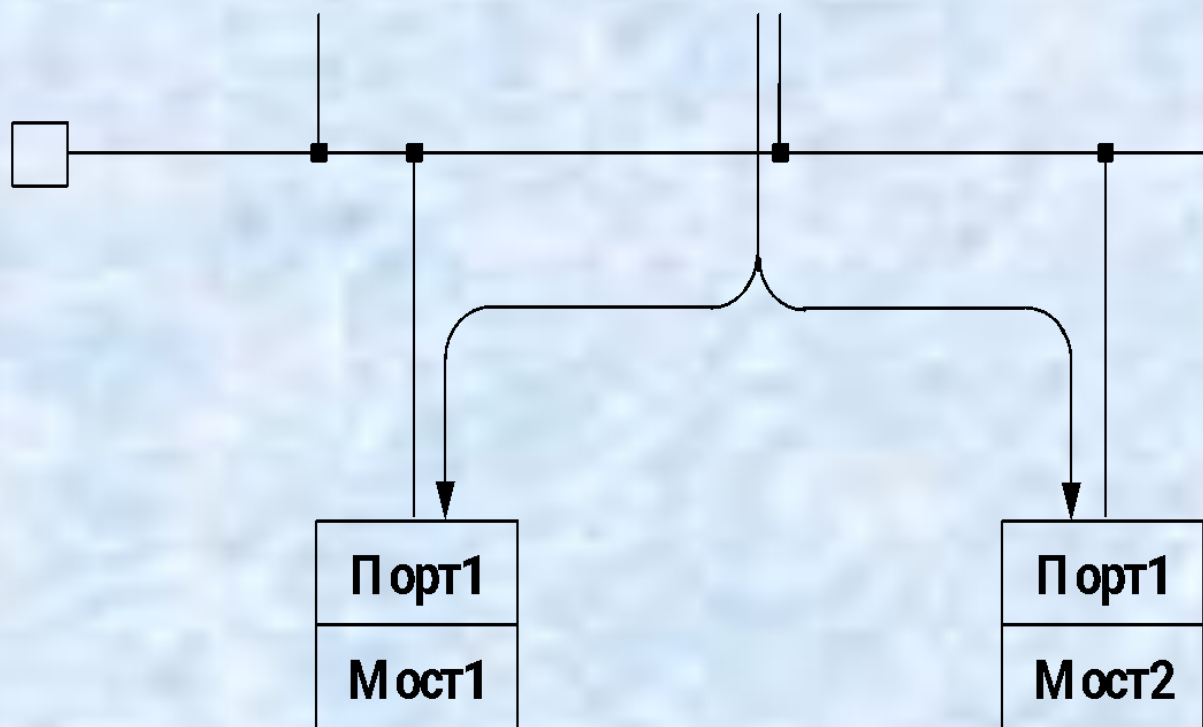
*Статус адреса  
Система не научилась  
понимать, что это за адрес*

Exit      Next Page      Prev Page      Edit Table      Search Item      Go Page

+ Unlearned    \* Static    Total Entries = 9    Static Entries = 4  
Use cursor keys to choose option. Press <RETURN> to select.  
Press <CTRL> <P> to return to Main Menu

# Влияние замкнутых маршрутов на работу моста

Узел 10







# Характеристики моста

## *Главные характеристики моста типа Transparent:*

- ◆ Количество портов и типы интерфейсов
- ◆ Размер внутренней адресной таблицы (обычно 500 - 8000)
- ◆ Скорость фильтрации пакетов (filtering)
- ◆ Скорость передачи пакетов на другой порт (forwarding)
- ◆ Размер буфера кадров

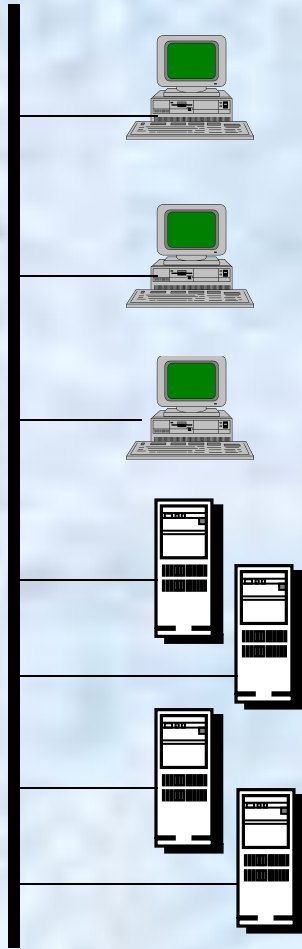
Для быстродействующих мостов **Ethernet - Ethernet** эти скорости приближаются к максимально возможной - 14880 кадров/с

Для моста **Fast Ethernet - Fast Ethernet** максимальная скорость ~148800 к/с

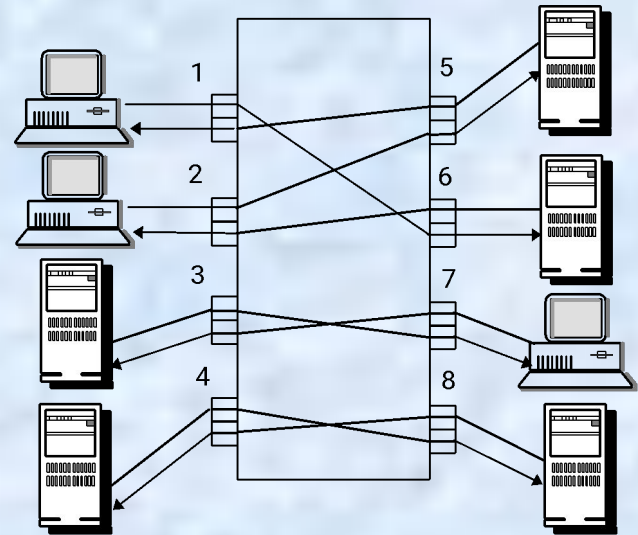
## *Дополнительные функции моста*

- ◆ Поддержка алгоритма **Spanning Tree (STA)** - резервные связи
- ◆ Соединение сетей с различными протоколами канального уровня (например **Ethernet - Token Ring**)
- ◆ Поддержка алгоритма маршрутизации от источника (**Source Routing Bridge**)
- ◆ Управляемость
- ◆ Установка пользовательских фильтров

# Коммутаторы локальных сетей



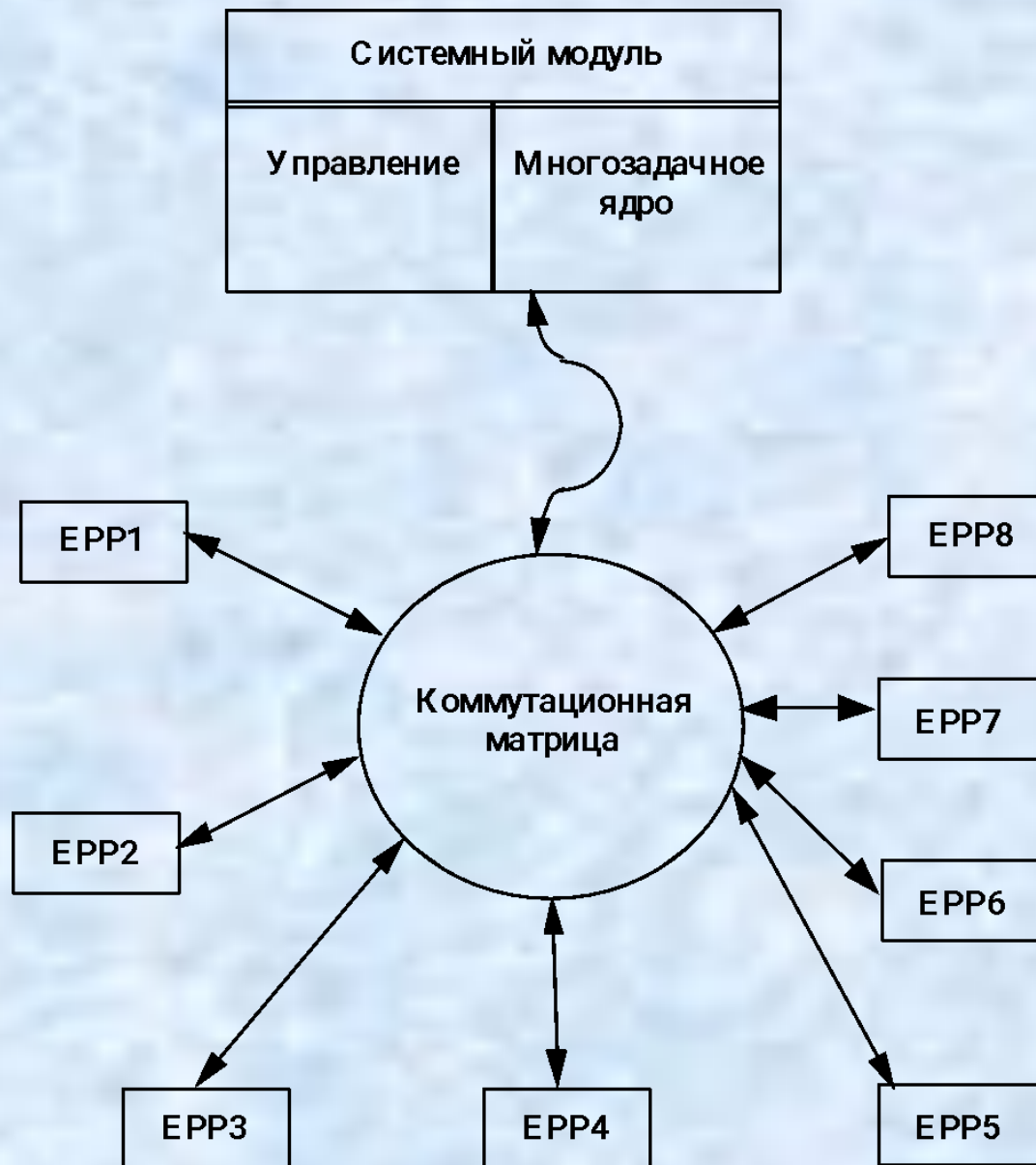
**Разделяемая среда:**  
на станцию приходится  $10 / N$  Мбит/с



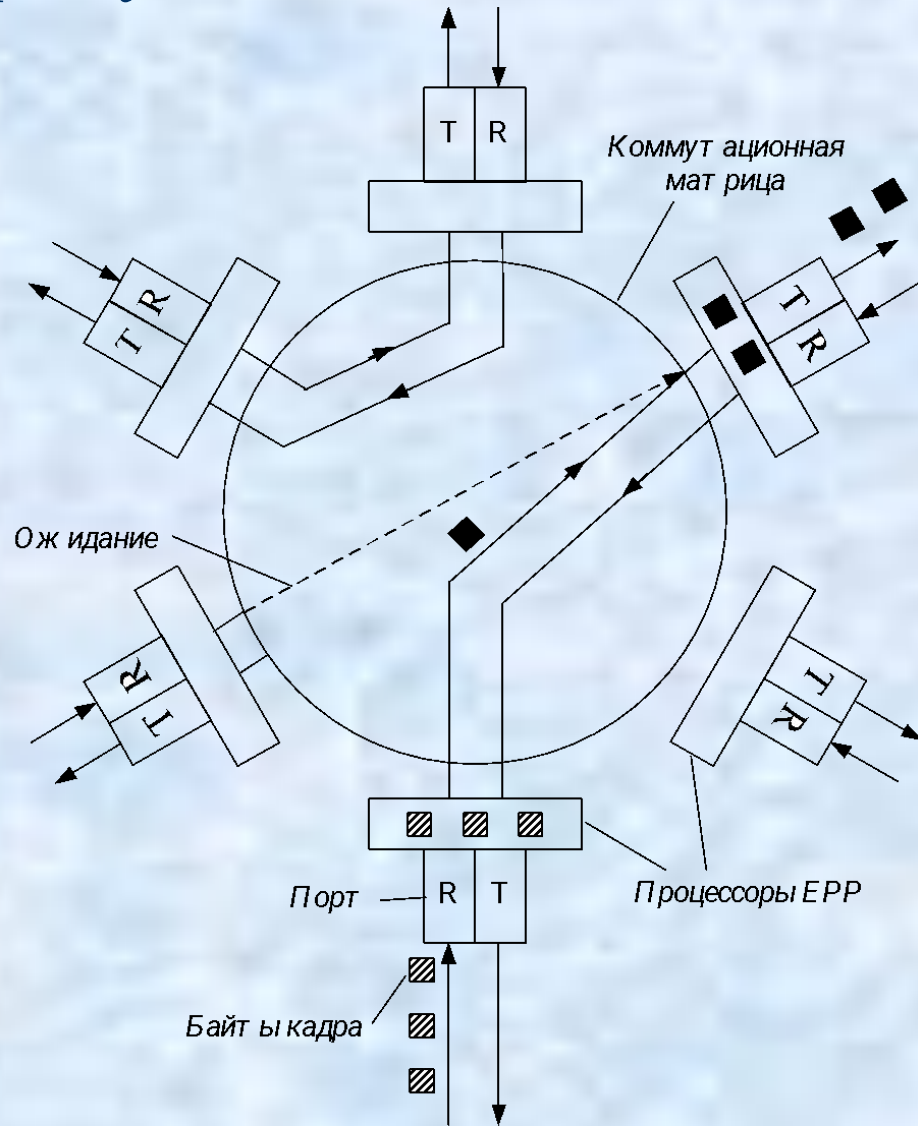
**Коммутатор:**

- параллельная обработка потоков от портов
- на станцию приходится 10 Мбит/с

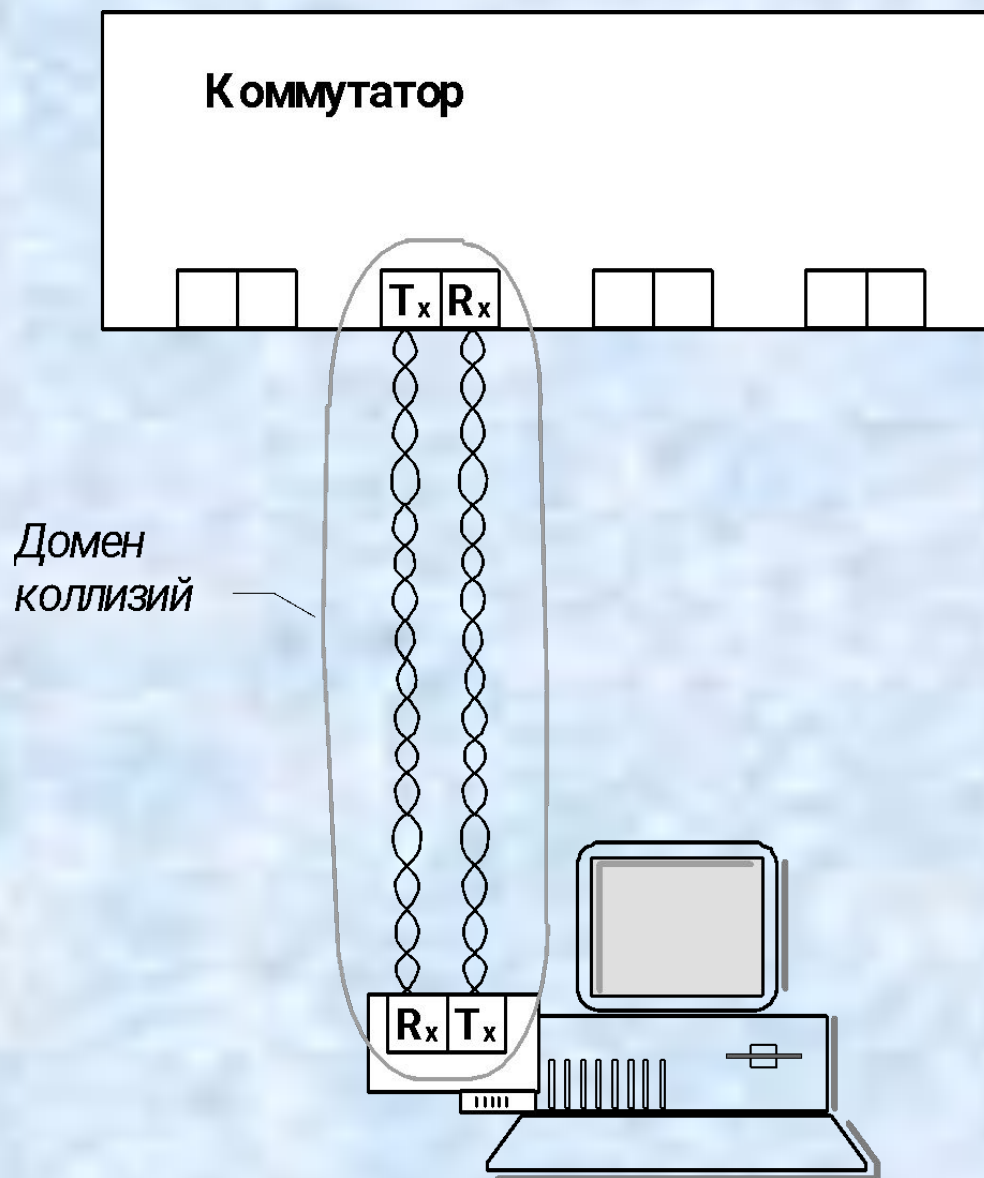
# Структура коммутатора Kalpana



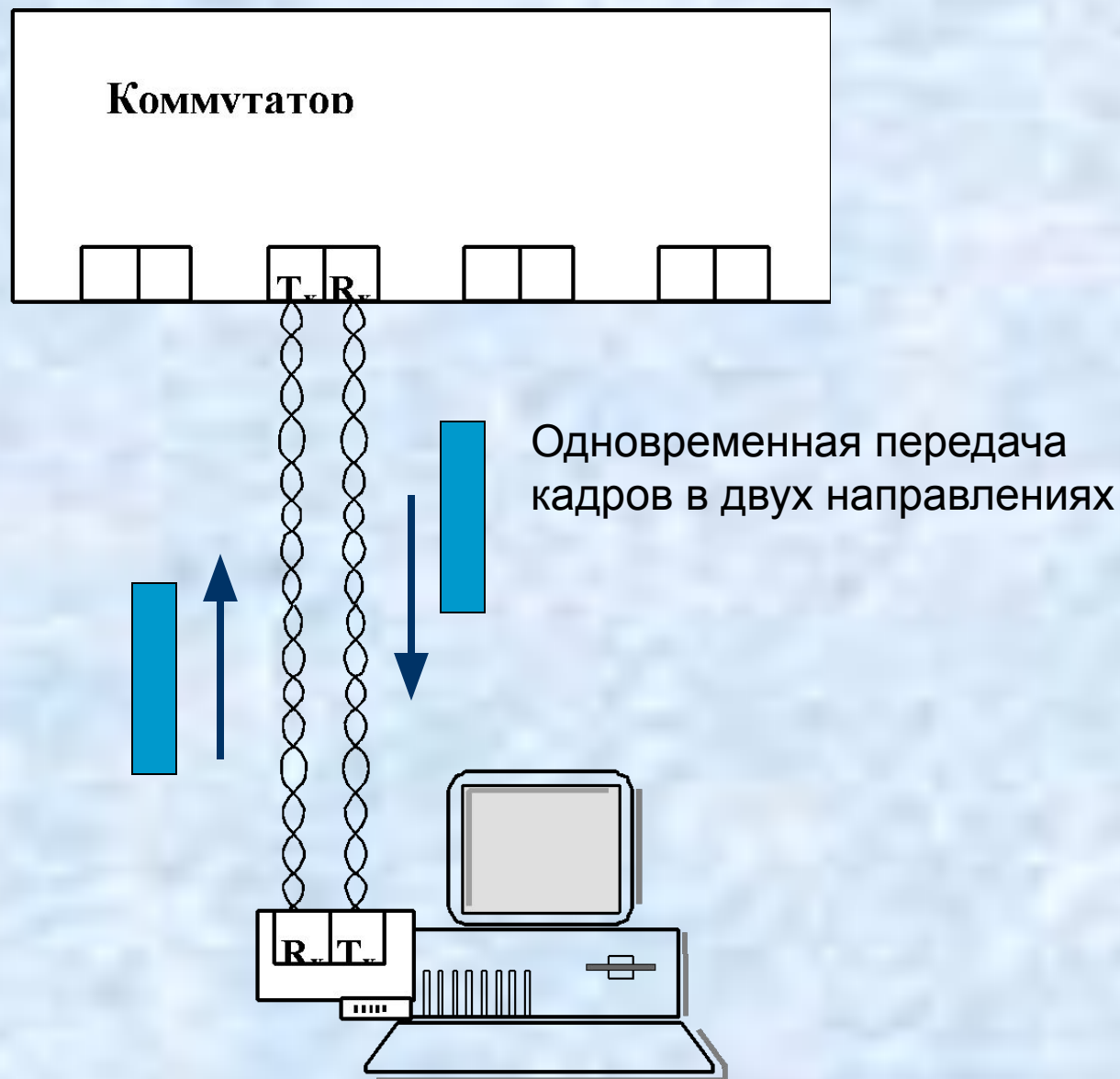
# Передача кадров через коммутационную матрицу



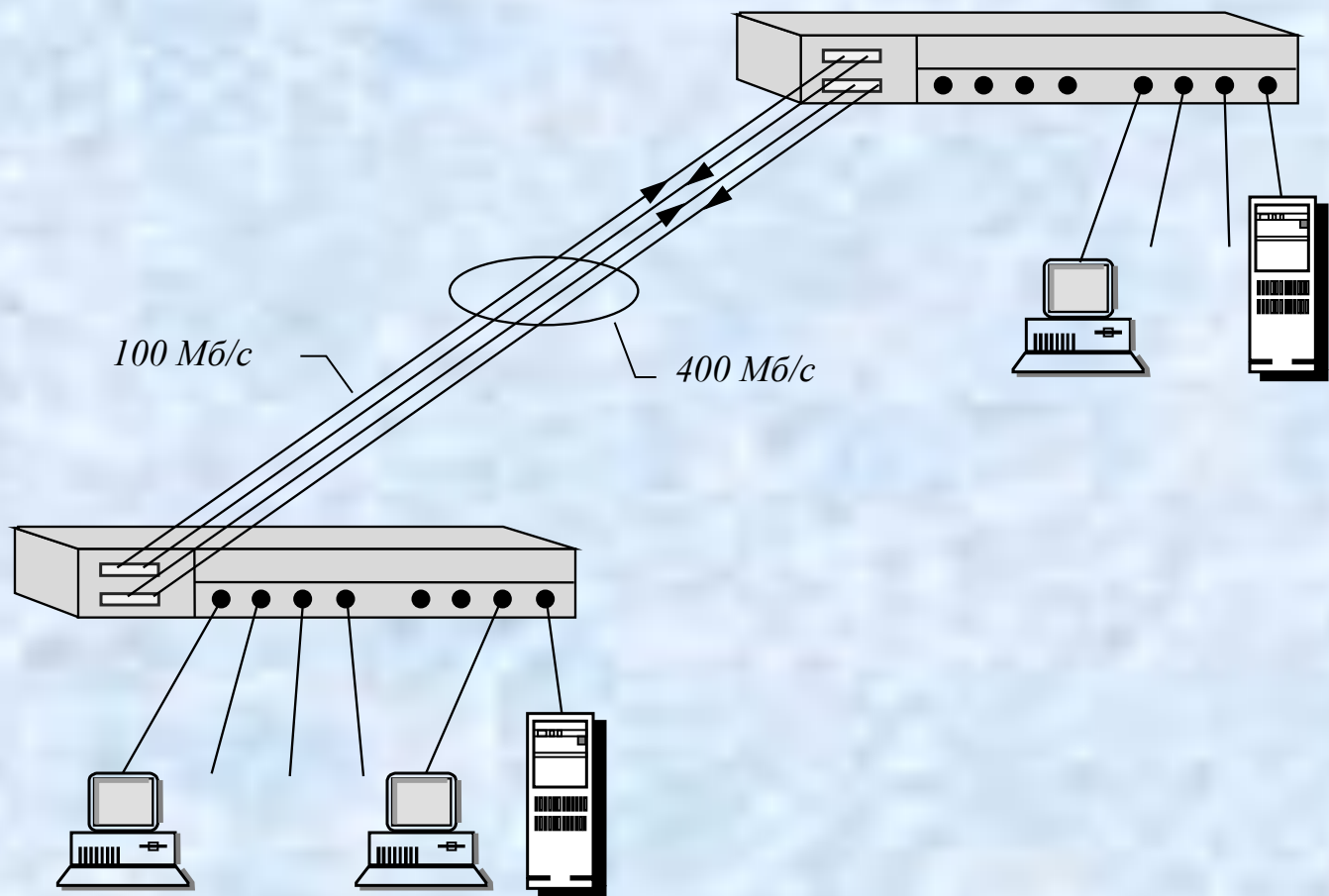
# Полудуплексный режим работы порта коммутатора – half duplex



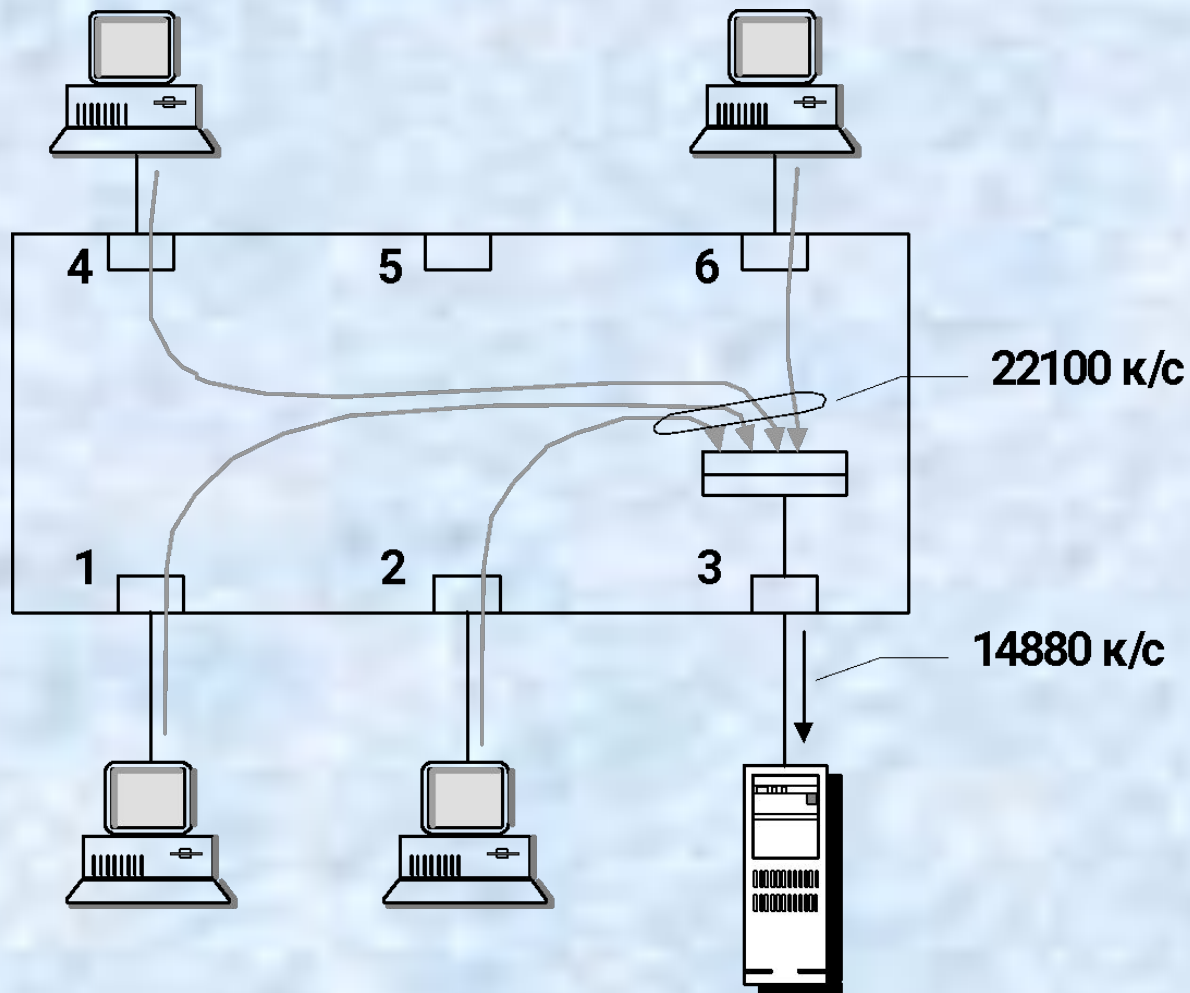
# Полнодуплексный режим работы порта коммутатора – full duplex



# Транк



# Переполнение буфера порта из-за несбалансированности трафика





# Управление потоком в коммутаторах

## А. В полудуплексном режиме

- Обратное давление (backpressure) – искусственное создание коллизий

*Коммутатор использует jam-последовательность, отправляемую на выход порта, к которому подключен сегмент (или узел), чтобы приостановить его активность*

- Метод торможения конечного узла - агрессивное поведение коммутатора



## В. В полнодуплексном режиме

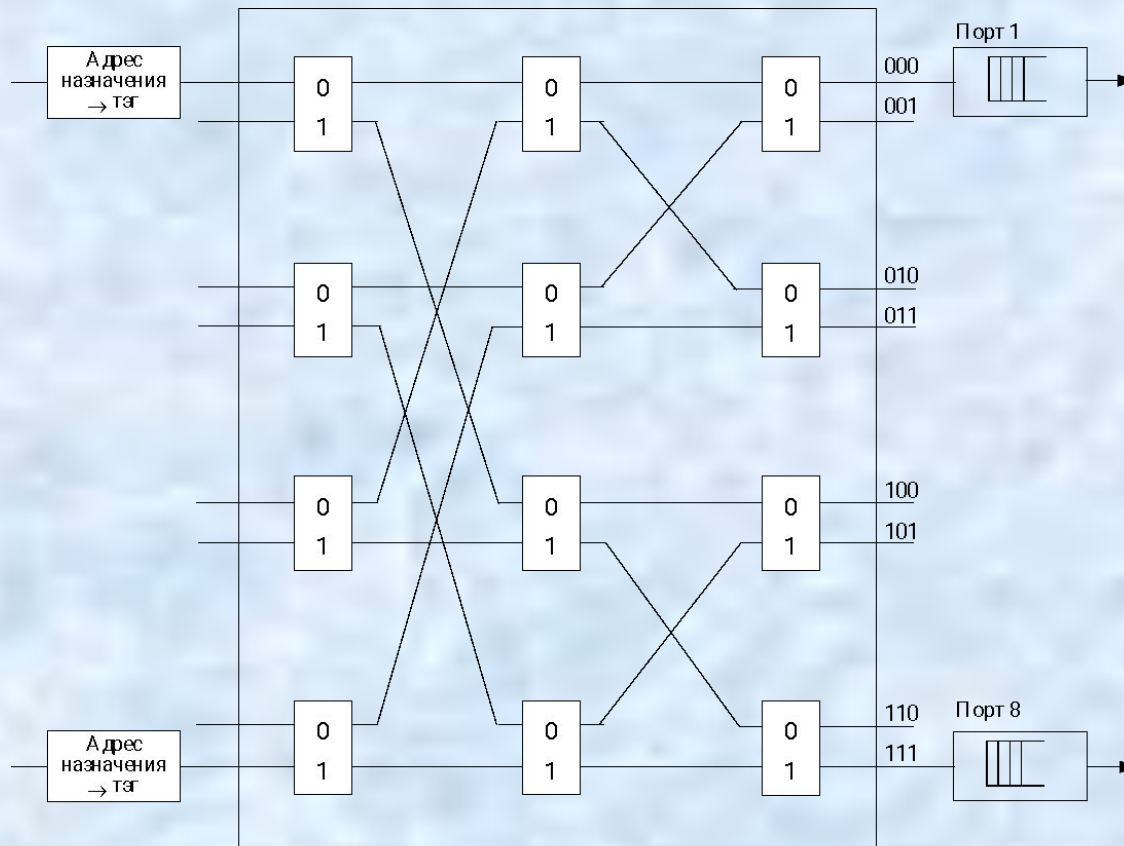
- Команды XON - XOFF

*XON/XOFF = X-ON/X-OFF (Transmitter On/Transmitter Off) протокол XON/XOFF простейший протокол передачи данных между устройствами по асинхронному соединению.*

*Символ XON (Ctrl-Q, код ASCII 17) сообщает устройству о начале (возобновлении) передачи данных, XOFF (Ctrl-S, код ASCII 19) приостанавливает её software handshaking*

# Реализация коммутаторов

## 1. Коммутационная матрица



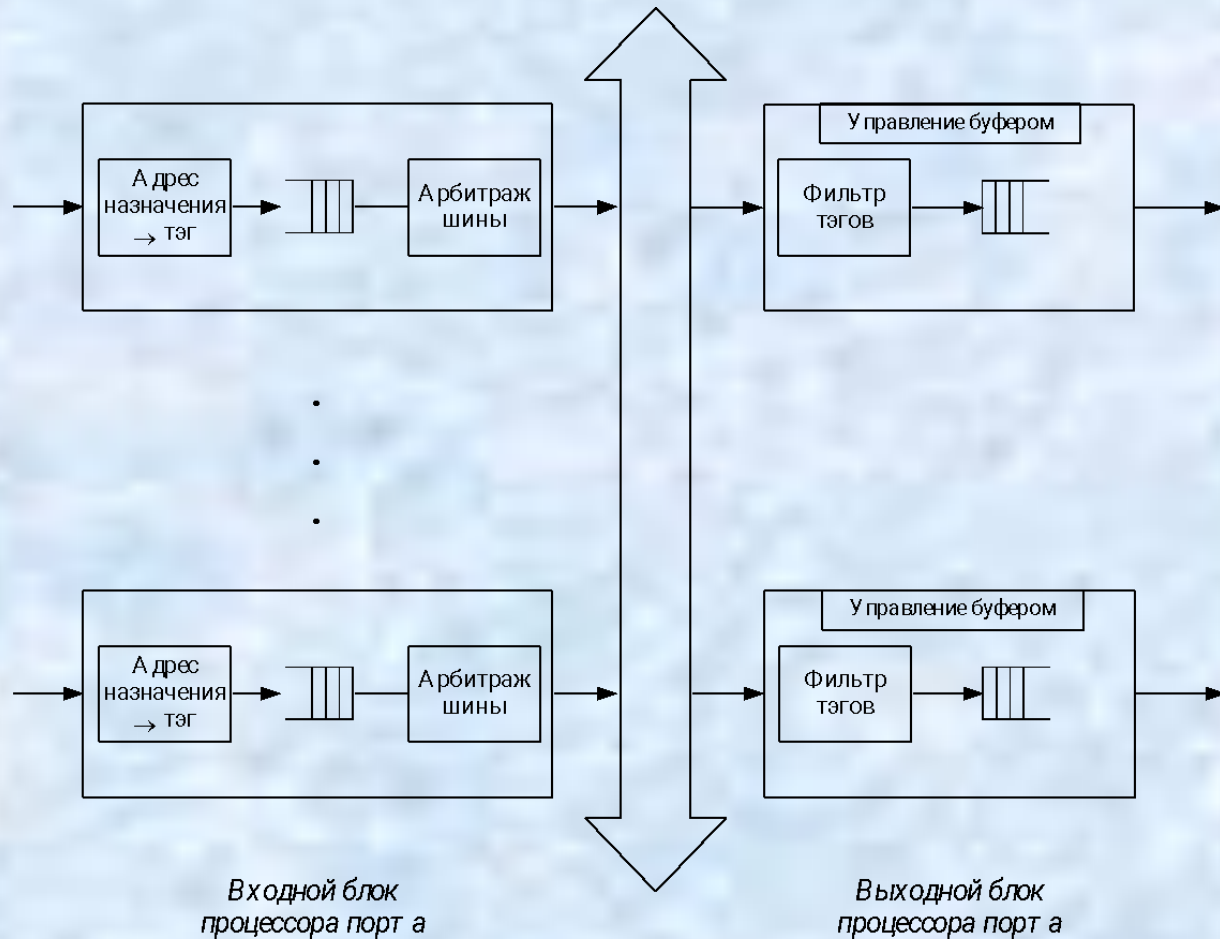
Входные блоки процессоров порт ов

Коммутационная матрица

Выходные блоки процессоров порт ов

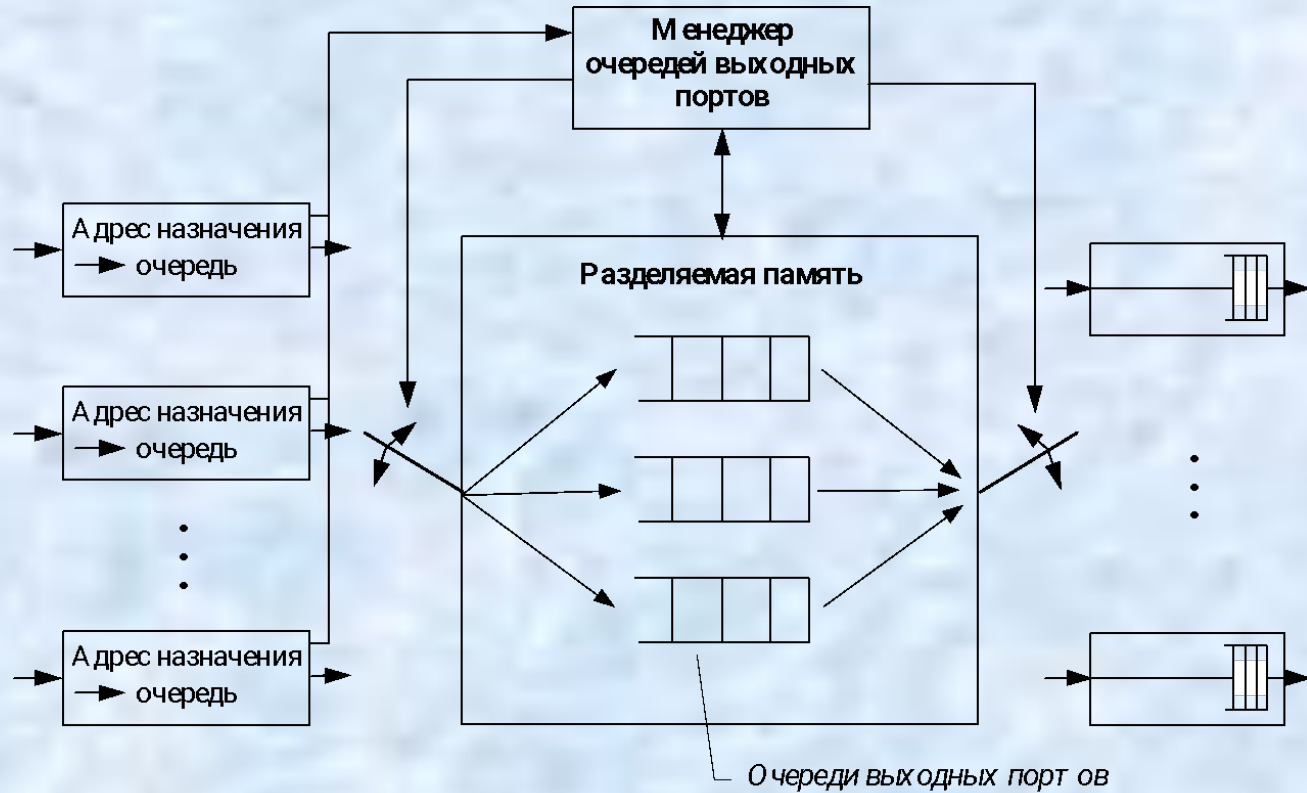
# Реализация коммутаторов

## 2. Общая шина



# Реализация коммутаторов

## 3. Разделяемая память

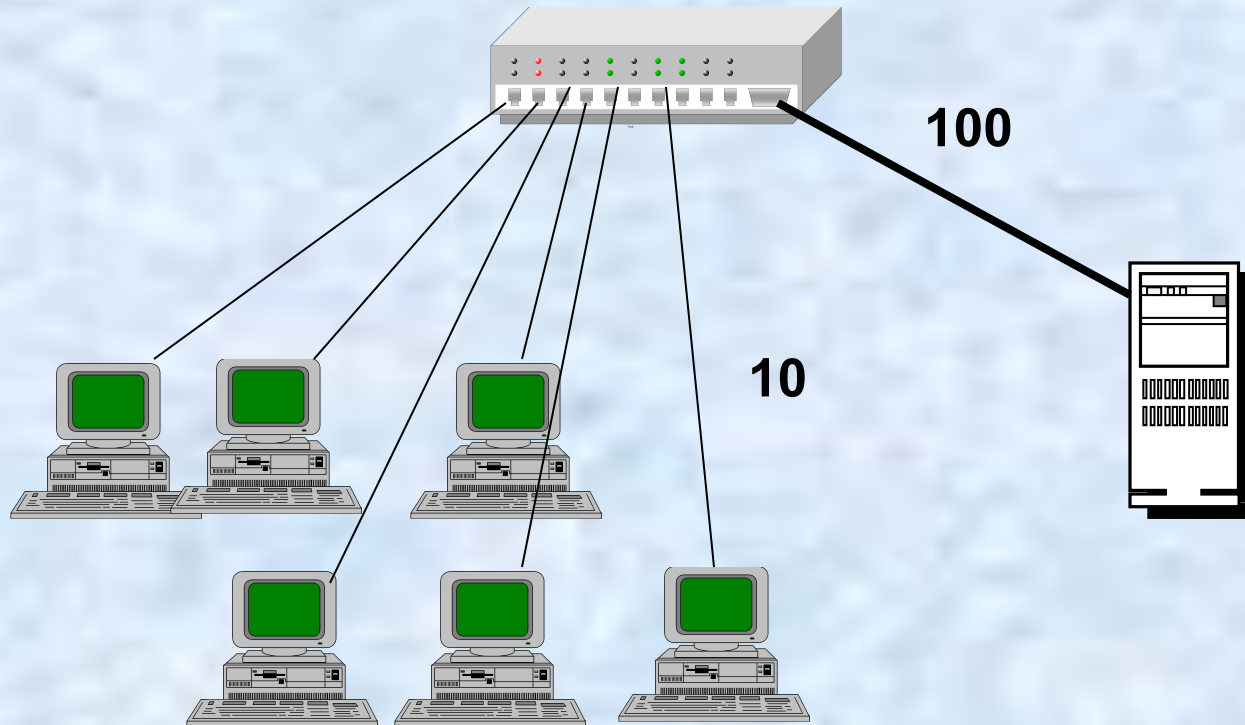


# Реализация коммутаторов

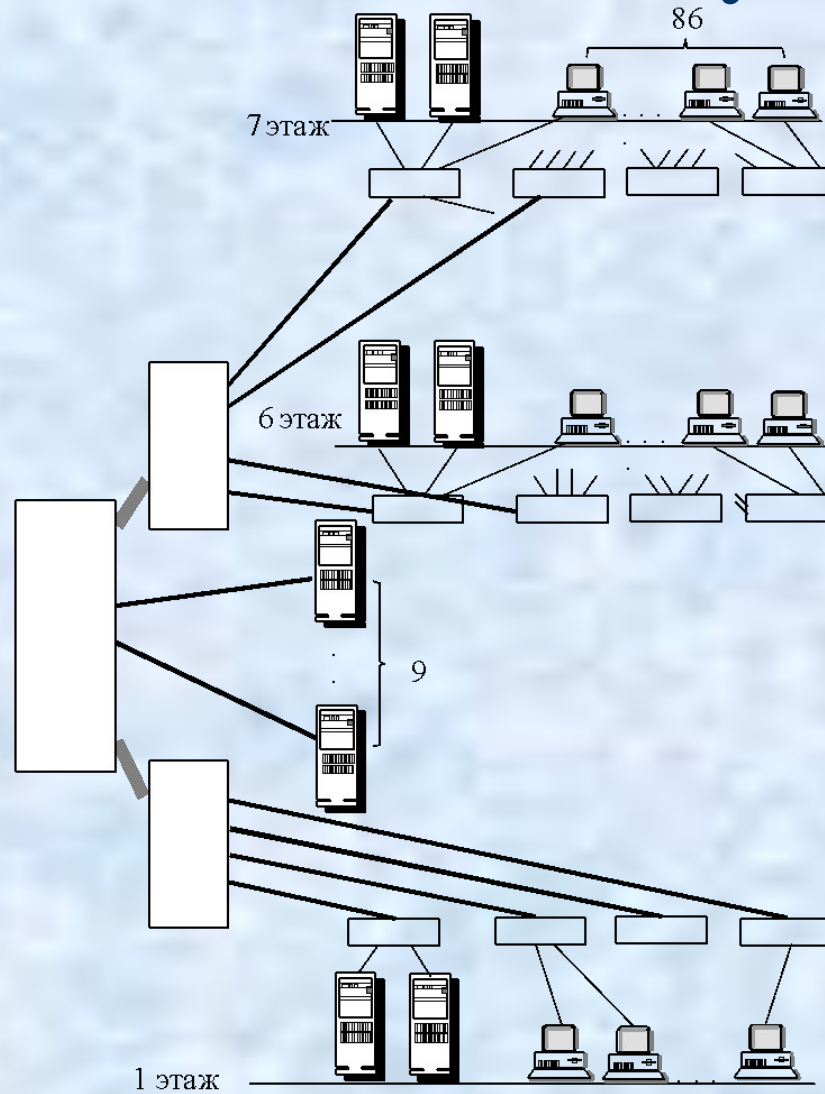
## 4. Комбинированный подход



# Применение коммутаторов в рабочих группах



# Сеть здания на коммутаторах



- 10 Мб/с
- 100 Мб/с
- 1000 Мб/с

# Характеристики производительности коммутаторов

- скорость фильтрации кадров; [кадри/с]

*Скорость фильтрации (filtering) определяет скорость, с которой коммутатор выполняет следующие этапы обработки кадров:*

*- прием кадра в свой буфер;*

*- просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра;*

*- уничтожение кадра, так как его порт назначения и порт источника принадлежат одному логическому сегменту*

- скорость продвижения кадров; [кадри/с]

*Скорость продвижения (forwarding) определяет скорость, с которой коммутатор выполняет следующие этапы обработки кадров:*

*- прием кадра в свой буфер;*

*- просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра;*

*- передача кадра в сеть через найденный по адресной таблице порт назначения.*

- пропускная способность; [Мбит/с]

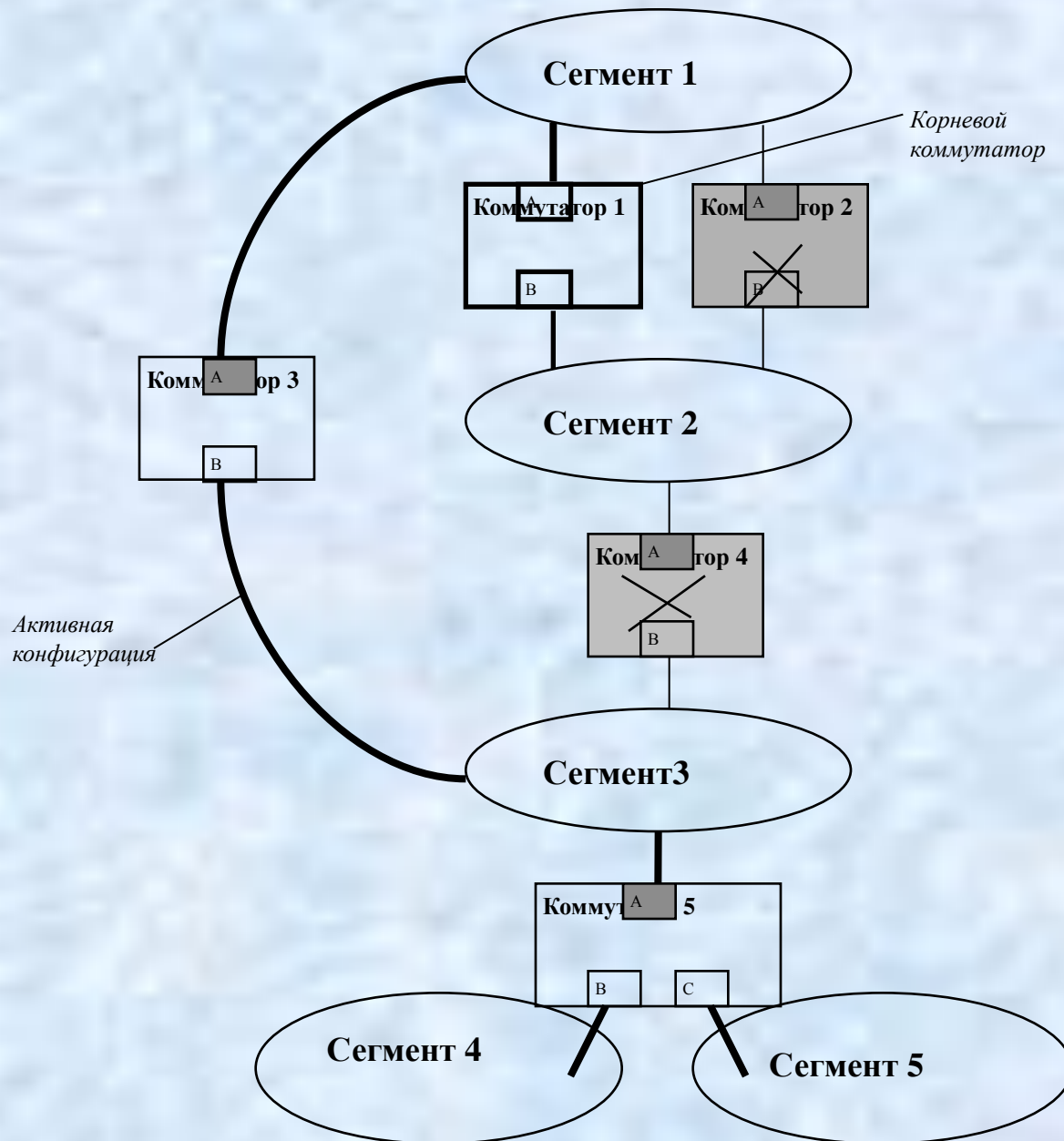
*Пропускная способность коммутатора измеряется количеством пользовательских данных (в мегабитах в секунду), переданных в единицу времени через его порты. Обычно производители коммутаторов указывают общую максимальную пропускную способность устройства по всем портам.*

- задержка передачи кадра. [мкс]

*Задержка передачи кадра измеряется как время, прошедшее с момента прихода первого байта кадра на входной порт коммутатора до момента появления этого байта на его выходном порту. Задержка складывается из времени, затрачиваемого на буферизацию байт кадра, а также времени, затрачиваемого на обработку кадра коммутатором, — просмотра адресной таблицы, принятия решения о фильтрации или продвижении и получения доступа к среде выходного порта.*



# Алгоритм Spanning Tree



# Виртуальные локальные сети

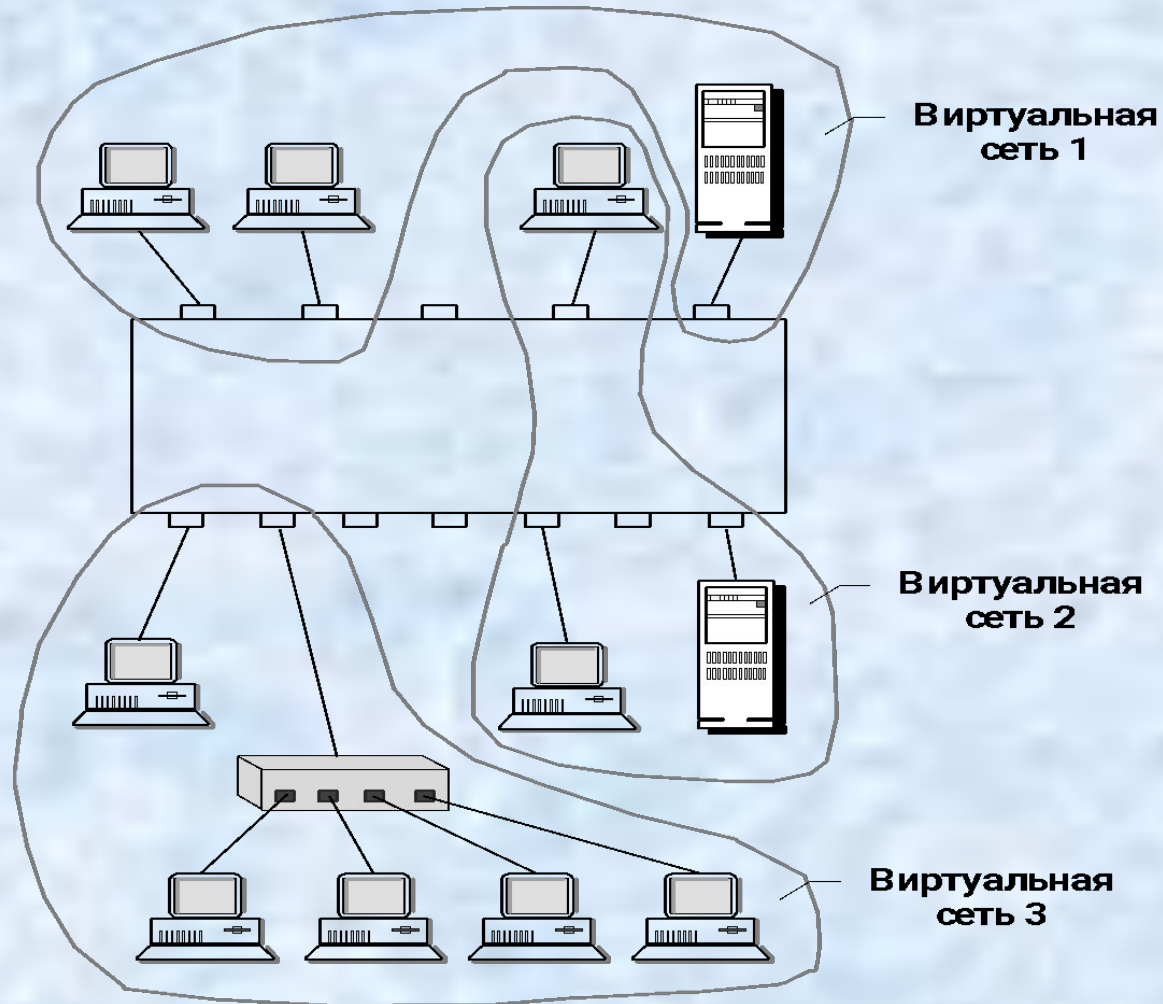
## Virtual LAN, VLAN

Цель: построение полностью изолированных подсетей логическими средствами



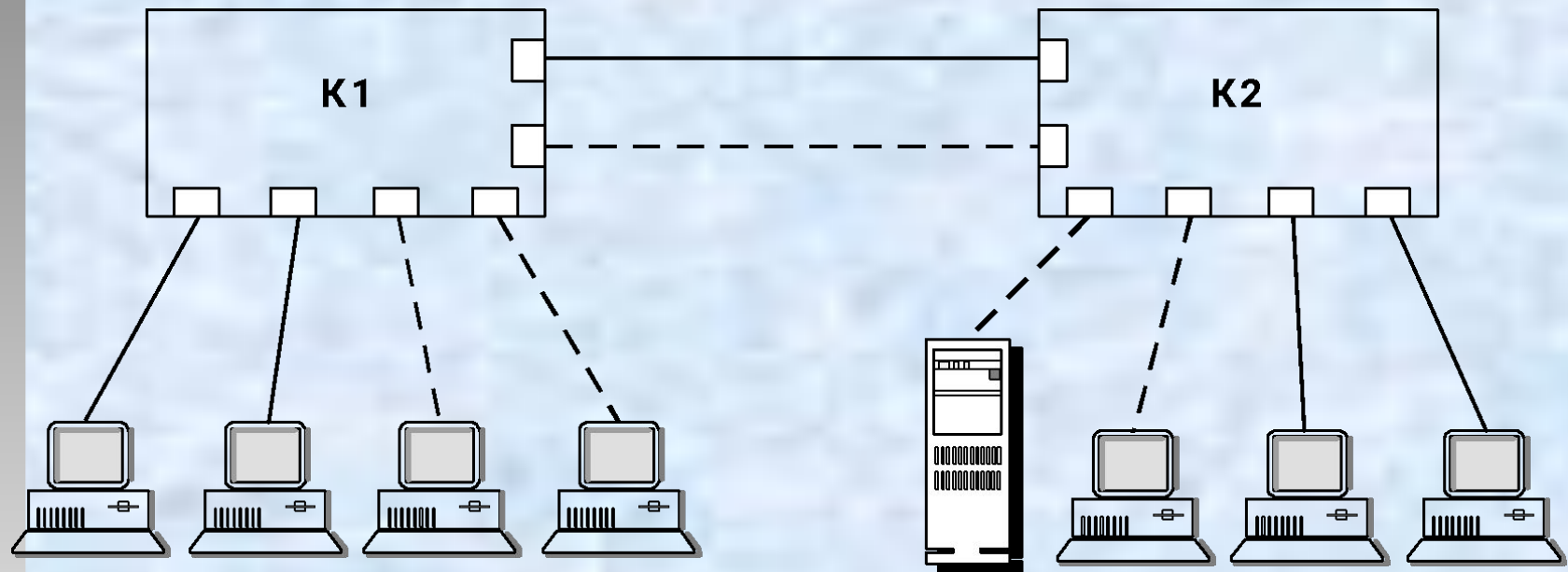
VLAN – домен распространения бродкастов

# VLAN на одном коммутаторе



Задание VLAN – группировка портов

# VLAN на нескольких коммутаторах

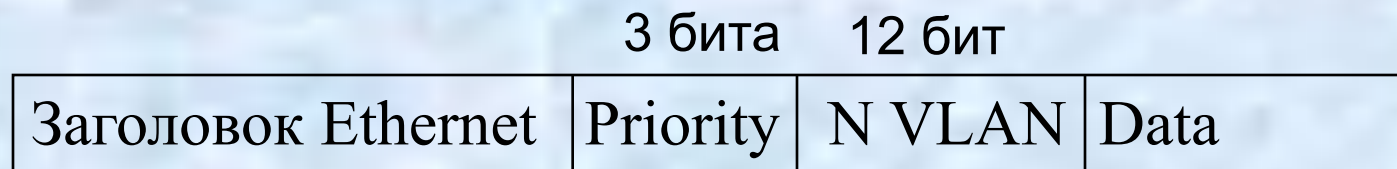


Проблема задания VLAN на нескольких коммутаторах с помощью группировки портов:  
сколько VLAN – столько портов для межсоединений

# VLAN на нескольких коммутаторах

Способы решения проблемы:

1. Группировка MAC-адресов – большой объем ручной работы в крупных сетях
2. Использование меток:
  - Фирменные решения
  - Стандарт IEEE 802.1 Q/p



←  
поля 802.1 Q/p



## Сетевые адаптеры

1. Gigabit Ethernet TP - \$200
2. Gigabit Ethernet FO - \$450
3. 10/100 TP – \$20-30

## Концентраторы

1. Рабочие группы – 10 Мбит/с, standalone, \$8-10 за порт
2. Рабочие группы – 100 Мбит/с, standalone, \$15-20 за порт
3. Стековые – 10 Мбит/с,



## Коммутаторы 2 уровня

1. 10 Мбит/с Standalone – \$20-30
2. 10/100 TP Standalone – \$30 – 50
3. Стековые 10/100 - \$50 -100

## Коммутаторы 3 уровня

- Порты 10/100 TP с поддержкой QoS – \$250 – 300
- Порты GE TP - \$1000
- Порты GE SX - \$2000