

**Лекція № 6**  
**з навчальної**  
**дисципліни**

**“Комп'ютерні системи”**  
**Тема лекції:**  
**Динамічні КМ БПКС**  
**(комутатори з просторовим розподілом)**

Модуль 2. Комунаційні мережі КС



**План лекції**

1. *Основні поняття про динамічні КМ.*
2. *Прості комутатори із просторовим розподілом.*
3. *Складні комутатори із просторовим розподілом.*
4. *Топологія fat tree.*

# 1. Основні поняття про динамічні КМ

## Властивості комутуючих КМ:

**Неблокуючи:** у неблокуючих КМ забезпечується з'єднання між будь-якими вхідними та вихідними вузлами без зміни режиму роботи КЕ КМ. Розрізняють КМ повністю неблокуючи та неблокуючи з реконфігурацією. У повністю неблокуючих КМ виникнення блокувань принципово неможливе завдяки їх топології. Приклади: **матрична мережа** та **мережа Клоза** (при визначених умовах).

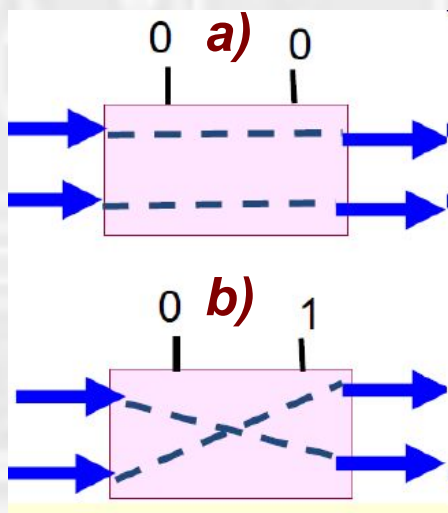
- **Неблокуючи з реконфігурацією:** в них також можливе з'єднання між довільними вхідними і вихідними вузлами, але для цього необхідно змінити настройку комутаторів КМ та маршрут зв'язку між вузлами. Приклади: мережа Бенеша, Бетчера, "Мемфіс".
- **Блокуючи:** в них, якщо яке-небудь з'єднання вже встановлено, це може стати причиною неможливості встановлення інших з'єднань. Приклади: мережі "Баньян", "Омега"
- **Базові топології комутуючих динамічних КМ:**
  - Координатні,
  - Одноярусні (одноступеневі, прості комутатори із просторовим розподілом),
  - Багатоярусні (багатоступеневі, складні комутатори із просторовим розподілом).

# 1. Основні поняття про динамічні КМ

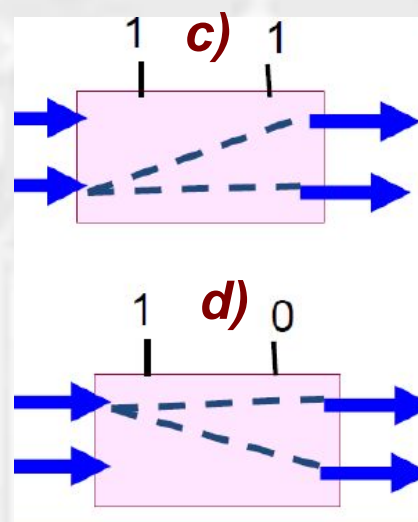
## Комутуючі елементи динамічних КМ

В комутуючих динамічних КМ з'єднання між вузлами здійснюються за допомогою простих комутуючих елементів (КЕ). Стан КЕ (його також називають  $\beta$ - елементом) визначає можливі шляхи передачі пакетів в КС.

Без широкомовної розсилки

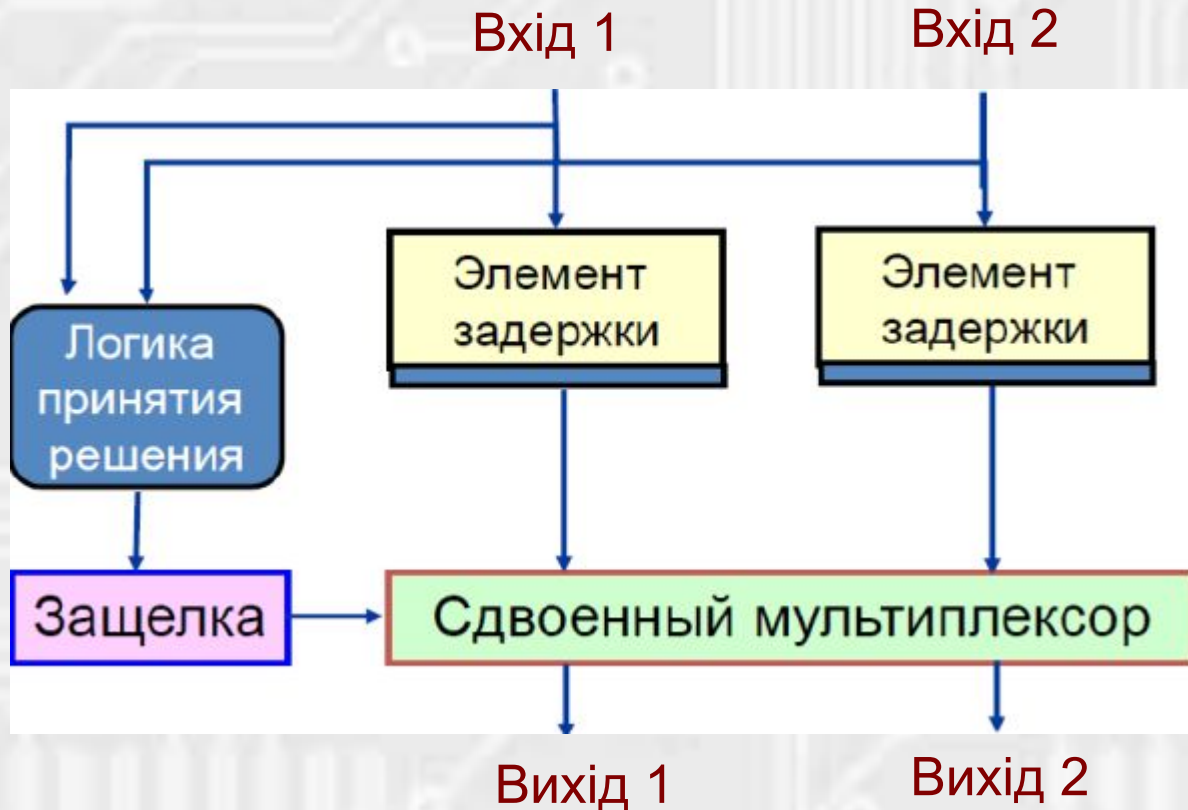


З широкомовною розсилкою



**Можливі комбінації з'єднання входів з виходами КЕ: а – прямо, b – навхрест, розширення: c – знизу, d – зверху**

# 1. Основні поняття про динамічні КМ

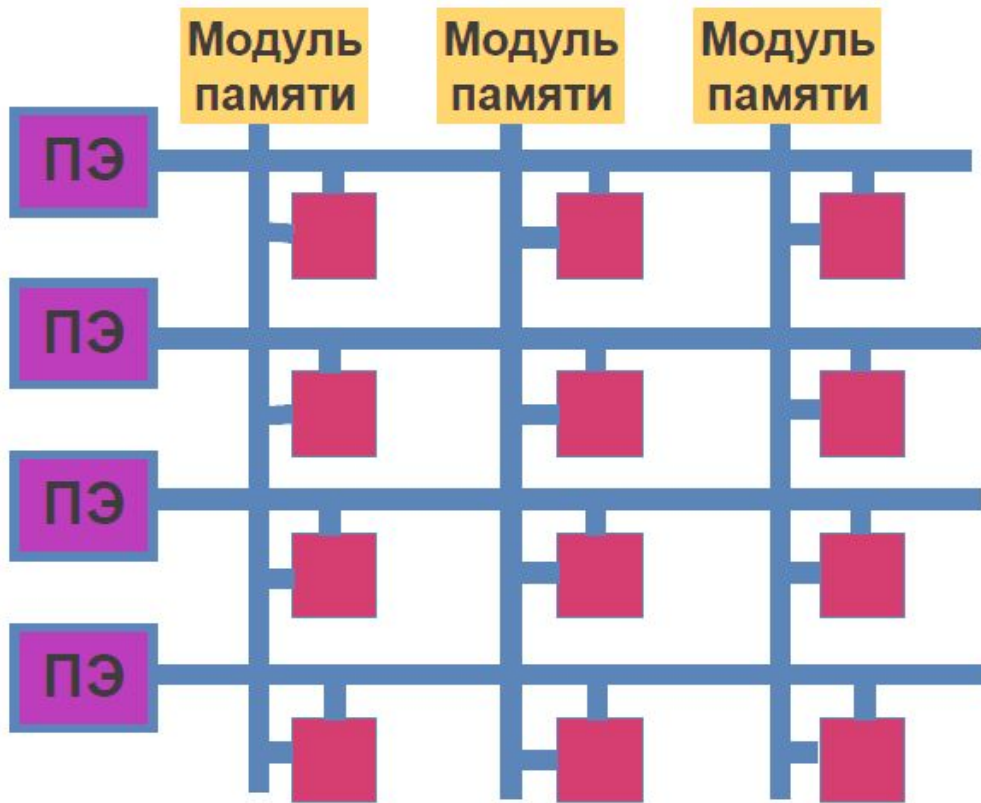


## Структура $\beta$ - елемента

В деяких архітектурах стан КЕ визначається тільки бітом активності пакета. В інших використовуються адреси джерела та одержувача даних, що зберігаються у заголовку пакета; в цьому випадку в пам'яті КЕ можуть зберігатися спеціальні таблиці.

## 2. Прості комутатори із просторовим розподілом

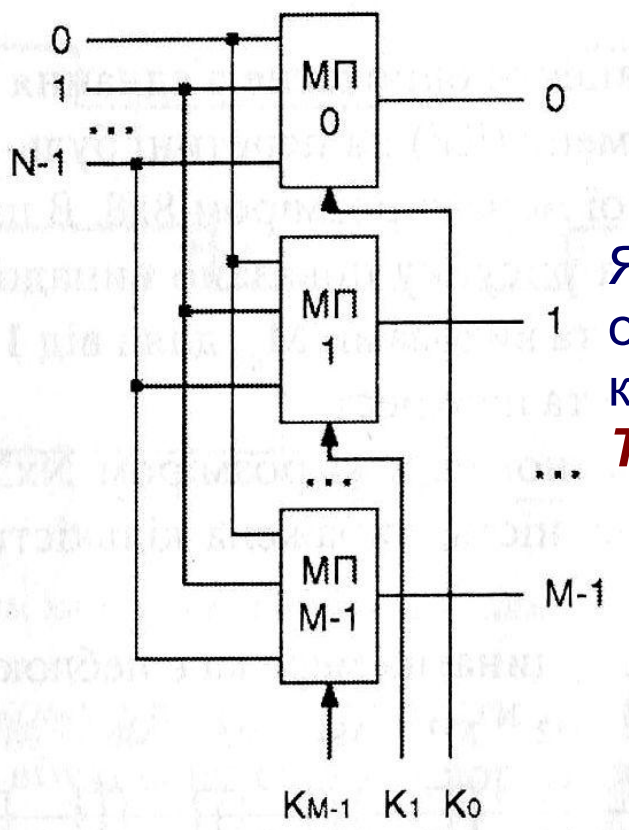
Одноярусна динамічна неблокуюча **координатна КМ** забезпечує одночасне з'єднання всіх виходів з усіма входами. Вона містить КЕ на перетині будь-яких двох ліній, що забезпечують пряме або діагональне з'єднання. На рис. показано варіант, коли забезпечується одночасне з'єднання між входами  $P_i$  та виходами  $M_{8-i}$  К



КМ забезпечує мінімальну затримку передачі повідомлень (1), але має велику кількість КЕ ( $N^2$ , де  $N$  – кількість входів), тому її доцільно застосовувати для побудови невеликих БПКС (або обчислювальних вузлів КС).

## 2. Прості комутатори із просторовим розподілом

**Матрична одноярусна КМ** складається з мультиплексорів, кількість яких рівна кількості виходів комутатора. Вона забезпечує реалізацію всіх типів з'єднань та є неблокуючою. КМ складається з  $M$   $N$ -входових мультиплексорів, які керуються  $M$  кодами  $K_0, K_1, \dots, K_{M-1}$ , розрядність кожного з яких рівна  $\log_2 N$ . Кожний з мультиплексорів реалізується на основі  $N$  двовходових схем  $I$ , об'єднаних  $N$ -вхідною системою АБО. Витрати обладнання на двовходову схему  $I$ , як і на двовходову схему АБО, рівні одному вентилю.

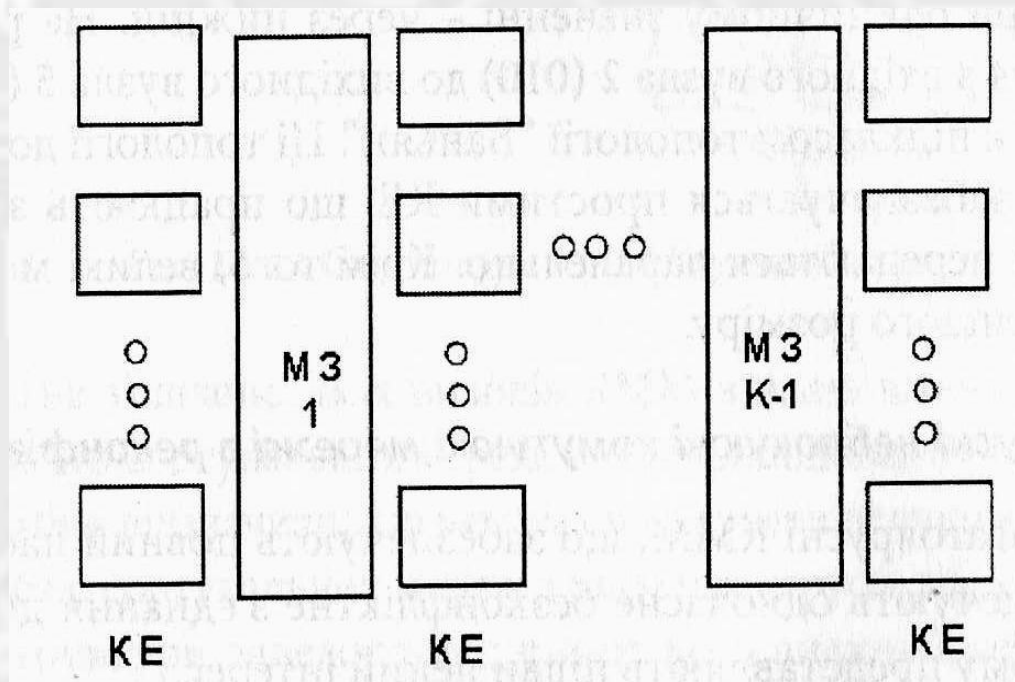


Якщо затримка одного вентиля  $t$ , витрати обладнання на КМ без врахування витрат на керування  $W_{КММ} = M(2N-1)$  вентилів, а затримка  $T_{КММ} = (\log_2 N + 1)t$ .

### 3. Складні комутатори із просторовим розподілом

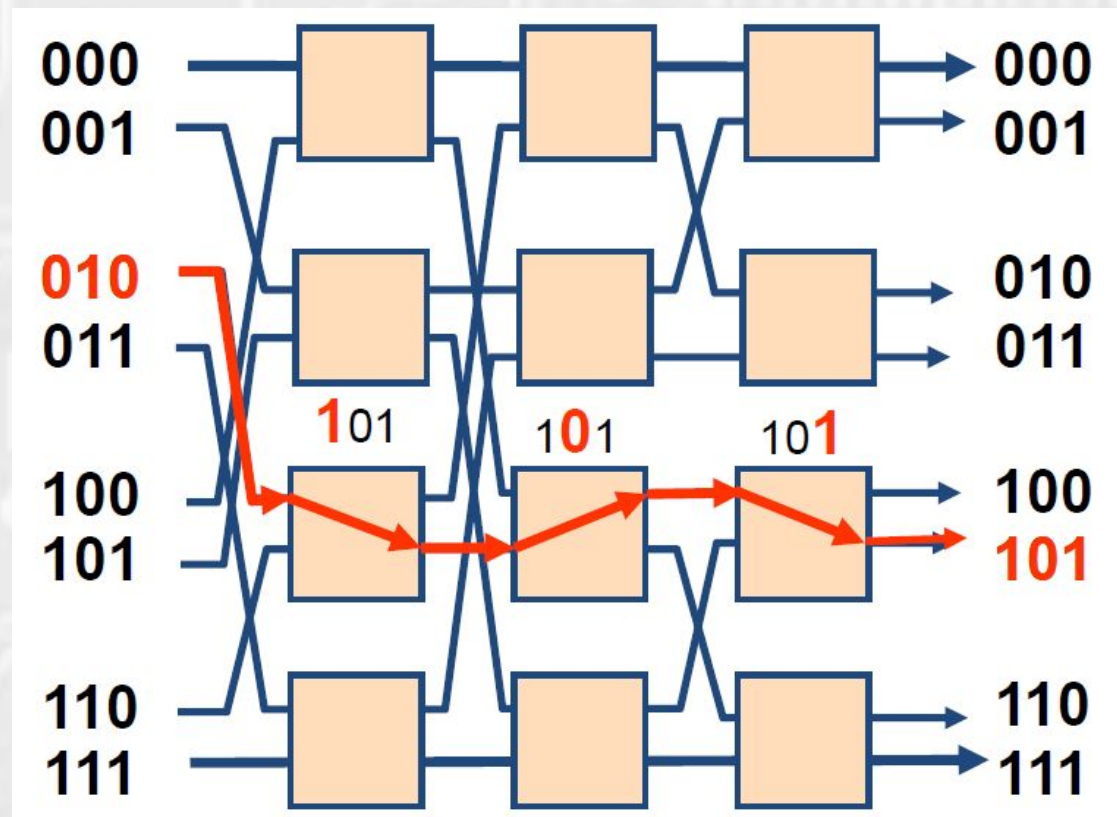
**Багатоярусні блокуючі КМ** є економнішими порівняно з координатною та матричною КМ. Вони будуються на базі КЕ, що зазвичай має 2 входи і два виходи.

Багатоярусна КМ складається з деякої множини ярусів, побудованих на двовходових КЕ, та об'єднаних між'ярусними зв'язками. Ці зв'язки можуть відображати одну з можливих функцій маршрутизації (батерфляй, куб і т.д).



### 3. Складні комутатори із просторовим розподілом

КМ "Баньян" містить в кожному з  $\log_2 N$  ярусів по  $N/2$  КЕ і  $N$  каналів зв'язку. Якщо кожен КЕ виконує перемикання прямо і навхрест, то така КМ може виконати  $2^{N/2 \log_2 N}$  перестановок, що істотно менше за  $N!$  перестановок, можливих в неблокуючій мережі. Проте ті перестановки, які вона виконує, є найбільш використовуваними в БПКС. В даній мережі є можливість її розділення на КМ меншого розміру шляхом включення на передачу прямо КЕ в тих ярусах, що стоять перед цими КМ.





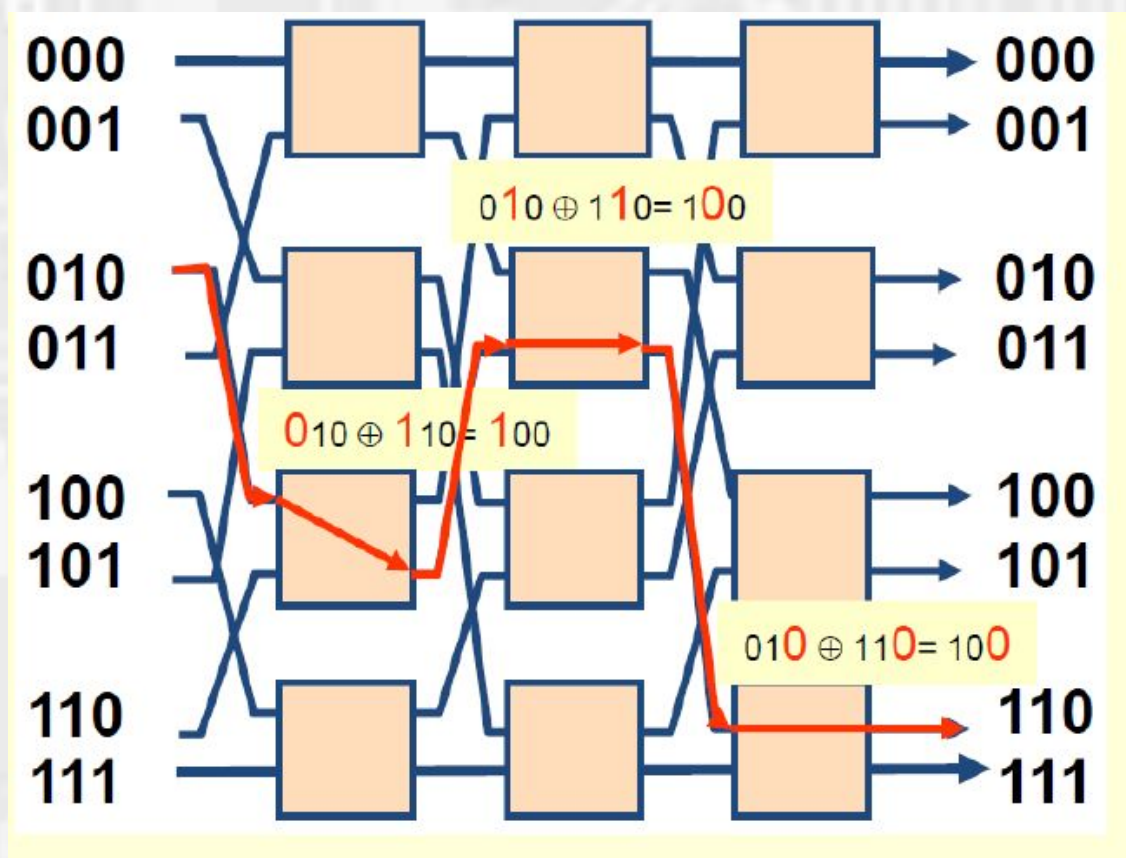
### **3. Складні комутатори із просторовим розподілом**

У КМ “Баньян” між кожним входом і виходом існує лише один шлях. Мережа  **$N \times N$**  ( **$N=2^m$** ) складається з  **$Nm/2$**  КЕ. Для керування КМ пакет, що передається, містить в своєму заголовку трьохрозрядний номер вузла призначення.

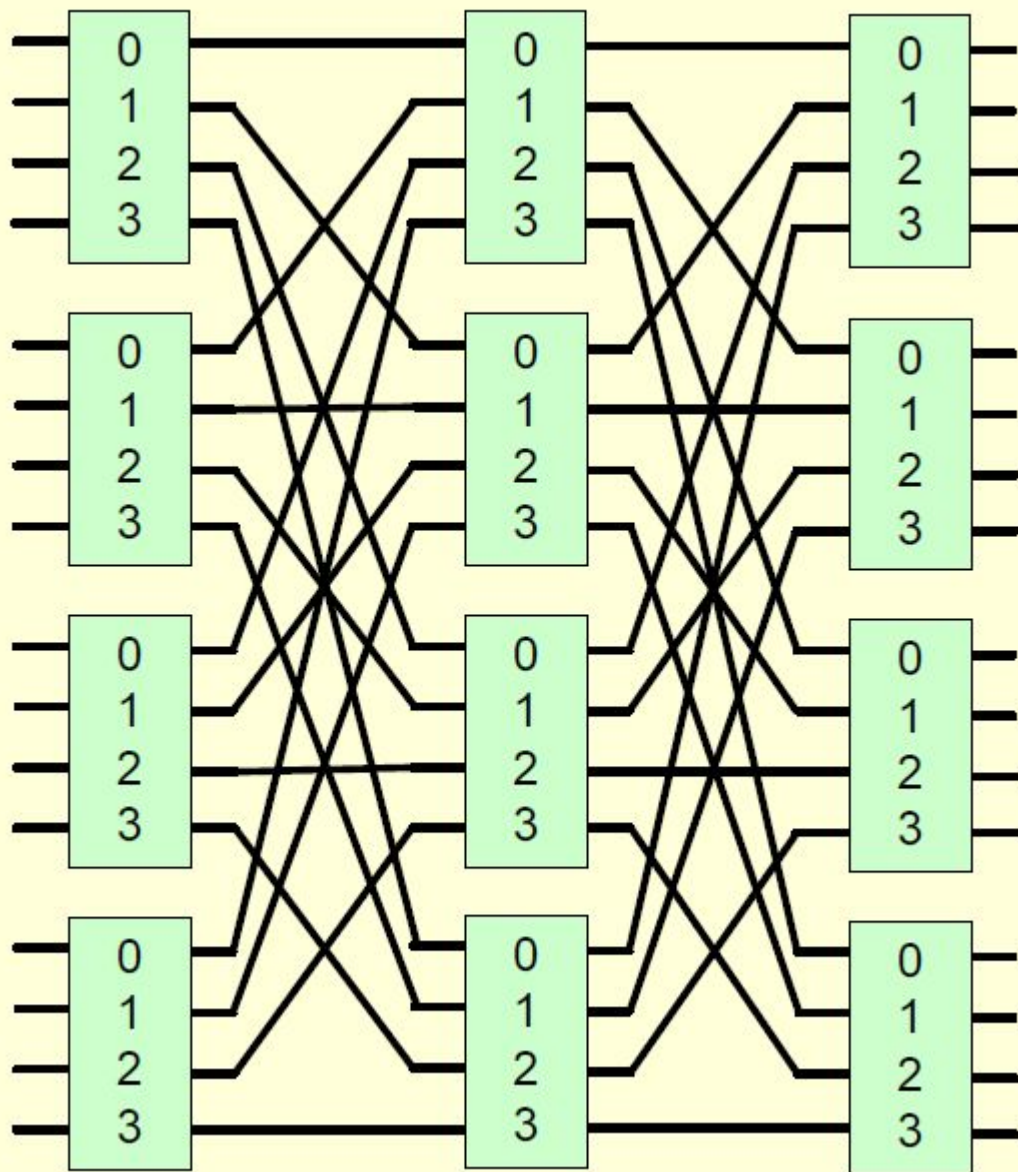
КМ “Баньян” належить до мереж з самомаршрутизацією, оскільки адреса пункту призначення не тільки визначає маршрут повідомлення до потрібного вузла, але й використовується для керування проходженням повідомлення по цьому маршруту. Кожен КЕ, до якого потрапляє пакет, перевіряє 1 біт адреси  $i$ , залежно від його значення, направляє повідомлення на вхід 1 або 2. Стан КЕ першого ярусу КМ (лівий стовпчик КЕ) визначається старшим бітом адреси вузла призначення. Середнім ярусом (другий стовпчик) управляє середній біт адреси, а третім ярусом (правий стовпчик) – молодший біт. Якщо значення біта рівне 0, то повідомлення пропускається через верхній вхід КЕ, а при одиничному значенні – через нижній.

### 3. Складні комутатори із просторовим розподілом

**Топологія “Омега”** є підкласом топології “Баньян”. Ці топології популярні через те, що комутація забезпечується простими КЕ, повідомлення передаються паралельно, а великі КМ можуть бути побудовані з мереж меншого розміру.



### 3. Складні комутатори із просторовим розподілом

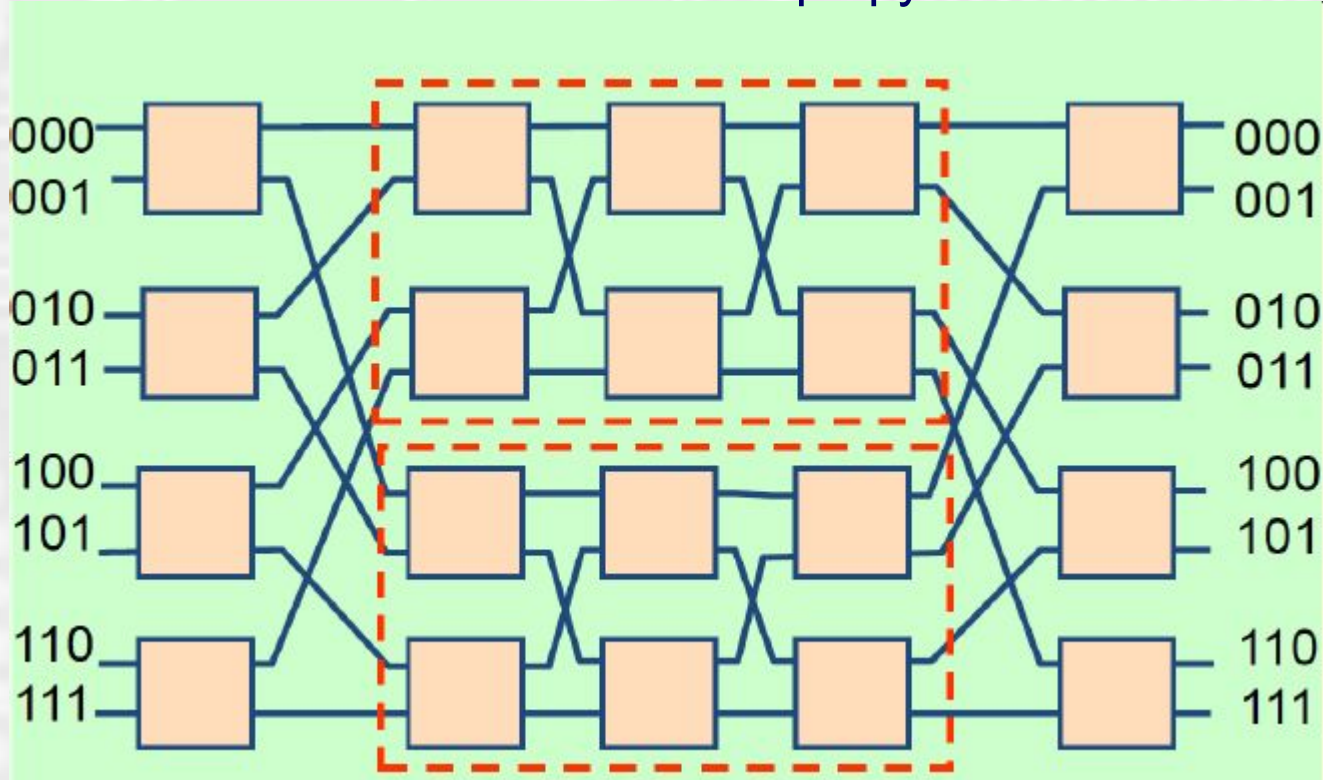


**КМ “Дельта”** з'єднує  $a^n$  входів та  $b^n$  виходів за допомогою  $n$  ступенів координатних комутаторів  $a^*b$ . Має властивість самомаршрутизації.

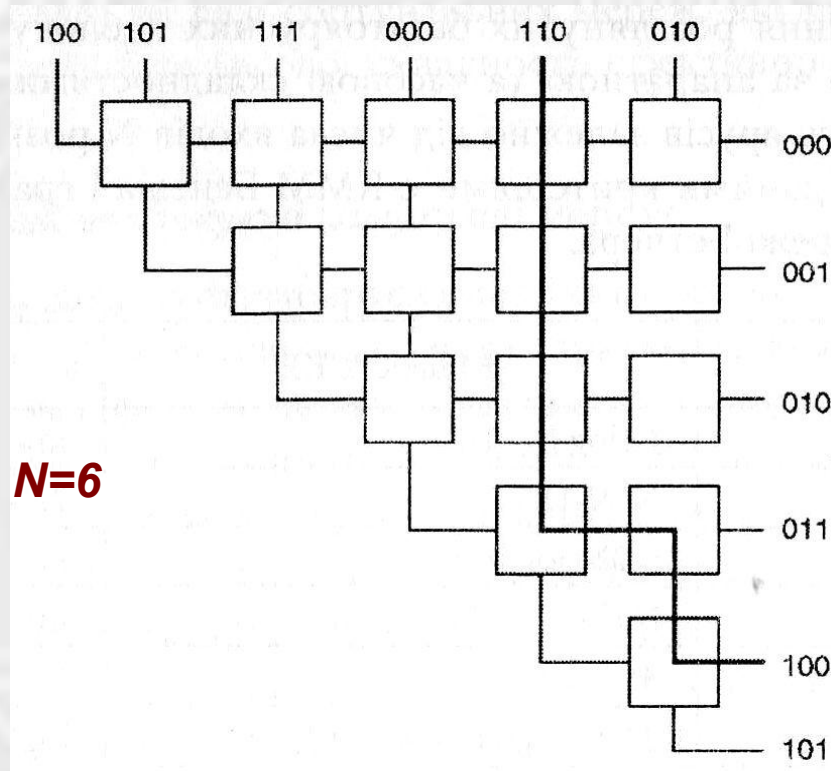
### 3. Складні комутатори із просторовим розподілом

**Багатоярусні неблокуючи КМ з реконфігурацією.** Вони забезпечують повний набір з  $M!$  перестановок та одночасне безконфліктне з'єднання довільного виходу з довільним входом.

**КМ Бенеша** ґрунтується на мережі “Баньян” – збільшується кількість КЕ та подвоюється кількість можливих маршрутів.



### 3. Складні комутатори із просторовим розподілом

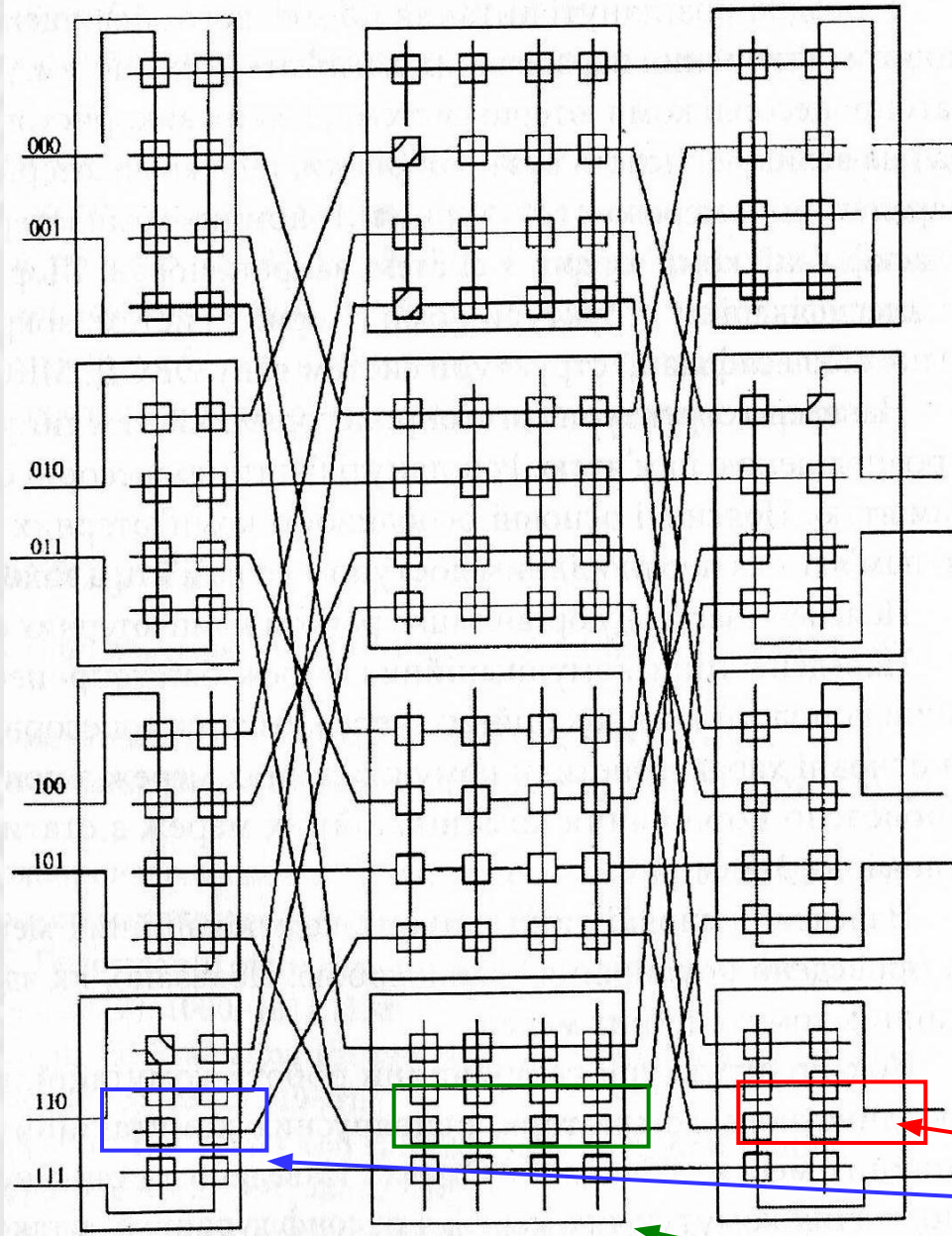


**КМ Каутца для N=6**

#### **Висновки:**

- Однорусні матричні КМ відрізняються високою швидкістю, проте мають недостатню надійність, нерегулярну структуру, велику кількість зв'язків між елементами, велику апаратну складність;
- Багаторусні КМ відрізняються регулярністю та однорідністю структури, а також локальністю зв'язків. У більшості структур багаторусних КМ вихід з ладу одного або декількох КЕ практично не впливає на їх працездатність.

### 3. Складні комутатори із просторовим розподілом



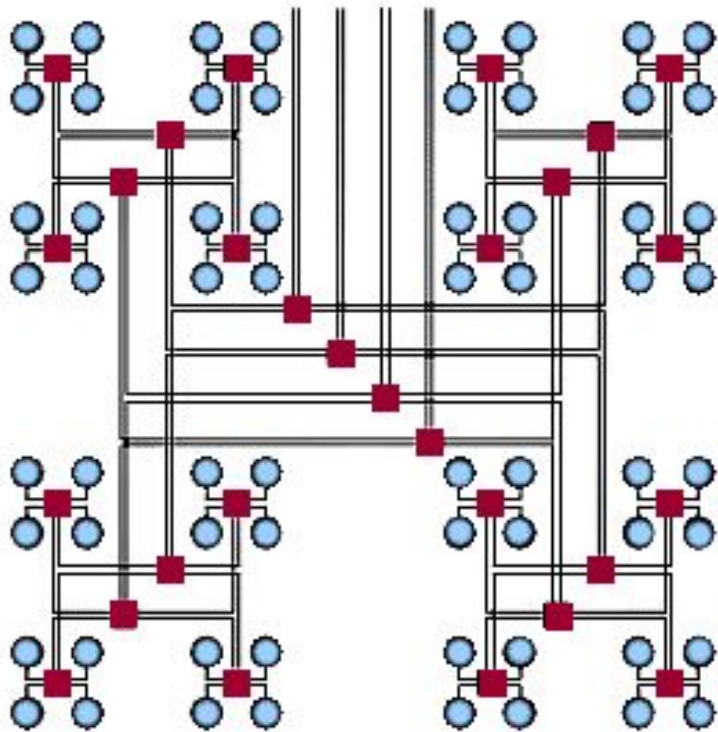
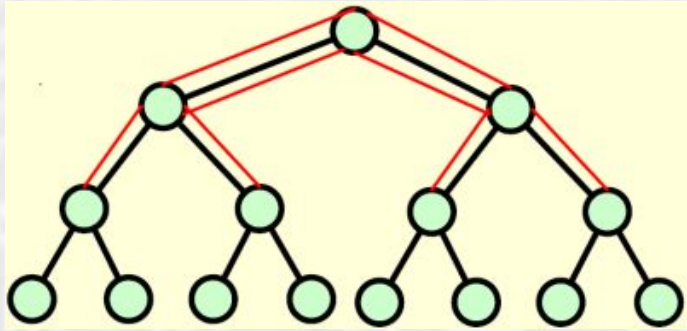
**Багатоярусна КМ Клоза** на основі координатних комутаторів, що містить не менше трьох ярусів, може бути неблокуючою, якщо кількість координатних комутаторів в проміжному ярусі  $m$  задовольняє умові:  $m = n_1 + n_2 - 1$ , де  $n_1$  – кількість входів комутаторів вхідного ярусу,  $n_2$  – кількість виходів комутаторів вихідного ярусу. Якщо  $n_1 = n_2$ , то матричні перемикачі в проміжному ярусі є повними координатними комутаторами і критерій неблокованості:  $m \geq 2n - 1$ . За умови  $m \geq n_2$  КМ Клоза є неблокуючою з реконфігурацією. В інших випадках вона стає блокуючою.

**Координатний комутатор 4x2**  
**Координатний комутатор 2x4**

**Триярусна КМ Клоза**

**Повний координатний комутатор 4x4**

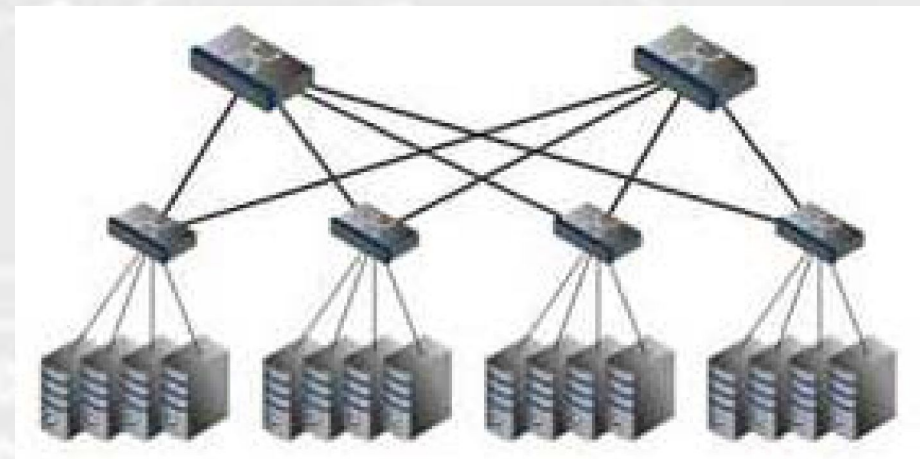
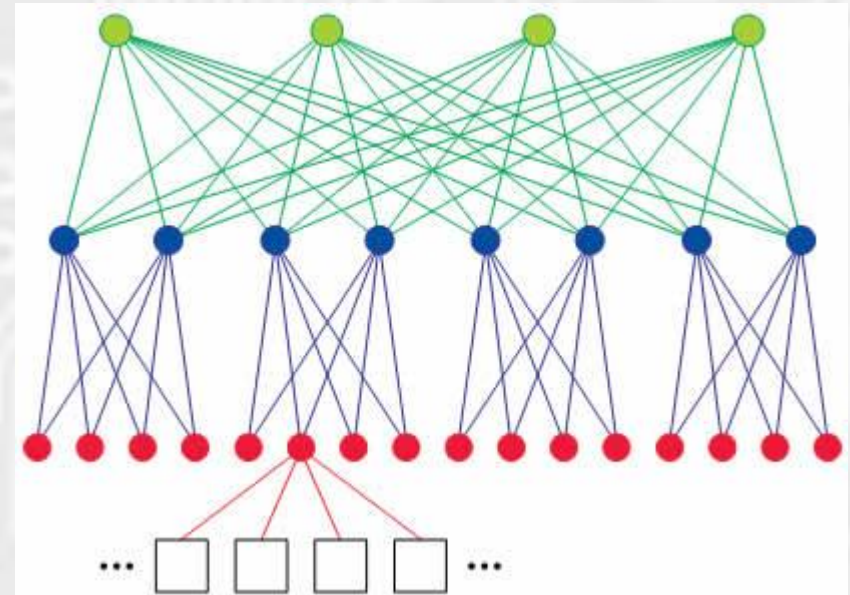
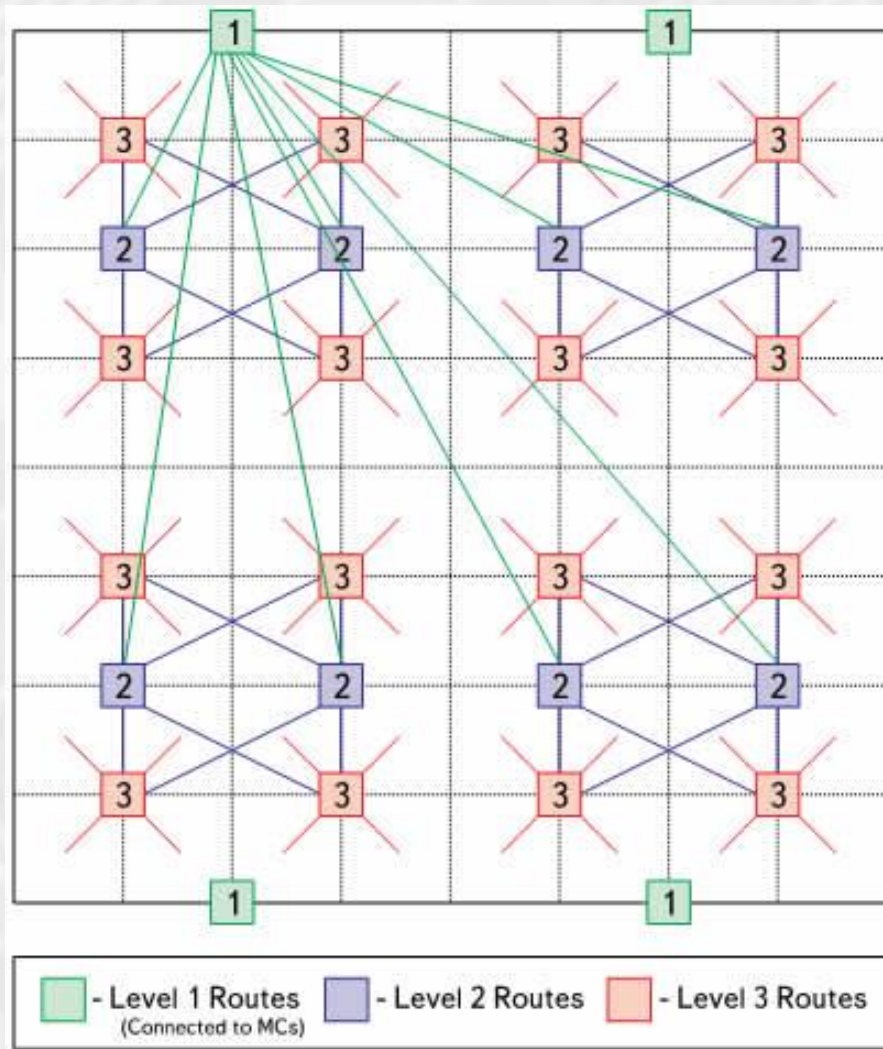
## 4. Топологія fat tree



**Топологія fat tree**

**Топологія “товстого дерева”** (*fat tree* або *hypertree*), запропонована Ч. Лейзерсоном (*Charles Leiserson*) у 1985 р., вважається однією з найбільш ефективних. Є розширенням класичної топології двійкового дерева. Тут процесори локалізовані в “листах” дерева, внутрішні вузли дерева скомпоновані у внутрішню мережу. Піддерева можуть обмінюватися інформацією без звернень до більш високих рівнів мережі. На відміну від класичної деревоподібної топології, де всі зв'язки між вузлами однакові, зв'язки в товстому дереві становляться більш “товстими” (мають більшу пропускну здатність) на кожному рівні в напрямку кореня дерева (наприклад, пропускну здатність на кожному рівні подвоюється). Приклад реалізації – КС СМ-5.

## 4. Топологія fat tree



**Логічна схема та реалізація КМ типу fat tree**



## ***Рекомендована література***

1. Мельник А.О. Архітектура комп'ютера. Наукове видання. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008. – 470 с.
2. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем. Учебник для вузов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2011. – 688 с.
3. Архитектура компьютерных систем и сетей: Учеб. Пособие / Барановская Т.П., Лойко В.И, Семенов М.И., Трубилин А.И.; М.: Финансы и статистика, 2003 – 256 с.
4. Корнеев В.П. Параллельные вычислительные системы. – М.: «Нолидж», 1999. – 320 с.
5. Михайлов Б.М., Халабия Р.Ф. Классификация и организация вычислительных систем: Учеб. пособие. – М.: МГУПИ, 2010. – 144 с.
6. Бройдо В.Л., Ильина О.П. Архитектура ЭВМ и систем: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2006. – 718 с.
7. Ульянов М.В. Архитектуры процессоров: Учеб. пособие. – М.: МГАПИ, 2002, -- 68 с.
8. Ремонтов А.П., Писарев А.П. Вычислительные машины и системы: Учеб. пособие. – Пенза: ПГУ, 2006, 96 с.
9. Шпаковский Г.И. Организация параллельных ЭВМ и суперскалярных процессоров: Учеб. пособие. – Мн.: Белгосуниверситет, 1996, 296 с.