



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРІВ ТА ПЕРИФЕРІЙНІ ПРИСТРОЇ

Навчальний посібник

Частина 1

Харків – 2018

УДК 004.2(075)
А 878

*Рекомендовано вченою радою Українського державного
університету залізничного транспорту як навчальний посібник
(витяг з протоколу № 6 від 26 червня 2018 р.)*

Рецензенти:

професори В. М. Самсонкін (ДУІТ, Київ)
А. Л. Єрохін (ХНУРЕ)

Авторський колектив:

С. Є. Бантюков, О. В. Чаленко, В. С. Меркулов,
І. Г. Бізюк, С. О. Бантюкова, О. Є. Пенкіна

А 878 Архітектура комп'ютерів та периферійні пристрої:
Навч. посібник / С. Є. Бантюков, О. В. Чаленко,
В. С. Меркулов та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – Ч. 1.
– 116 с., рис. 35, табл. 2.

ISBN 978-617-654-083-0

У першій частині навчального посібника розглядаються основні апаратні модулі IBM-сумісних комп'ютерів і організація взаємодії між цими модулями. Основна увага приділяється фізичним принципам їх побудови та ідеології їх роботи.

Посібник містить розділи, присвячені історії розвитку обчислювальної техніки, архітектурі цифрових комп'ютерів, основам побудови та функціонування комп'ютерів. Надано класифікацію сучасних комп'ютерів за архітектурою. Наведено класифікацію та принципи функціонування периферійних пристроїв ПК.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціальності "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" вищих навчальних закладів.

УДК 004.2(075)

ISBN 978-617-654-083-0

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2018
© Бантюков С. Є., Чаленко О. В.,
Меркулов В. С., Бізюк І. Г.,
Бантюкова С. О., Пенкіна О. Є.

Навчальний посібник

Бантюков Сергій Євгенович,
Чаленко Олександр Васильович,
Меркулов Віктор Сергійович
та ін.

**АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРІВ ТА
ПЕРИФЕРІЙНІ ПРИСТРОЇ**

Частина 1

Відповідальний за випуск Чаленко О. В.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 14.06.18 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 6,5. Тираж 35. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМП'ЮТЕРІВ	7
1.1. Історія та напрямки розвитку обчислювальної техніки	7
1.1.1. Еволюція засобів обчислювальної техніки	7
1.1.2. Покоління сучасних комп'ютерів	12
1.2. Системи числення	23
1.2.1. Непозиційні системи числення	24
1.2.2. Позиційні системи числення	26
1.2.3. Типи систем числення	27
1.2.4. Арифметичні операції у двійковій системі	28
1.3. Архітектура персонального комп'ютера	31
1.3.1. Рівні організації комп'ютерної архітектури	31
1.3.2. Класифікація архітектури комп'ютера	32
1.3.3. Цифровий логічний рівень архітектури комп'ютера	39
1.3.4. Булева алгебра	42
1.4. Персональний комп'ютер і його складові	48
1.4.1. Системна плата	49
1.4.2. Центральний процесор	53
1.4.3. Оперативна пам'ять	57
1.4.4. Шини материнської плати	59
РОЗДІЛ 2. ПЕРИФЕРІЙНІ ПРИСТРОЇ	65
2.1 Пристрої введення інформації	65
2.1.1. Клавіатура	66
2.1.2. Маніпулятор "миша"	67
2.1.3. Сенсорний екран	69
2.1.4. Сканер	71
2.2. Пристрої збереження інформації	74
2.3. Пристрої виведення інформації	90
2.4. Організація мережевої взаємодії комп'ютерів	105
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	116

ВСТУП

Персональний комп'ютер став обов'язковим атрибутом нашого життя. Ми користуємось ним на підприємстві та в навчанні, у сучасному офісі та вдома.

Інформаційні технології розвиваються такими швидкими темпами, що буквально через 1-2 роки, сьогоднішнє "чудо техніки" стане морально застарілим. Проте принципи побудови і функціонування комп'ютера залишаються незмінними ще з того часу, як математик Джон фон Нейман у 1945 році підготував доповідь про пристрій і функціонування універсальних обчислювальних пристроїв, тобто комп'ютерів. Зазвичай, персональні комп'ютери складаються з трьох частин: системного блока; клавіатури, що дозволяє вводити символи в комп'ютер; монітора — для зображення текстової і графічної інформації. У системному блоці комп'ютера містяться всі основні модулі комп'ютера, які розташовуються на головній платі (MotherBoard) комп'ютера. Також до головної плати ПК можна підключати різні за призначенням пристрої, які називають периферійними, розширюючи тим самим його функціональні можливості. Ці пристрої приєднуються за допомогою спеціальних роз'ємів, що знаходяться на материнській платі, або винесені на панель корпусу системного блока комп'ютера. Найголовнішим елементом у комп'ютері є мікропроцесор — невелика (декілька сантиметрів) електронна схема, що виконує всі обчислення і обробку інформації. Важливим елементом комп'ютера є оперативна пам'ять. Саме з неї процесор отримує програми і початкові дані для своєї роботи. Порядок і правила обробки конкретної інформації процесор отримує з програми, яка є послідовністю команд, зрозумілих даному процесору.

Електронні схеми кожного комп'ютера можуть розпізнавати і виконувати обмежений набір простих команд. Ці примітивні команди в сукупності складають мову, за допомогою якої люди можуть спілкуватися з комп'ютером. Така мова називається машинною.

Писати програми за допомогою машинних мов досить незручно та довго, тому розвиток комп'ютерної техніки зумовив розроблення мов програмування, близьких до мов спілкування

людей між собою, — їх називають мовами високого рівня. Програми, написані мовами високого рівня, перекладаються на машинну мову спеціальними програмами — компіляторами. Але не на всіх рівнях проектування комп'ютерної системи є можливість використання мов високого рівня.

Саме тому розробники подають комп'ютерну систему як багаторівневу структуру, де кожний рівень у заданих межах є її абстрактним уявленням. Такий підхід отримав назву багаторівневої архітектури комп'ютера.

У навчальному посібнику розглянуто історію створення цифрових ЕОМ, наукові відкриття, які зумовили етапи їх розвитку, архітектуру найпоширеніших комп'ютерів, призначення і принцип дії периферійних пристроїв, окремі рівні архітектури комп'ютерних систем.

Метою вивчення комп'ютерних дисциплін у ВНЗ є підготовка фахівців, які впевнено володіють сучасними засобами обчислювальної техніки, мають професійні навички використання, а в певних випадках і розроблення прикладного програмного забезпечення. Запорукою цього є знання "заліза" і логіки функціонування електронних компонентів комп'ютера — архітектури ПК та периферійних пристроїв, що дозволить дипломованому бакалавру обрати оптимальну конфігурацію обчислювальної системи відповідно до завдання, що вирішується.

Даний навчальний посібник призначений у першу чергу для студентів спеціальності "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології", які в рамках освітньої програми "Мережеві технології та комп'ютерна техніка" вивчають дисципліну "Архітектура комп'ютерів та периферійні пристрої" і студентів технічних спеціальностей, які вивчають дисципліни "Комп'ютерна техніка та програмування", "Алгоритмізація та програмування", "Обчислювальна техніка та програмування", "Комп'ютерна техніка та організація обчислювальних робіт", "Інформаційні технології". Він може бути корисним для учнів загальноосвітніх шкіл, ліцеїв, гімназій, коледжів, бакалаврів і магістрів, що вивчають комп'ютерні дисципліни і для самоосвіти та викладачам відповідних навчальних дисциплін.

Навчальний посібник розроблений колективом авторів у процесі викладання вищеназваних та окремих змістових модулів

споріднених дисциплін кафедри обчислювальної техніки та систем управління в Українському державному університеті залізничного транспорту та відповідає стандартам МОН України з цієї дисципліни.

Книга є першою складовою публікацій, що охоплюють весь навчальний матеріал дисципліни "Архітектура комп'ютерів та периферійні пристрої". Частина перша навчального посібника містить два розділи: "Основи побудови та функціонування комп'ютерів" і "Периферійні пристрої". У розд. 1 наведено історію розвитку, архітектуру, основні принципи побудови та функціонування персонального комп'ютера, його складові та їх класифікацію. У розд. 2 розглянуто пристрої введення/виведення та збереження інформації, організацію мережевої взаємодії комп'ютерів.

Матеріал навчального посібника можна рекомендувати як базовий для вивчення дисциплін "Алгоритмізація та програмування", "Числові методи і моделювання на ЕОМ", "Комп'ютерна техніка та організація обчислювальних робіт", дисциплін групи проектування і циклу комп'ютерних дисциплін професійної та практичної підготовки.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМП'ЮТЕРІВ

1.1. Історія та напрямки розвитку обчислювальної техніки

Друга половина ХХ століття характеризувалася початком "інформаційного вибуху", тобто необхідністю обробляти величезну кількість інформації. Для збору, зберігання, використання та поширення великого обсягу інформації необхідно було мати спеціальний пристрій. Таким пристроєм став комп'ютер — електронна обчислювальна машина (ЕОМ). У наш час комп'ютери представлені практично у всіх сферах життя людини. Для того щоб повністю оцінити вплив комп'ютерів на життя людини і її майбутнє, необхідно зрозуміти, якою була їх еволюція.

1.1.1. Еволюція засобів обчислювальної техніки

Сучасним комп'ютерам передували механічні та електромеханічні пристрої. У 1642 році французький філософ і математик Блез Паскаль у віці 18 років сконструював підсумовуючу машину. Машина Паскаля складалася з восьми рухомих дисків з прорізами і могла підсумовувати числа до восьми знаків. Для своєї машини Паскаль використовував десяткову систему числення. Наприклад, якщо перший диск зміщувався на десять прорізів, що становило його повний оберт, він переміщував наступний диск на одну позицію і таким чином збільшував кількість десятків на один. Коли диск, який являє собою десятки, робив повний оберт, він зміщував наступний диск, збільшуючи кількість сотень, і т. д.

Відомі і більш ранні спроби створення механічних підсумовуючих машин. Опис підсумовуючої машини, яка нагадує за характеристиками машину Паскаля, у 1967 році було знайдено в записках, що належать Леонардо да Вінчі. Подібний пристрій також був описаний у 1623 році Вільгельмом Шикардом. До наших днів дійшли тільки креслення Шикарда, виявлені в 1956 році. У 1694 році німецький філософ і математик Готфрід Вільгельм Лейбніц, використовуючи креслення і рисунки

Паскаля, вдосконалив машину Паскаля, додавши можливість множити числа. Замість звичайних шестерень Лейбніц використав покроковий барабан.

Однак великого поширення обчислювальні апарати отримали тільки в 1820 році, коли француз Чарльз Кальмар винайшов машину, яка могла виконувати чотири основні арифметичні дії. Машину Кальмара назвали арифмометром. Завдяки своїй універсальності арифмометри використовувалися досить тривалий час. Багато хто з вчених і винахідників вдосконалювали ці пристрої. Так, швед, який жив у Росії, Вільгодт Однер у 1880 році створив арифмометр, у якому використовувалася змінна кількість зубців. Пізніше на основі арифмометра Однера був створений арифмометр "Фелікс", що випускався в СРСР аж до 1970-х років.

Початок ери комп'ютерів у тому вигляді, у якому вони існують зараз, пов'язано з ім'ям англійського математика Чарльза Беббіджа, який у 30-х роках XIX століття запропонував ідею обчислювальної машини, здійснену лише в середині XX століття. Беббідж звернув увагу на те, що машина може без помилок виконувати обчислення великих математичних таблиць за допомогою простого повторення кроків. Працюючи над цією проблемою, у 1823 році Беббідж запропонував проект машини для розв'язування диференціальних рівнянь. Для повторення операцій у машині Беббіджа повинна була використовуватися енергія пари. Таким чином, процес обчислень дійсно був автоматизований. Надалі Беббідж вирішив створити модель, здатну виконувати широке коло завдань, яку назвав аналітичною машиною.

В аналітичній машині Беббіджа були всі основні риси сучасного комп'ютера. Машина, що складалась з більш ніж 50000 компонентів, включала пристрій введення інформації, блок управління, запам'ятовуючий пристрій, пристрій виведення результатів. Аналітична машина могла виконувати певний набір інструкцій, які записувалися на перфокартах. Перфокарти являли собою прямокутні картки з картону. Кожній інструкції аналітичної машини відповідала певна послідовність отворів, які пробивалися на перфокартах, а потім за допомогою пристрою введення надходили в блок управління. Хоча аналітична машина в тому вигляді, у якому її задумував Беббідж, так і не була

створена, ідеї, закладені Беббіджем, мали величезний вплив на розвиток обчислювальної техніки. Автоматизація обчислень, універсальність обчислювальної машини, набір внутрішніх інструкцій, спільна конструктивна схема, організація введення та виведення інформації — всі ці елементи згодом були використані при створенні комп'ютера.

У 1832 році С. М. Корсаковим були запропоновані різні обчислювальні ("інтелектуальні") машини, які здійснювали складні логічні операції, що дозволяли знаходити рішення за заданими умовами, наприклад визначати відповідні ліки за симптомами захворювання.

У 1889 році німець, який жив у США, Герман Холлеріт сконструював перфокартковий пристрій (рис. 1) для розв'язання статистичних задач і заснував фірму з виробництва обчислювальних машин, яка з 1915 року стала називатися ІВМ — International Business Machines (Міжнародні Ділові Машини), оскільки розташовувалася не тільки в США, але і в Німеччині.

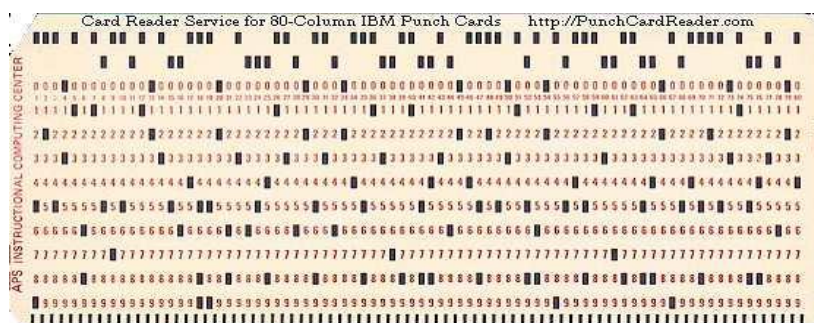


Рис. 1.1. Перфокарта Германа Холлеріта, яка використовувалась в обчислювальних машинах сто років (з 1886 по 1986)

На відміну від ідеї Беббіджа, зберігати на перфокартах інструкції, Холлеріт використав перфокарти для зберігання даних. Крім того, для роботи перфокарткового пристрою використовувалась електрика. Цифри на перфокарті зображувалися одинарними отворами, а літери алфавіту — подвійними. Спеціальний електричний прилад розпізнавав отвори на перфокартах і посилав сигнали в пристрій, який їх обробляв. Обчислювальна машина Холлеріта була на ті часи дуже швидким пристроєм обробки даних, а перфокарти — зручним

способом зберігання даних. Машина Холлеріта була використана для обробки результатів перепису населення США. Обробка результатів попереднього 1880 року перепису зайняла близько 10 років. За цей час встигло вирости нове покоління американців. За допомогою машини Холлеріта ті самі дані були оброблені лише за шість тижнів. У 1896 році Холлеріт заснував компанію з виробництва перфораторів (рис. 2) — Tabulating Machine Company, яка у ХХ столітті перетворилась у відому корпорацію з виробництва комп'ютерів — ІВМ.

Крім механічних і електромеханічних обчислювальних машин, з'явилися також аналогові обчислювальні машини, у яких обробка інформації відбувалася за допомогою спеціально підбраного фізичного процесу, що моделює закономірність, яку треба знайти. Найпростішою аналоговою обчислювальною машиною є годинник. Першими аналоговими машинами були пристрої, у яких головними елементами були інтегруючі і диференціюючі пристрої, що дозволили миттєво обчислювати інтеграл і похідну заданої функції, відстежуючи її зміну в часі.

Корисною властивістю аналогової обчислювальної машини є практично миттєве отримання рішення після задавання необхідних параметрів завдання встановлення моделюючого фізичного процесу. Однак коло завдань, які може вирішувати аналогова машина, обмежене тими фізичними процесами, які вона в змозі моделювати. Крім того, точність вирішення аналогової машини часто недостатня для певного кола завдань, а підвищення точності пов'язано зі значним зростанням вартості обчислень.

З іншого боку, механічні та електромеханічні обчислювальні машини призначені для вирішення складних завдань, які вимагають наявності величезної кількості елементів для подання чисел і встановлення зв'язків між ними, що істотно ускладнює їх роботу.

У 1936 році англійський математик Алан Тюрінг опублікував роботу "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem", заклавши теоретичні основи теорії алгоритмів. Концепція Тюрінга виникла в результаті проведеного ним аналізу дій людини, яка виконує за заздальгідь розробленим планом ті чи інші обчислення, тобто послідовні перетворення знакових комплексів. Цей аналіз у свою чергу був здійснений ним з метою вирішення проблеми пошуку точного математичного

еквівалента для загального інтуїтивного уявлення про алгоритм. Робота Тюрінга стимулювала виникнення абстрактної теорії автоматів і багато в чому визначила її особливості.



Рис. 1.2. Табулятор IBM (1937 рік), який застосовувався для механізації статистичної справи в багатьох країнах, у тому числі і в СРСР

У своїй роботі Тюрінг описав абстрактну обчислювальну машину, яка отримала назву "машина Тюрінга". Машина Тюрінга являє собою автоматичний пристрій, здатний перебувати в кінцевому числі внутрішніх станів і забезпечений нескінченною зовнішньою пам'яттю — стрічкою. Серед станів виділяються два — початковий і кінцевий. Стрічка поділена на клітинки. У кожному клітинку може бути записана будь-яка з літер певного алфавіту. У порожню клітинку записана "порожня літера". У кожен момент часу машина Тюрінга знаходиться в одному зі своїх станів і, розглядаючи одну з клітинок стрічки, сприймає записаний у ній символ.

Машина Тюрінга робить крок, який визначається її поточним станом і символом, що сприймається в даний момент на стрічці. Крок машини Тюрінга може бути таким:

- у розглянутій клітинці записується символ, що збігається зі старим, або порожній;

- машина переходить у новий стан, що збігається зі старим, або кінцевий;
- стрічка зсувається на одну клітинку або залишається на місці.

Перелік усіх можливих кроків машини Тюрінга залежно від поточної комбінації некінцевого стану і встановленого символу називається програмою для даної машини Тюрінга. Конфігурація машини Тюрінга визначається конкретним заповненням клітинок стрічки символами і внутрішнім станом, у якому машина перебуває. Якщо зафіксувати деяку незакінчену конфігурацію машини в якості вихідної, то робота машини буде полягати в послідовному перетворенні вихідної конфігурації відповідно до програми машини до тих пір, поки не буде досягнуто кінцевого стану.

Тюрінг не переслідував мету винайти комп'ютер. Тим не менш описана ним абстрактна машина визначила деякі характеристики сучасних комп'ютерів. Так, наприклад, нескінченна стрічка є аналогом оперативної пам'яті сучасного комп'ютера.

1.1.2. Покоління сучасних комп'ютерів

Розвиток обчислювальної техніки прийнято розглядати з точки зору зміни поколінь комп'ютерів. Кожне покоління комп'ютерів на початку розвитку характеризується якісним стрибком у зростанні основних характеристик комп'ютера, викликаним, як правило, переходом на нову елементну базу, а також відносною стабільністю архітектурних і логічних рішень.

Розмежування поколінь комп'ютерів за роками досить умовне. У той час як починалося активне використання комп'ютерів одного покоління, створювалися умови для виникнення наступного. Крім елементної бази, на формування комп'ютерів одного покоління впливають такі показники розвитку: швидкодія, архітектура, програмне забезпечення, рівень розвитку зовнішніх пристроїв. Окремим важливим якісним показником є розширення сфери застосування комп'ютерів.



Рис. 1.3. Електронні вакуумні лампи

Перше покоління комп'ютерів (1938-1956 роки).

На початку другої світової війни уряди різних країн почали розробляти обчислювальні машини, усвідомлюючи їхню стратегічну роль у веденні війни. Збільшення фінансування значною мірою стимулювало розвиток обчислювальної техніки. У 1930-ті роки німецькі вчені та інженери розробили принципи побудови електронних обчислювальних машин на основі вже працюючих у той час, табулятора Холлеріта і механічних арифмометрів. У 1940 році була запущена перша у світі електронна обчислювальна машина Z1, створена під керівництвом німецького інженера Конрада Цузе, а в наступному, 1941 році, — значно вдосконалена модель Z2, яка виконувала розрахунки, необхідні при проектуванні літаків і балістичних ракет Вернера фон Брауна, а також використовувалася для обчислення критичної маси ядерної реакції розпаду суміші урану 238 і 235, збагаченням якого займалася німецька промисловість у ті роки, створюючи перший атомний реактор на урані.

У 1943 році англійські інженери завершили створення обчислювальної машини для дешифрування повідомлень німецької армії, яку назвали "Колос". Однак ці пристрої не були універсальними обчислювальними машинами, вони призначалися тільки для вирішення конкретних завдань.

У 1944 році, отримавши дані про німецькі розробки через розвідку, американський інженер Говард Ейкен за підтримки фірми ІВМ сконструював комп'ютер для виконання розрахунків для балістичних ракет. Цей комп'ютер під назвою "Mark I", займав площу приблизно в половину футбольного поля і мав понад 600 кілометрів кабелю. У комп'ютері "Mark I" використовувався принцип електромеханічного реле, який полягає в тому, що електромагнітні сигнали переміщали механічні частини. "Mark I" був досить повільною машиною. Він управлявся за допомогою програми, яка зчитувалась з перфострічки. Наприклад, для виконання одного обчислення було потрібно 3-5 с. Однак, незважаючи на величезні розміри і повільність, "Mark I" дав можливість, змінюючи програму, яка вводиться, вирішувати досить широкий клас математичних завдань.

У 1946 році американські вчені Джон Моклі і Дж. Преспер Еккерт сконструювали електронний обчислювальний інтегратор і калькулятор (ENIAC) — комп'ютер, у якому електромеханічні реле були замінені на електронні вакуумні лампи (рис. 1.3). Застосування вакуумних ламп дозволило збільшити швидкість роботи ENIAC у 1000 разів у порівнянні із "Mark I". Складався ENIAC із 18000 вакуумних ламп, 70000 резисторів, 5 мільйонів з'єднувальних спайок і споживав 160 кВт електричної енергії, що на ті часи було досить для освітлення невеликого міста. ENIAC використовувався для розрахунку балістичних таблиць, обчислень у галузі атомної енергетики, аеродинаміки.

На початку обчислювальні машини могли виконувати тільки команди, що надходили ззовні, причому команди виконувалися по черзі. Хоча використання перфокарт дозволяло спростити процес введення команд, тим не менш налаштування обчислювальної машини і введення команд займали більше часу, ніж, власне, вирішення поставленого завдання.

У 1951 році був створений перший комп'ютер, призначений для комерційного використання, — UNIVAC I (*UNIVersal Automatic Computer I* - універсальний автоматичний комп'ютер). У 1952 році з допомогою UNIVAC I був спрогнозований результат виборів президента США.

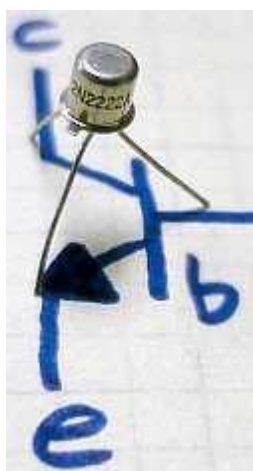
Роботи зі створення обчислювальних машин велися й в СРСР. Так, у 1950 році в Інституті електроніки Академії наук України під керівництвом академіка Сергія Олексійовича Лебедева була розроблена і введена в експлуатацію МЕРМ (мала електронна рахункова машина). МЕРМ стала першою вітчизняною універсальною ламповою обчислювальною машиною. У 1952-1953 роках МЕРМ залишалася найбільш швидкодіючою (50 операцій за секунду) обчислювальною машиною в Європі. Принципи побудови МЕРМ були розроблені С. О. Лебедевим незалежно від аналогічних робіт на Заході [8].

У комп'ютерах першого покоління використовувалася машинна мова — спосіб запису програм, який припускає їх безпосереднє виконання на комп'ютері. Програма на машинною мовою являє собою послідовність машинних команд, припустимих для даного комп'ютера. Процесор безпосередньо сприймає і

виконує команди, записані у вигляді двійкових кодів. Для кожного комп'ютера існувала своя власна машинна мова.

Поява першого покоління комп'ютерів стала можливою завдяки трьом технічним нововведенням: електронним вакуумним лампам, цифровому кодуванню інформації і створенню пристроїв пам'яті на основі електростатичних трубок. Комп'ютери першого покоління мали невисоку продуктивність (до декількох тисяч операцій за секунду). Засоби програмування та програмного забезпечення ще не були розвинені, використовувалася низькорівнева машинна мова. Сфера застосування комп'ютерів була обмеженою.

Друге покоління комп'ютерів (1956-1963 роки). Електронні вакуумні лампи виділяли велику кількість тепла, поглинали багато електричної енергії, були громіздкими і дорогими, мали низьку швидкодію і невисоку надійність. У 1947 році співробітники американської компанії "Белл" Вільям Шоклі, Джон Бардін і Уолтер Братейн винайшли транзистор (рис. 1.4). Транзистори виконували ті самі функції,



що і електронні лампи, використовуючи електричні властивості напівпровідників. Порівняно з вакуумними трубками транзистори займали у 200 разів менше місця і споживали в 100 разів менше електроенергії. У той же час з'являються нові пристрої для організації пам'яті комп'ютерів — феритові осердя. Із винаходом транзистора і використанням нових технологій зберігання даних у пам'яті з'явилася можливість значно зменшити розміри комп'ютерів, зробити їх більш швидкими і надійними, а також значно збільшити ємність пам'яті комп'ютерів.

У 1954 році компанія Texas Instruments оголосила про початок серійного виробництва транзисторів, а в 1956 році вчені Массачусетського технологічного інституту створили перший повністю побудований на транзисторах комп'ютер TX-O.

Машинна мова, яка застосовувалася в першому поколінні комп'ютерів, була вкрай незручною для сприйняття людиною.

Числове кодування операцій, адрес комірок з інформацією, яка оброблялася, залежність виду програми від її місця в пам'яті не давали можливості стежити за змістом програми. Для подолання цих незручностей була створена мова асемблер. Для запису кодів операцій та інформації, яка обробляється, в асемблері використовувалися стандартні позначення, які дозволили записувати числа і текст у загальноприйнятій формі, а для кодів команд — прийняті мнемонічні позначення. Для позначення величин, що розміщуються в пам'яті, можна застосовувати будь-які імена, що відповідають змісту програми. Після введення програми асемблер сам замінює символічні імена на адреси пам'яті, а символічні коди команд на числові. Використання асемблера зробило процес написання програм більш наочним.

Наприкінці 1950-х — початку 1960-х років комп'ютери другого покоління стали інтенсивно використовуватися державними організаціями і великими компаніями для вирішення різних завдань. До 1965 року значна частина великих компаній обробляла фінансову інформацію за допомогою комп'ютерів, які поступово набували рис сучасних. У цей період були сконструйовані такі пристрої, як плотер і принтер, носії інформації на магнітній стрічці і магнітних дисках і т. ін.

Розширення сфери застосування комп'ютерів потребувало створення нових технологій програмування. Програмне забезпечення, написане мовою асемблер для одного комп'ютера, було непридатне для роботи на іншому комп'ютері. Через це, зокрема, не вдавалося створити стандартну операційну систему — основне програмне забезпечення комп'ютера, тому що кожен виробник комп'ютерів розробляв свою операційну систему на своєму асемблері.

Фахівці, які використовують у своїй діяльності комп'ютери, відчували потребу в більш природних мовах, які б спрощували процес програмування, а також дозволяли переносити програми з одного комп'ютера на інший. Такі мови програмування отримали назву мов високого рівня. Для їх використання необхідно мати компілятор (або інтерпретатор), тобто програму, яка перетворює оператори мови в машинну мову даного комп'ютера.

У цілому даний період розвитку обчислювальної техніки характеризується застосуванням для створення комп'ютерів

транзисторів і пам'яті на феритових осердях, збільшенням швидкодії комп'ютерів до декількох сотень тисяч операцій в секунду, виникненням нових технологій програмування, мов програмування високого рівня, операційних систем. Комп'ютери другого покоління отримали велике поширення, вони використовувалися для наукових, інженерних і фінансових розрахунків, для обробки великих обсягів даних на підприємствах, у банках, державних організаціях.

Третє покоління комп'ютерів (1964-1977 роки). У 1958 році інженер компанії Texas Instruments Джек Кілбі запропонував ідею інтегральної мікросхеми — кремнієвого кристала, на який монтуються мініатюрні транзистори та інші елементи. У тому ж році він представив перший зразок інтегральної мікросхеми, що містить п'ять транзисторних елементів на кристалі германію. Мікросхема



Рис. 1.5. Зовнішній вигляд інтегральної мікросхеми

Кілбі займала трохи більше сантиметра площі і була кілька міліметрів товщиною. Рік потому, незалежно від Кілбі, Нойс розробив інтегральну мікросхему на основі кристала кремнію. Надалі Роберт Нойс заснував компанію "Інтел" з виробництва інтегральних мікросхем (рис. 1.5). Мікросхеми працювали значно швидше за транзистори і споживали значно менше енергії.

Перші інтегральні мікросхеми склалися лише з декількох елементів. Однак, використовуючи напівпровідникову технологію, вчені досить швидко навчилися розміщувати на одній інтегральній мікросхемі спочатку десятки, а потім сотні і більше транзисторних елементів.

У 1964 році компанія IBM випустила комп'ютер IBM System 360, побудований на основі інтегральних мікросхем. Сімейство комп'ютерів IBM System 360 — найчисленніше сімейство комп'ютерів третього покоління і одне з найбільш вдалих в історії обчислювальної техніки. Випуск цих комп'ютерів можна вважати початком масового виробництва обчислювальної техніки. Разом було випущено більше 20 000 примірників System 360.

IBM System 360 належить до класу так званих мейнфреймів. Компанія DEC (Digital Equipment Corporation) представила

модель мінікомп'ютера PDP-8. Міні-комп'ютери, або комп'ютери середньої продуктивності, характеризуються високою надійністю і порівняно низькою вартістю. Цей факт дозволив почати застосовувати їх у невеликих організаціях — дослідних лабораторіях, офісах, невеликих промислових підприємствах.

У той же час відбувалося вдосконалення програмного забезпечення. Операційні системи будувалися таким чином, щоб підтримувати більшу кількість зовнішніх пристроїв; з'явилися перші комерційні операційні системи і нові прикладні програми. У 1968 році на одній з конференцій Дуглас Енгельбарт зі Станфордського інституту продемонстрував створену ним систему взаємодії комп'ютера з користувачем, що складається з клавіатури, маніпулятора "миші" і графічного інтерфейсу, а також деякі програми, зокрема текстовий процесор і систему гіпертексту. У 1964 році з'явилася мова програмування Бейсик (BASIC — Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code), призначена для навчання програмістів-початківців. Бейсик забезпечував швидке введення і перевірку програм. Він не дуже був прийнятним для написання серйозних програм, однак давав загальне уявлення про програмування і дозволяв багатьом далеким від комп'ютерів людям швидко оволодіти основними навичками програмування. У 1970 році швейцарець Ніклас Вірт розробив мову програмування Паскаль, також призначену для навчання принципам програмування. Паскаль, який створювався як мова для навчання програмуванню, виявився дуже зручним для вирішення багатьох прикладних завдань. Він забезпечував застосування методів структурного програмування, що стало в нагоді при створенні великих програмних систем.

Основою для комп'ютерів третього покоління стали інтегральні мікросхеми, що дозволили значно зменшити вартість і розміри комп'ютерів, почати масове виробництво комп'ютерів. У даний період розвитку обчислювальної техніки продовжувалося збільшення швидкості обробки інформації. Комп'ютери третього покоління працювали зі швидкістю до одного мільйона операцій за секунду. З'явилися нові зовнішні пристрої, що полегшили взаємодію людини з комп'ютером. Збільшення швидкодії комп'ютерів і сфери їх застосування вимагало розроблення нових методів створення програмного

забезпечення. З'явилися перші комерційні операційні системи реального часу, спеціально розроблені для них мови програмування високого рівня. Сфери застосування комп'ютерів третього покоління надзвичайно різні: системи обробки даних, управління, проектування, вирішення різних комерційних завдань.

Четверте покоління комп'ютерів (1978-1991 роки). У 1965 році голова ради директорів компанії "Intel" Гордон Мур припустив, що кількість елементів на інтегральних мікросхемах має подвоюватися кожні 18 місяців. У подальшому це правило, відоме як "закон Мура", було застосоване до швидкості мікропроцесорів і досі не порушувалося. У 1969 році компанія "Intel" випустила ще один важливий для розвитку обчислювальної техніки пристрій — мікропроцесор. Мікропроцесор являє собою інтегральну мікросхему, на якій розташований пристрій, що обробляє інформацію і має власну систему команд. Конструкція мікропроцесора дозволяє застосовувати його для вирішення широкого кола завдань, створюючи при цьому різні функціональні пристрої. Використання мікропроцесорів значно спростило конструкцію комп'ютерів. Практично відразу мікропроцесори почали широко використовуватись у різних системах управління від побутових приладів до космічних апаратів.

Протягом наступних десятиліть, дотримуючись закону Мура, продовжувалося збільшення швидкості та інтеграції мікропроцесорів. З'явилися надвеликі інтегральні схеми, що містили сотні тисяч і навіть мільйони елементів в одному кристалі.

Практично одночасно з мікропроцесорами з'явилися мікрокомп'ютери, або персональні комп'ютери (ПК), особливістю яких стали невеликі розміри і низька вартість. Завдяки своїм характеристикам ПК надали можливість практично будь-якій людині познайомитися з обчислювальною технікою. Комп'ютери перестали бути прерогативою великих компаній і державних установ, а перетворилися в товар масового споживання.

Одним з піонерів у виробництві ПК була компанія Apple. Її засновники Стів Джобс і Стів Возняк зібрали першу модель ПК в 1976 році і назвали її Apple I. У 1977 році вони представили свій комп'ютер членам комп'ютерного клубу в Каліфорнії і наступного

дня отримали замовлення на 50 подібних комп'ютерів. Вартість першого ПК становила лише 500 доларів. У тому ж 1977 році компанія Apple представила наступну модель ПК Apple II. У новій моделі був витончений пластиковий корпус з вбудованою клавіатурою. Вперше комп'ютер набув рис побутового приладу. Продажі ПК різко зросли. Apple II остаточно зламав уявлення про комп'ютер як про величезний залізний монстр, у нього був витончений дизайн і доброзичливий інтерфейс взаємодії з користувачем.

ПК не цікавили великі компанії до 1979 року, коли з'явився перший процесор електронних таблиць — VisiCalc. Ідея VisiCalc була запропонована студентом Гарварду Деном Брікліном, якому довелося вирішувати складні фінансові завдання, що вимагають великої кількості обчислень. Зі своїм другом Бобом Френкстоном вони написали VisiCalc для комп'ютера Apple II. Програма виявилася настільки зручною для фінансових обчислень, що багато компаній стали купувати Apple II з VisiCalc для своїх співробітників.

У 1981 році найбільша комп'ютерна компанія IBM представила свій перший ПК IBM PC. Протягом двох років було продано більше п'яти мільйонів цих комп'ютерів. У той же час компанія Microsoft розпочинає випуск програмного забезпечення для IBM PC. З'являються клони IBM PC, але всі вони так чи інакше, відображають стандарти, закладені IBM. Поява клонів IBM PC сприяла зростанню промислового виробництва ПК.

У 1984 році компанія Apple представила комп'ютер "Macintosh". Операційна система Macintosh включала в себе графічний інтерфейс користувача, що дозволяло вводити команди, вибираючи їх за допомогою покажчика "миші". Самі команди були представлені у вигляді невеликих графічних зображень-піктограм. Простота використання в поєднанні з великим набором текстових і графічних програм зробила цей комп'ютер ідеальним для невеликих офісів, видавництв, шкіл і навіть дитячих садків. З появою "Macintosh" персональний комп'ютер став ще більш доступним. Для роботи з ним більше не потрібно ніяких спеціальних навичок, а тим більше знання програмування. У 1984 році компанія Apple показала на телебаченні перший ролик, присвячений рекламі ПК. Комп'ютер

дійсно перестав бути чимось особливим і перетворився на звичайний побутовий прилад.

Протягом лише 50 років комп'ютери перетворилися з незграбних дивовижних електронних монстрів у потужний, гнучкий, зручний і доступний інструмент. Комп'ютери стали символом прогресу у ХХ столітті. По мірі того як людині доводиться обробляти все більшу кількість інформації удосконалюються і засоби її обробки — комп'ютери.

П'яте покоління ЕОМ (з 1980- до теперішнього часу). Відповідно до загальноприйнятої методики оцінки розвитку обчислювальної техніки першим поколінням вважалися лампові комп'ютери, другим — транзисторні, третім — комп'ютери на інтегральних схемах, а четвертим — з використанням мікропроцесорів. У той час як попередні покоління вдосконалювалися за рахунок збільшення кількості елементів на одиницю площі (мініатюризації), комп'ютери п'ятого покоління повинні були стати наступним кроком і для досягнення надпродуктивності здійснювати взаємодію необмеженого набору мікропроцесорів.

Ідею комп'ютерів п'ятого покоління вперше запропонувала Японія.

Міністерство міжнародної торгівлі і промисловості Японії (МІТІ) вирішило форсувати прорив Японії в лідери комп'ютерних технологій, і з кінця 1970-х років ініціювало прогнозування майбутнього обчислювальних систем. Ця робота була доручена Японському центру розвитку обробки інформації (JIPDEC), який повинен був вказати кілька найбільш перспективних напрямків для майбутніх розробок, а в 1979 році був запропонований трирічний контракт для глибших досліджень з підключенням промислових та академічних організацій. З цього часу ними почав використовуватися термін "комп'ютери п'ятого покоління", тому що він вже давно і широко обговорювався міжнародним експертним співтовариством.

Головні напрямки досліджень були такими:

- технології логічних висновків (inference) для обробки знань;
- технології для роботи з надвеликими базами даних і базами знань;

- робочі станції з високою продуктивністю;
- комп'ютерні технології з розподіленими функціями;
- суперкомп'ютери для наукових обчислень.

Ішлося про комп'ютер з паралельними процесорами, що працюють з даними, які зберігаються у великій базі даних, а не у файловій системі. При цьому доступ до даних повинен був здійснюватися за допомогою мови логічного програмування. Передбачалося, що прототип машини буде мати продуктивність між 100 млн і 1 млрд LIPS (LIPS — це логічний висновок у секунду). На той час типові робочі станції були здатні на продуктивність близько 100 тисяч LIPS. Хід розробок представлявся так, що комп'ютерний інтелект, набираючи потужність, починає змінювати сам себе, і метою було створити таке комп'ютерне середовище, яке почне виробляти наступне, причому принципи, на яких буде побудований остаточний комп'ютер, були заздалегідь невідомі. Ці принципи треба виробити в процесі експлуатації перших комп'ютерів.

Наступні десять років проект «комп'ютерів п'ятого покоління» став відчувати ряд труднощів різного типу.

Перша проблема полягала в тому, що мова Пролог, обрана за основу проекту, не підтримувала паралельних обчислень, і довелося розробляти власну мову, здатну працювати в мультипроцесорному середовищі. Це виявилось важким - було запропоновано кілька мов, кожна з яких мала власні обмеження.

Інша проблема виникла з продуктивністю процесорів. Виявилось, що технології 1980-х років швидко перескочили ті бар'єри, які перед початком проекту вважалися «очевидними» і непереборними. А запаралелювання багатьох процесорів не викликало очікуваного різкого стрибка продуктивності. Вийшло так, що робочі станції, створені в рамках проекту, успішно досягли і навіть перевершили необхідні потужності, але до цього часу з'явилися комерційні комп'ютери, які були ще потужнішими.

Крім того, проект «комп'ютери п'ятого покоління» виявився помилковим з точки зору технології виробництва програмного забезпечення. Ще до початку розроблення цього проекту фірма Хехох розробила експериментальний графічний інтерфейс (GUI). А пізніше з'явився Інтернет, і виникла нова концепція розподілу і зберігання даних. При цьому пошукові машини призвели до нової

якості зберігання і доступу різномірної інформації. Надії на розвиток логічного програмування виявилися ілюзорними переважно через обмеженість ресурсів і ненадійність технологій.

Ідея саморозвитку системи, за якою вона сама повинна змінювати свої внутрішні правила і параметри, виявилася непродуктивною: система, переходячи через певну точку, скочувалася в стан втрати надійності і втрати цілісності, різко ставала неадекватною.

Але основні ідеї проекту комп'ютера п'ятого покоління втілилися в сучасних інтернет-технологіях, у тому числі у хмарних, ідеї саморозвитку втілилися в системах автоматичного перекладу і т. ін.

Контрольні питання

1. Дайте характеристику основних етапів розвитку обчислювальної техніки.

2. Сформулюйте, у чому полягає принципове значення обчислювальних інструментів, запропонованих Паскалем, Беббіджем.

3. Перерахуйте основні характеристики персонального комп'ютера.

4. Охарактеризуйте зміну елементної бази комп'ютерів при зміні їх поколінь.

5. Які причини зумовили появу комп'ютерів четвертого покоління?

6. Які класи сучасних персональних комп'ютерів ви знаєте?

1.2. Системи числення

Система числення — це знакова система, у якій числа записуються за певними правилами за допомогою символів деякого алфавіту, що називаються цифрами і має відповідні правила дій над числами.

Відомо безліч способів подання чисел. Для подання чисел використовуються *непозиційні* і *позиційні* системи числення.

1.2.1. Непозиційні системи числення

Як тільки люди почали рахувати у них з'явилася потреба в записі чисел. Знахідки археологів на стоянках первісних людей свідчать про те, що спочатку кількість предметів відображували рівною кількістю якихось значків (бірок): зарубок, рисок, крапок. Пізніше, для полегшення рахування, ці значки стали групувати по три або п'ять. Така система запису чисел називається *одиночною або унарною*, тому що будь-яке число в ній утворюється шляхом повторення одного знака, що символізує одиницю. Відгомони одиночної системи числення зустрічаються і сьогодні. Так, щоб довідатися, на якому курсі навчається курсант військового училища, потрібно порахувати кількість смужок, нашитих на його рукаві. Самі того не усвідомлюючи, одиночною системою числення користуються малюки, показуючи на пальцях свій вік, а рахункові палички використовується для навчання рахування учнів 1-го класу.

Одиночна система не найзручніший спосіб запису чисел. Записувати таким чином великі числа неможливо, бо записи при цьому є дуже довгими. З часом виникли інші, більш зручні, системи числення.

Давньоєгипетська десяткова непозиційна система числення. Приблизно в третьому тисячолітті до нашої ери стародавні єгиптяни придумали свою числову систему, у якій для позначення ключових чисел 1, 10, 100 і т. д. використовувалися спеціальні значки — ієрогліфи. Усі інші числа склалися з цих ключових за допомогою операції додавання. Система числення Стародавнього Єгипту є десятковою, але непозиційною. Наприклад, щоб зобразити 3252, треба намалювати три квітки лотоса (три тисячі), два згорнутих пальмових листки (дві сотні), п'ять дуг (п'ять десятків) і дві жердини (дві одиниці). Величина числа не залежала від того, у якому порядку розташовувалися його складові знаки: їх можна було записувати зверху вниз, справа наліво або упереміж.

Римська система числення. Прикладом непозиційної системи, яка збереглася до наших днів, може служити система числення, яка застосовувалася більше двох з половиною тисяч років тому в Стародавньому Римі. В основі римської системи числення лежали знаки I (один палець) для числа 1, V (розкрита

долоня) для числа 5, X (дві складені долоні) для 10, а для позначення чисел 100, 500 і 1000 почали застосовувати перші літери відповідних латинських слів (Centum — сто, Demimille — половина тисячі, Mille — тисяча). Щоб записати число, римляни розкладали його на суму тисяч, напівтисяч, сотень, напівсотень, десятків, п'ятірок, одиниць. Наприклад, десяткове число 28 подається так:

XXVIII=10+10+5+1+1+1 (два десятки, п'ять і три одиниці).

Для запису проміжних чисел римляни використовували не тільки додавання, але й віднімання. При цьому застосовувалося таке правило: кожен менший знак, поставлений праворуч від більшого додається до його значення, а кожен менший знак, поставлений зліва від більшого, віднімається від нього. Наприклад: IX — означає 9, XI — означає 11.

Десяткове число 99 має таке подання:

$$XCIX = -10+100-1+10.$$

Римськими цифрами користувалися дуже довго. Ще 200 років тому в ділових паперах числа повинні були позначатися римськими цифрами (вважалося, що звичайні арабські цифри легко підробити). Римська система числення сьогодні використовується в основному для найменування знаменних дат, томів, розділів і глав у книзі.

Алфавітні системи числення. Більш досконаліми непозиційними системами числення були алфавітні системи. До таких систем числення належить грецька, слов'янська, фінікійська та інші. У них числа від 1 до 9, цілі кількості десятків (від 10 до 90) і цілі кількості сотень (від 100 до 900) позначалися літерами алфавіту. В алфавітній системі числення Стародавньої Греції числа 1, 2, ..., 9 позначалися першими дев'ятьма літерами грецького алфавіту і т. д. Для позначення чисел 10, 20, ..., 90 застосовувалися наступні 9 літер, а для позначення чисел 100, 200, ..., 900 — останні 9 літер.

У слов'янських народів числові значення літер встановилися в порядку слов'янського алфавіту, який використовував спочатку глаголицю, а потім кирилицю.

Слов'янська нумерація збереглася до кінця XVII століття. При Петрі I панувала так звана арабська нумерація, якою ми

користуємось і зараз. Слов'янська нумерація збереглася тільки в богослужбових книгах.

Непозиційні системи числення мають ряд істотних недоліків:

- існує постійна потреба введення нових знаків для запису великих чисел;
- неможливо представляти дробові і від'ємні числа;
- складно виконувати арифметичні операції, оскільки не існує алгоритмів їх виконання.

1.2.2. Позиційні системи числення

У позиційних системах числення — кількісний еквівалент кожної цифри залежить від її положення (позиції) в коді (записі) числа. Нині ми звикли користуватися десятковою позиційною системою — числа записуються за допомогою 10 цифр. Перша цифра справа позначає одиниці, лівіше — десятки, ще лівіше — сотні і т. д.

Наприклад:

1) шестидесяткова (Давній Вавилон) — перша позиційна система числення. Досі при вимірюванні часу використовується основа, що дорівнює 60 (1 хв = 60 с, 1 год = 60 хв);

2) дванадцяткова система числення (поширення набула в ХІХ столітті число 12 — "дюжина": у добі дві дюжини годин). Рахунок не по пальцях, а по суглобах пальців. На кожному пальці руки, крім великого, по 3 суглоби — разом 12;

3) у наш час найбільш поширеними позиційними системами числення є десяткова, двійкова, вісімкова і шістнадцяткова (широко використовується в низькорівневому програмуванні і взагалі в комп'ютерній документації, оскільки в сучасних комп'ютерах мінімальною одиницею пам'яті є байт, значення якого зручно записувати двома шістнадцятковими цифрами. Найменша одиниця інформації — 1 біт — двійковий розряд, який може мати значення 0 або 1. Групу з 8 бітів називають байтом).

У будь-якій позиційній системі число може бути представлено у вигляді полінома.

Наприклад, десяткове число можна представити у вигляді полінома:

$$3795 = 3000 + 700 + 90 + 5 = 3 * 10^3 + 7 * 10^2 + 9 * 10^1 + 5 * 10^0$$

1.2.3. Типи систем числення

Найголовніше, що потрібно знати про систему числення - це її тип: *адитивна* або *мультиплікативна*. У першому типі кожна цифра має своє значення, і для прочитання числа треба додати всі значення використаних цифр, наприклад:

$$XXXV = 10+10+10+5 = 35;$$

$$CCXIX = 100+100+10-1+10 = 219.$$

У другому типі кожна цифра може мати різні значення залежно від свого місця розташування в числі, наприклад:

二千四百二十五

(ієрогліфи по порядку: 2, 1000, 4, 100, 2, 10, 5).

Тут двічі використаний ієрогліф "2", і в кожному випадку він приймав різні значення "2000" і "20".

$$2*1000 + 4*100+2*10+5 = 2425.$$

Для адитивної системи потрібно знати всі цифри, символи з їх значеннями (їх буває до 4-5 десятків) і порядок запису. Наприклад, у латинському записі якщо менша цифра записана перед більшою, то проводиться віднімання, а якщо після, то додавання, наприклад

$$IV = (5-1) = 4;$$

$$VI = (5+1) = 6.$$

Для мультиплікативної системи потрібно знати зображення цифр і їх значення, а також основу системи числення. Визначити основу дуже легко, потрібно тільки перерахувати кількість значущих цифр у системі. Якщо простіше, то це число, з якого починається другий розряд у числа. Ми, наприклад, використовуємо цифри 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Їх рівно 10, тому основа нашої системи числення теж 10, і система числення називається "десяtkовою". У вищенаведеному прикладі використовуються цифри 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (допоміжні 10, 100, 1000, 10000 і т. д. не беруться до уваги). Основних цифр тут теж 10, і система числення — десятикова.

Як можна здогадатися, скільки є чисел, стільки ж може бути і основ систем числення. Але використовуються тільки найзручніші основи систем числення. Чому основа найбільш уживаної людьми системи числення 10? Тому, що на руках у нас 10 пальців. Індіанці Майя використовували систему числення з основою 20, тому що в людини 20 пальців, якщо рахувати і пальці на ногах.

Дуже цікаве поняття "дюжина". Всім відомо, що це 12, але звідки з'явилося таке число — мало хто знає. Подивіться на свої руки, точніше, на одну руку. Скільки фаланг на пальцях однієї руки, не рахуючи великого? Правильно, дванадцять. А великий палець призначений відзначати пораховані фаланги.

А якщо на іншій руці відкладати пальцями кількість повних десятків, то отримаємо всім відому шістдесяткову вавилонську систему.

У різних цивілізаціях вважали по-різному, але і зараз можна навіть у мові, у назвах і зображеннях цифр знайти залишки зовсім інших систем числення, які колись використовувалися цим народом. Так у французів колись була двадцяткова система числення, оскільки 80 по-французьки звучить як "двадцять чотири рази". Римляни, або їх попередники, використовували колись п'ятирічну систему з основою п'ять, тому що V - зображення долоні з відставленим великим пальцем, а X — це дві руки.

1.2.4. Арифметичні операції у двійковій системі

Арифметичні дії у двійковій системі виконуються за тими самими правилами, що і в десятковій системі числення. Проте оскільки у двійковій системі числення використовуються тільки дві цифри 0 і 1, то арифметичні дії виконуються простіше, ніж у десятковій системі.

Додавання двозначних чисел. Додавання виконується порозрядно стовпчиком, починаючи з молодшого розряду і використовуючи таблицю двійкового складання:

$$\begin{aligned} 0 + 0 &= 0; \\ 0 + 1 &= 1; \\ 1 + 0 &= 1; \\ 1 + 1 &= 10. \end{aligned}$$

Наприклад, при додаванні необхідно пам'ятати, що 1+1 дають нуль у даному розряді і одиницю, перенесену в старший:

$$\begin{array}{r} 1011110 \\ + 100101 \\ \hline 10000011 \end{array} ; \quad \begin{array}{r} 94 \\ + 37 \\ \hline 131 \end{array}$$

Віднімання двозначних чисел. Віднімання виконується порозрядно стовпчиком, починаючи з молодшого розряду і використовуючи таблицю двійкового віднімання:

$$\begin{aligned} 0 - 0 &= 0; \\ 1 - 0 &= 1; \\ 1 - 1 &= 0; \\ 10 - 1 &= 1. \end{aligned}$$

Наприклад, знайти різницю двох чисел:

$$\begin{array}{r} 1011110 \\ - 100101 \\ \hline 111001; \end{array} \quad \begin{array}{r} 94 \\ - 37 \\ \hline 57. \end{array}$$

Тобто при відніманні двозначних чисел у разі необхідності займається 1 зі старшого розряду, яка дорівнює двом одиницям молодшого розряду.

Множення двозначних чисел. Множення у двійковій системі проводиться за тим самим принципом, що і в десятковій системі числення, при цьому використовується таблиця двійкового множення:

$$\begin{aligned} 0 * 0 &= 0; \\ 0 * 1 &= 0; \\ 1 * 0 &= 0; \\ 1 * 1 &= 1. \end{aligned}$$

Наприклад, знайти добуток двох чисел:

$$\begin{array}{r} 1011110 \\ \times 101 \\ \hline 1011110 \\ + 1011110 \\ \hline 111010110; \end{array} \quad \begin{array}{r} 94 \\ \times 5 \\ \hline 470; \end{array} \quad \begin{array}{r} 100101 \\ \times 111 \\ \hline 100101 \\ + 100101 \\ + 100101 \\ \hline 10000011; \end{array} \quad \begin{array}{r} 37 \\ \times 7 \\ \hline 259. \end{array}$$

Як видно з наведених прикладів, операція множення може бути представлена як операції зсуву і додавання.

Ділення двозначних чисел. Ділення у двійковій системі проводиться вирахуванням дільника зі зміщенням у правий бік, якщо залишок більше нуля.

Наприклад, знайти частку двох чисел якщо ділене більше дільника:

$$\begin{array}{r}
 100001110 \\
 - 11110 \\
 \hline
 101110 \\
 - 11110 \\
 \hline
 0
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 11110 \\
 \hline
 1001;
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 270 \\
 - 270 \\
 \hline
 0
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 30 \\
 \hline
 9.
 \end{array}$$

Наприклад:

$$\begin{array}{r}
 1111 \\
 - 100 \\
 \hline
 111 \\
 - 100 \\
 \hline
 110 \\
 - 100 \\
 \hline
 100 \\
 - 100 \\
 \hline
 0
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 100 \\
 \hline
 11,11;
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 15 \\
 - 12 \\
 \hline
 30 \\
 - 28 \\
 \hline
 20 \\
 - 20 \\
 \hline
 0
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 4 \\
 \hline
 3,75.
 \end{array}$$

Як видно з наведених прикладів, операція ділення може бути представлена як операції порівняння, зсуву і додавання.

Контрольні питання

1. Дайте визначення і наведіть класифікацію систем числення.
2. Охарактеризуйте і наведіть приклади основних непозиційних систем числення.
3. Поясніть істотні недоліки непозиційної системи числення.
4. Дайте характеристику та наведіть приклади основних позиційних систем числення.
5. Вкажіть типи систем числення.
6. Арифметичні операції у двійковій системі. Правила складання та віднімання двозначних чисел.
7. Назвіть правила множення та ділення двозначних чисел в двійковій системі.

1.3. Архітектура персонального комп'ютера

Під архітектурою комп'ютера розуміється сукупність відомостей про основні пристрої комп'ютера і їх призначення, про способи представлення програм і даних у комп'ютері, про особливості його організації та функціонування.

1.3.1. Рівні організації комп'ютерної архітектури

Архітектура комп'ютера[12] — набір типів даних, операцій і характеристик кожного окремо взятого рівня. Архітектура пов'язана з програмними аспектами.

Виділяють кілька рівнів організації комп'ютера (комп'ютерної архітектури) (рис. 1.6).

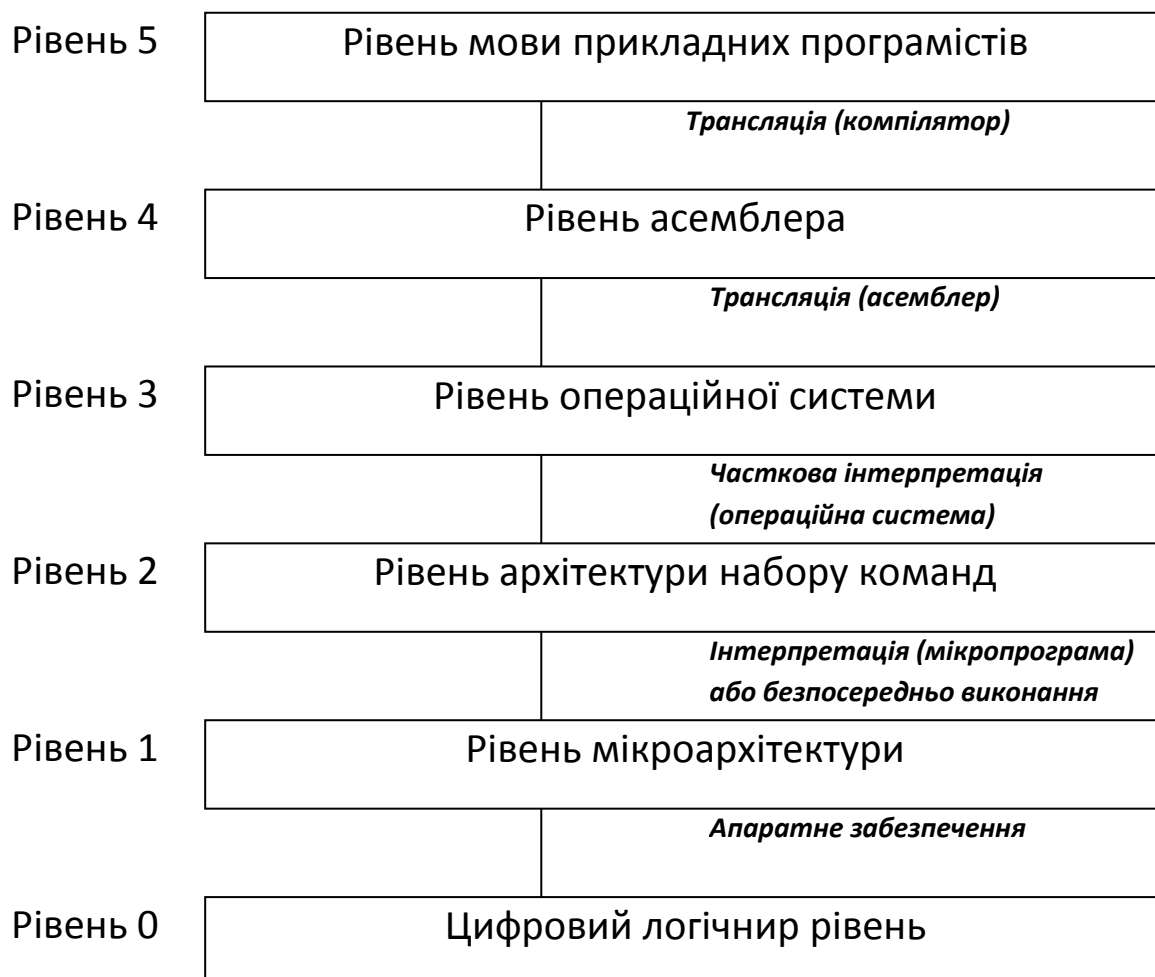


Рис. 1.6. Багаторівнева структура комп'ютера

Рівень 0. Цифровий логічний рівень - це апаратне забезпечення машини, що складається з вентилів. Логічний вентиль — базовий елемент цифрової схеми, що виконує елементарну логічну операцію, перетворюючи таким чином безліч вхідних логічних сигналів у вихідний логічний сигнал. Логіка роботи вентиля заснована на бітових операціях з вхідними цифровими сигналами в якості операндів. При створенні цифрової схеми вентиля з'єднують між собою, при цьому вихід використовуваного вентиля повинен бути підключений до одного або до декількох входів інших вентилів. В наш час в створених людиною цифрових пристроях домінують електронні логічні вентиля на базі польових транзисторів.

Рівень 1. Мікроархітектурний рівень, інтерпретація (прошивка) або безпосереднє виконання. Електронні схеми виконують машинно-залежні програми. Сукупність регістрів процесора формує локальну пам'ять.

Рівень 2. Рівень архітектури системи команд, трансляція (асемблер).

Рівень 3. Рівень операційної системи, трансляція (асемблер). Це гібридний рівень: одна частина команд інтерпретується операційною системою, а інша — мікропрограмою.

Рівень 4. Рівень мови асемблера, трансляція (компілятор). Четвертий рівень і вище використовується для написання прикладних програм, з першого по третій — системних програм. Програми в зручному для людини вигляді транслюються на мову рівнів 1-3.

Рівень 5. Мова високого рівня. Програми мовами високого рівня транслюються зазвичай на рівні 3 і 4.

1.3.2. Класифікація архітектури комп'ютера

Комп'ютери за **типом процесора** можна поділити:

- **CISC** (від англ. complex instruction set computing) — архітектура з повним набором команд. Такі процесори виконують всі команди - прості і складні - за велику кількість тактів, команд у таких процесорах багато, і буває, що компілятори верхнього рівня дуже рідко використовують всі команди;

- **RISC** (від англ. reduced instruction set computing) — архітектура зі скороченим набором команд. Такі процесори працюють швидше, ніж архітектура CISC, за рахунок спрощення архітектури і скорочення кількості команд, але для виконання складної команди вона складається з набору простих, що збільшує час виконання команди (за більшу кількість тактів);

- **MISC** (від англ. minimal instruction set computing) — архітектура з мінімальним набором команд. Такі процесори мають мінімальну кількість команд, всі команди прості і вимагають невеликої кількості тактів на виконання, але якщо виконуються складні обчислення, наприклад над числами з рухомою комою, то такі команди виконуються за велику кількість тактів, що перевищує архітектури CISC і RISC;

- **VLIW** (від англ. very long instruction word — "дуже довга машинна команда") — архітектура з довгою машинною командою, у якій вказується паралельність виконання обчислень. Такі процесори отримали широке застосування в цифровій обробці сигналів.

Розглянемо докладніше класифікацію за типом процесора.

CISC — тип процесорної архітектури, яка характеризується таким набором властивостей:

- нефіксоване значення довжини команди;
- арифметичні дії кодуються в одній команді;
- невелика кількість регістрів, кожен з яких виконує певну функцію.

Типовими представниками CISC-архітектури є процесори на основі команд x86, процесори MotorolaMC680x0, процесори мейнфреймів zSeries.

Завдяки поширеності процесорів архітектур x86 і x86-64 CISC-системи є найбільш поширеними у світі обчислювальної техніки — вони домінують у сегментах робочих станцій, ПК, серверів початкового і середнього рівня, а також мейнфреймів (RISC-системи превалюють у сегментах мобільних пристроїв, мікроконтролерів і Unix-серверів старшого рівня).

При цьому пізні x86-процесори (Intel Pentium 4, Pentium D, Core, AMD Athlon, Phenom), хоча і CISC-сумісні, але є процесорами з RISC-ядром, і у формальному сенсі вважаються гібридними. У таких гібридних CISC-процесорах

CISC-інструкції перетворюються в набір внутрішніх RISC-команд, при цьому одна команда x86 може породжувати кілька RISC-команд (у разі процесорів типу P6 — до чотирьох RISC-команд у більшості випадків), виконання команд відбувається на суперскалярному конвеєрі одночасно по кілька штук.

Основний недолік CISC-архітектури порівняно з RISC — більш складний підхід до розпаралелювання.

RISC — архітектура процесора, у якому швидкодія збільшується за рахунок спрощення інструкцій, щоб їх декодування було простішим, а час виконання — меншим. Перші RISC-процесори навіть не мали інструкцій множення і ділення. Це також полегшує підвищення тактової частоти і робить більш ефективною суперскалярність (розпаралелювання інструкцій між декількома виконавчими блоками).

MISC — вид процесорної архітектури, у якій збільшення розрядності процесорів призвело до ідеї укладання декількох команд в одне велике слово (зв'язок, bound). Це призвело до зростання продуктивності комп'ютера і його можливостей за рахунок одночасної обробки кількох потоків даних. Крім того, MISC використовує стекову модель обчислювального пристрою і основні команди роботи зі стеком мови Forth.

Процесори з MISC, як і процесори RISC, характеризуються невеликою кількістю команд, які найчастіше зустрічаються. Разом з цим принцип "дуже довгих командних слів" (VLIW) забезпечує виконання групи несуперечливих команд за один цикл роботи процесора. Порядок виконання команд розподіляється таким чином, щоб максимально завантажити маршрути, по яких проходять потоки даних. Таким чином архітектура MISC об'єднала разом суперскалярну і VLIW-концепції. Компоненти процесора прості і працюють на високих частотах.

VLIW — архітектура процесорів з декількома обчислювальними пристроями. Характеризується тим, що одна інструкція процесора містить кілька операцій, які повинні виконуватися паралельно. Фактично це "видиме програмісту" мікропрограмне управління, коли машинний код являє собою лише трохи згорнутий мікрокод для безпосереднього управління апаратурою.

У суперскалярних процесорах також є кілька обчислювальних модулів, але завдання розподілу роботи між ними вирішується апаратно. Це ускладнює влаштування процесора і може дати значну кількість помилок. У процесорах VLIW завдання розподілу вирішується під час компіляції і в інструкціях явно зазначено, який обчислювальний пристрій яку команду має виконувати. VLIW можна вважати логічним продовженням ідеології RISC, що поширює її на архітектури з декількома обчислювальними модулями. Так само, як у RISC, в інструкції явно вказується, що саме повинен робити кожен модуль процесора. Через це довжина інструкції може досягати 128 або навіть 256 бітів.

Переваги і недоліки. Підхід VLIW сильно спрощує архітектуру процесора, перекладаючи завдання розподілу обчислювальних пристроїв на компілятор. Оскільки відсутні великі і складні вузли, сильно знижується енергоспоживання.

У той же час код для VLIW має невисоку щільність. Через велику кількість порожніх інструкцій для пристроїв, що простоюють, програми для VLIW-процесорів можуть бути набагато довшими, ніж аналогічні програми для традиційних архітектур. Архітектура VLIW виглядає досить екзотичною та незвичною для програміста. Через складні внутрішні залежності коду програмування вручну на рівні машинних кодів для VLIW-архітектури є досить складним. Доводиться покладатися на оптимізацію компілятора.

Розглянемо таку класифікацію архітектури комп'ютера за **принципом поділу пам'яті:**

- **фон Нейманівська архітектура** — характерною рисою є спільне зберігання програм і даних;
- **Гарвардська архітектура** — характерною рисою є розподіл пам'яті програм і пам'яті даних.

Архітектура фон Неймана — широко відомий принцип спільного зберігання команд і даних у пам'яті комп'ютера. Обчислювальні системи такого роду часто позначають терміном "машина фон Неймана", однак відповідність цих понять не завжди однозначна. У загальному випадку, коли говорять про

архітектуру фон Неймана, мають на увазі принцип зберігання даних та інструкцій в одній пам'яті.

Можна виділити такі її принципи:

- *принцип однорідності пам'яті.* Команди і дані зберігаються в одній і тій самій пам'яті і зовні в пам'яті не розрізняються. Розпізнати їх можна тільки за способом використання, тобто одне і те саме значення в комірці пам'яті може використовуватися і як дані, і як команда, і як адреса в залежно лише від способу звернення до нього. Це дозволяє здійснювати над командами ті самі операції, що і над числами, і відповідно відкриває ряд можливостей. Так, команди однієї програми можуть бути отримані як результат виконання іншої програми. Ця можливість лежить в основі трансляції — перекладу тексту програми з мови високого рівня на мову конкретної обчислювальної машини;

- *принцип адресності.* Структурно основна пам'ять складається з пронумерованих комірок, процесору в довільний момент доступний будь-яка комірка. Двійкові коди команд і даних поділяються на одиниці інформації, так звані слова, і зберігаються в комірках пам'яті, а для доступу до них використовуються номери відповідних комірок — адреси;

- *принцип програмного управління.* Всі обчислення, передбачені алгоритмом вирішення завдання, повинні бути представлені у вигляді програми, що складається з послідовності управляючих слів — команд. Кожна команда вказує деяку операцію з набору операцій, які можуть бути реалізовані обчислювальною машиною. Команди програми зберігаються в послідовних комірках пам'яті обчислювальної машини і виконуються в природній послідовності, тобто в порядку їх положення в програмі. За необхідності за допомогою спеціальних команд ця послідовність може бути змінена. Рішення про зміну порядку виконання команд програми приймається або на підставі аналізу результатів попередніх обчислень, або без умов.

- *принцип двійкового кодування.* За цим принципом, вся інформація, як дані, так і команди, кодуються двійковими цифрами 0 і 1. Кожен тип інформації представляється двійковою послідовністю і має свій формат. Послідовність бітів у форматі, що має певний сенс, називається полем. У числовій інформації

зазвичай виділяють поле знака і поле значущих розрядів. У форматі команди в найпростішому випадку можна виділити два поля: поле коду операції і поле адреси.

"Вузьке місце" архітектури фон Неймана. Спільне використання шини для пам'яті програм і пам'яті даних є вузьким місцем архітектури фон Неймана, а саме обмеження пропускної здатності між процесором і пам'яттю порівняно з об'ємом пам'яті. Через те що пам'ять програм і пам'ять даних не можуть бути доступними в один і той же час, пропускна здатність каналу "процесор-пам'ять" і швидкість роботи пам'яті істотно обмежують швидкість роботи процесора набагато сильніше, ніж якби програми і дані зберігалися в різних місцях. Оскільки швидкість процесора і об'єм пам'яті збільшувалися набагато швидше, ніж пропускна здатність між ними, "вузьке місце" стало великою проблемою, серйозність якої зростає з кожним новим поколінням процесорів.

Дана проблема вирішується вдосконаленням систем кешування (кеш — це пам'ять з більшою швидкістю доступу, призначена для прискорення доступу до даних, що містяться постійно в пам'яті з меншою швидкістю доступу — основній пам'яті. Кешування застосовується ЦПУ, жорсткими дисками, браузерями, Web-серверами, службами DNS і WINS), що у свою чергу ускладнює архітектуру систем і збільшує ризик виникнення побічних помилок (наприклад, у 2017 році були виявлені вразливості Meltdown (крах, криза) і Spectre (привид, видіння), які були присутні в процесорах протягом десятиліть, але не виявлені раніше через складність сучасних обчислювальних систем, зокрема їх взаємодії з кеш-пам'яттю).

Гарвардська архітектура — архітектура ЕОМ, відмітними ознаками якої є:

- для зберігання інструкцій і даних використовуються різні фізичні пристрої;
- канал інструкцій і канал даних також фізично розділені.

Архітектура була розроблена Говардом Ейкеном у кінці 1930-х років у Гарвардському університеті. Типові операції (додавання і множення) вимагають від будь-якого обчислювального пристрою декількох дій:

- вибір двох операндів;
- вибір інструкції та її виконання;
- збереження результату.

Ідея, реалізована Ейкеном, полягала у фізичному поділі ліній передачі команд і даних. У першому комп'ютері Ейкена "Mark I" для зберігання інструкцій використовувалася перфорована стрічка, а для роботи з даними — електромеханічні регістри. Це дозволяло одночасно пересилати і обробляти команди і дані, завдяки чому значно підвищувалась загальна швидкодія комп'ютера. У гарвардській архітектурі характеристики пристроїв пам'яті для інструкцій і пам'яті для даних не обов'язково повинні бути однаковими. Зокрема ширина слова, тактування, технологія реалізації і структура адреси пам'яті можуть відрізнятися. У деяких системах інструкції можуть зберігатися в пам'яті тільки для читання, у той час як для збереження даних зазвичай потрібна пам'ять з можливістю читання і запису. У деяких системах потрібно значно більше пам'яті для інструкцій, ніж пам'яті для даних, оскільки дані зазвичай можуть довантажуватись з зовнішньої або більш повільної пам'яті. Така потреба збільшує бітність (ширину) шини адреси пам'яті інструкцій порівняно з шиною адреси пам'яті даних.

Відмінність від архітектури фон Неймана. У чистій архітектурі фон Неймана процесор у кожен момент часу може або читати інструкцію, або читати/записувати одиницю даних з/у пам'яті. Обидві дії одночасно відбуватися не можуть, оскільки інструкції і дані використовують один і той самий потік (шину).

У комп'ютері з використанням Гарвардської архітектури процесор може зчитувати чергову команду і оперувати пам'яттю даних одночасно і без використання кеш-пам'яті. Таким чином, комп'ютер з Гарвардською архітектурою при певній складності схеми швидше, ніж комп'ютер з архітектурою фон Неймана, оскільки потоки команд і даних розташовані на роздільних фізично не пов'язаних між собою апаратних каналах.

Виходячи з фізичного поділу шин команд і даних, розрядності цих шин (отже, і адресні простори) можуть відрізнятися і фізично не можуть перетинатися.

1.3.3. Цифровий логічний рівень архітектури комп'ютера

У самому низу ієрархічної схеми (рис. 1.6) знаходиться цифровий логічний рівень або апаратне забезпечення комп'ютера. У цьому пункті розглянемо різні аспекти цифрової логіки, що повинно стати основою для вивчення більш високих рівнів, а також основні елементи, з яких конструюються цифрові комп'ютери, а далі спеціальну двозначну алгебру (булеву алгебру), яка використовується при конструюванні цих елементів.

Вентилі. Цифрові схеми конструюються з невеликої кількості простих елементів шляхом поєднання цих елементів у різних комбінаціях.

Цифрова схема — це схема, у якій є тільки два логічних значення. Зазвичай сигнал від 0 до 1 В, являє собою одне значення (наприклад, 0), а сигнал від 2 до 5 В — інше значення (наприклад, 1). Напруга за межами зазначених величин неприпустима. Крихітні електронні пристрої, які називаються *вентиллями*, дозволяють отримувати різні функції від цих двозначних сигналів. Вентилі лежать в основі апаратного забезпечення, на якому будуються всі цифрові комп'ютери. Вся сучасна цифрова логіка ґрунтується на тому, що транзистор може працювати як дуже швидкий двійковий перемикач. На рис. 1.7, а зображений біполярний транзистор, вбудований у просту схему. Транзистор має три (зовнішні з'єднання) з'єднання з зовнішнім світом: колектор, базу та емітер. Якщо вхідна напруга V_{in} нижче від певного критичного значення, транзистор вимикається і діє як дуже великий опір. Це призводить до вихідного сигналу V_{out} , близького до V_{CC} (напруги, що подається ззовні), — для даного типу транзистора це зазвичай +5 В. Якщо V_{in} перевищує критичне значення, транзистор вмикається і діє як провідник, викликаючи заземлення сигналу V_{out} (за угодою це 0 В).

Важливо зазначити, що якщо напруга V_{in} низька, то V_{out} висока, і навпаки. Ця схема, таким чином, є інвертором, перетворює логічний 0 у логічну 1 і логічну 1 в логічний 0. Резистор (ламана лінія на рис. 1.7) потрібен для обмеження струму, що проходить через транзистор, щоб транзистор не перегорів. На перемикання з одного стану в інший зазвичай потрібно не більше наносекунди.

На рис. 1.7, б два транзистори з'єднані послідовно. Якщо напруги V_1 і V_2 високі, то обидва транзистори стають провідниками і знижують V_{out} . Якщо одна з вхідних напруг низька, то відповідний транзистор вимикається, і напруга на виході стає високою. Іншими словами, напруга V_{out} стане низькою тоді і тільки тоді, коли напруги V_1 і V_2 високі.

На рис. 1.7, в два транзистори з'єднані паралельно. Якщо один із вхідних сигналів високий, вмикається відповідний транзистор і знижує вихідний сигнал. Якщо обидва напруги на вході низькі, то вихідна напруга стає високою.

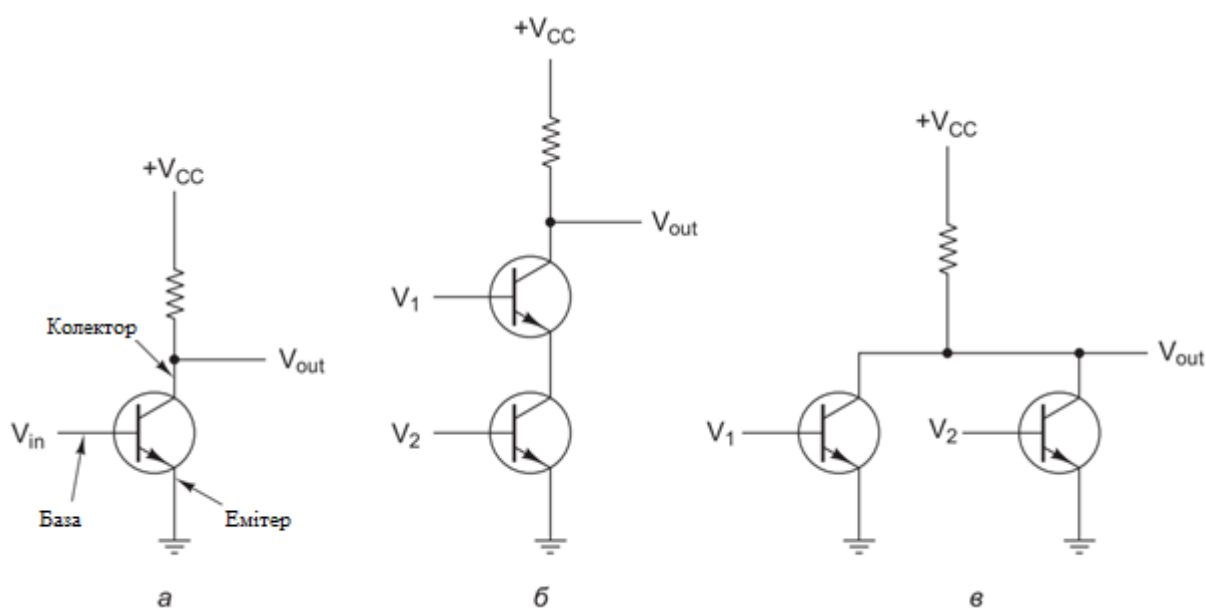


Рис. 1.7. Транзисторний інвертор (а), вентиль НЕ-І (б), вентиль НЕ-АБО (в)

Ці схеми утворюють три найпростіших вентиля. Вони називаються вентилями НЕ, НЕ-І та НЕ-АБО відповідно. Вентилі НЕ часто називають інверторами. Якщо ми дійдемо угоди, що висока напруга (V_{CC}) - це логічна 1, а низька напруга ("земля") — логічний 0, то ми зможемо виразити значення на виході як функцію від вхідних значень. Значки, які використовуються для зображення цих трьох типів вентилів, показані на рис. 1.8, а-в. Там же показані режими роботи функції для кожної схеми. На цих рисунках А і В — вхідні сигнали, Х — вихідний сигнал. Кожен рядок таблиці визначає вихідний сигнал для різних комбінацій вхідних сигналів. Якщо вихідний

сигнал на рис. 1.8, б подати в інвертор, ми отримаємо іншу схему, протилежну вентилю НЕ-І, тобто таку схему, у якій вихідний сигнал дорівнює 1 тоді і тільки тоді, коли обидва вхідних сигнали рівні 1. Така схема називається вентилям І; її схематичне зображення і опис відповідної функції дано на рис. 1.8, г. Так само вентиль НЕ-АБО може бути зв'язаний з інвертором. Тоді отримаємо схему, у якій вихідний сигнал дорівнює 1 в тому випадку, якщо хоча б один з вхідних сигналів одиничний, і дорівнює 0, якщо обидва вхідних сигнали нульові. Зображення цієї схеми, яка називається вентилям АБО, а також опис відповідної функції дано на рис. 1.8, д. Маленькі кружечки у схемах інвертора, вентиля НЕ-І та вентиля НЕ-АБО називаються виходами, що інвертуються. Вони також можуть використовуватися в іншому контексті для зазначення інвертованого сигналу. П'ять вентилів, зображені на рис. 1.8, складають основу цифрового логічного рівня. Вочевидь вентиля НЕ-І та НЕ-АБО вимагають по два транзистори кожен, а вентиля І і АБО - по три транзистори кожен. Через це в багатьох комп'ютерах використовуються вентиля НЕ-І та НЕ-АБО, а не І і АБО.

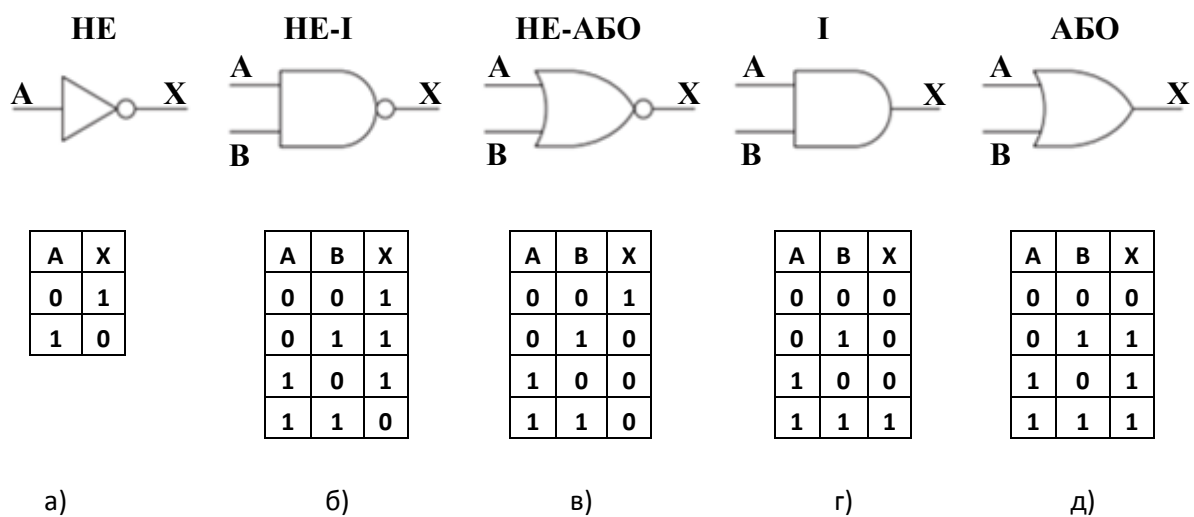


Рис. 1.8. Позначки для зображення п'яти основних вентилів і таблиці значень логічних функцій для кожного вентиля

Слід згадати, що вентиля можуть мати більше двох входів. По суті вентиль НЕ-І, наприклад, може мати довільну кількість входів, але на практиці більше восьми зазвичай не буває.

Реалізація вентилів відбувається за двома основними технологіями — біполярною і МОН (метал, оксид, напівпровідник). Серед біполярних технологій можна назвати ТТЛ (транзисторно-транзисторну логіку), яка служила основою цифрової електроніки протягом багатьох років, і ЕСЛ (емітерно-сполучену логіку), яка використовується в тих випадках, коли потрібна висока швидкість виконання операцій. Щодо обчислювальних схем більш поширена технологія МОН. МОН-вентилі працюють повільніше, ніж ТТЛ і ЕСЛ, але споживають набагато менше енергії і займають набагато менше місця, тому можна компактно розташувати велику кількість таких вентилів. Вентилі МОН мають кілька різновидів: р-канальний МОН, n-канальний МОН і компліментарний МОН. Хоча МОН-транзистори конструюються не так, як біполярні транзистори, вони теж можуть функціонувати як електронні перемикачі. Сучасні процесори і пам'ять найчастіше виробляються із використанням технології компліментарних МОН, яка працює при напрузі близько +1,5 В.

1.3.4. Булева алгебра

Щоб описати схеми, отримані поєднанням різних вентилів, потрібен особливий тип алгебри, у якій всі змінні і функції можуть набувати тільки два значення: 0 і 1. Така алгебра називається булевою. Вона названа на честь англійського математика Джорджа Буля (1815-1864). Як і у звичайній алгебрі, у булевій алгебрі є свої функції. Булева функція на вході отримує одну або кілька змінних і видає результат, який залежить тільки від значень цих змінних. Можна визначити просту функцію f , сказавши, що $f(A) = 1$, якщо $A = 0$, і $f(A) = 0$, якщо $A = 1$. Така функція буде функцією НЕ (рис. 1.8, а). Оскільки булева функція від n змінних має тільки 2^n можливих комбінацій значень змінних, то таку функцію можна повністю описати в таблиці з 2^n рядками. У кожному рядку буде даватися значення функції для різних комбінацій значень змінних. Така таблиця називається таблицею істинності. Всі таблиці на рис. 1.8 являють собою таблиці істинності. Якщо розташовувати рядки таблиці істинності відповідно до номерів, тобто для двох змінних у порядку 00, 01, 10, 11, то функцію можна повністю описати 2^n -розрядним двійковим числом, яке отримують, якщо зчитувати

по вертикалі колонку результатів у таблиці істинності. Таким чином, НЕ-І — це 1110, НЕ-АБО — 1000, І — 0001 і АБО — 0111. Вочевидь, існують тільки 16 булевих функцій від двох змінних, яким відповідають 16 можливих 4-розрядних ланцюжків. У звичайній алгебрі, навпаки, існує нескінченна кількість функцій від двох змінних, і жодну з них не можна описати таблицею значень цієї функції для всіх допустимих значень вхідних змінних, оскільки кожна змінна може набувати нескінченну кількість значень. На рис. 1.9, а показана таблиця істинності для булевої функції від трьох змінних: $M = f(A, B, C)$. Це функція більшості, яка набуває значення 0, якщо більшість змінних дорівнюють 0, або 1, якщо більшість змінних дорівнюють 1. Будь-яка булева функція може бути визначена за допомогою таблиці істинності, зі зростанням кількості змінних такий тип запису стає громіздким. Тому замість таблиць істинності часто використовується інший варіант запису.

Щоб побачити цей інший тип запису, зазначимо, що будь-яку булеву функцію також можна визначити за значенням комбінацій значень вхідних змінних, що призводять до одиничного значення функції. Для функції на рис. 1.9, а існує 4 комбінації змінних, які дають середнє арифметичне значення функції. Ми будемо ставити риску над змінною, показуючи, що її значення інвертується. Відсутність риски означає, що значення змінної не інвертується. Крім того, ми будемо ставити знак множення (крапку) для позначення булевої функції І (цей знак може опускатися) і знак додавання (+) для позначення булевої функції АБО. Наприклад, ABC набуває значення 1, тільки якщо $A = 1, B = 0$ і $C = 1$. Крім того, $AB + BC$ набуває значення 1, тільки якщо $(A = 1$ і $B = 0)$ або $(B = 1$ і $C = 0)$. У таблиці на рис. 1.9, а функція набуває значення 1 в чотирьох рядках: $ABC, \overline{A}BC, A\overline{B}C$ і ABC . Функція M набуває значення істини (тобто 1), якщо одна з цих чотирьох умов істинна. Отже, ми можемо написати:

$$M = ABC + \overline{A}BC + A\overline{B}C + ABC.$$

Це компактний запис таблиці істинності. Таким чином, функцію від n змінних можна описати "сумою" максимум 2^n "добутків", при цьому в кожному "добутку" буде по n множників. Як ми скоро побачимо, таке формулювання дуже багато означає, оскільки воно дозволяє реалізувати цю функцію з використанням стандартних вентилів. Важливо розуміти різницю між

абстрактною булевою функцією і її реалізацією за допомогою електронної схеми. Булева функція складається зі змінних, наприклад А, В і С, а також з операторів І, АБО і НЕ. Булева функція описується за допомогою таблиці істинності або спеціального запису, наприклад

$$F = ABC + \bar{A}BC + A\bar{B}C + ABC$$

Булева функція може бути реалізована електронною схемою (часто різними способами) з використанням сигналів, які являють собою вхідні і вихідні змінні, і вентилів, наприклад І, АБО і НЕ.

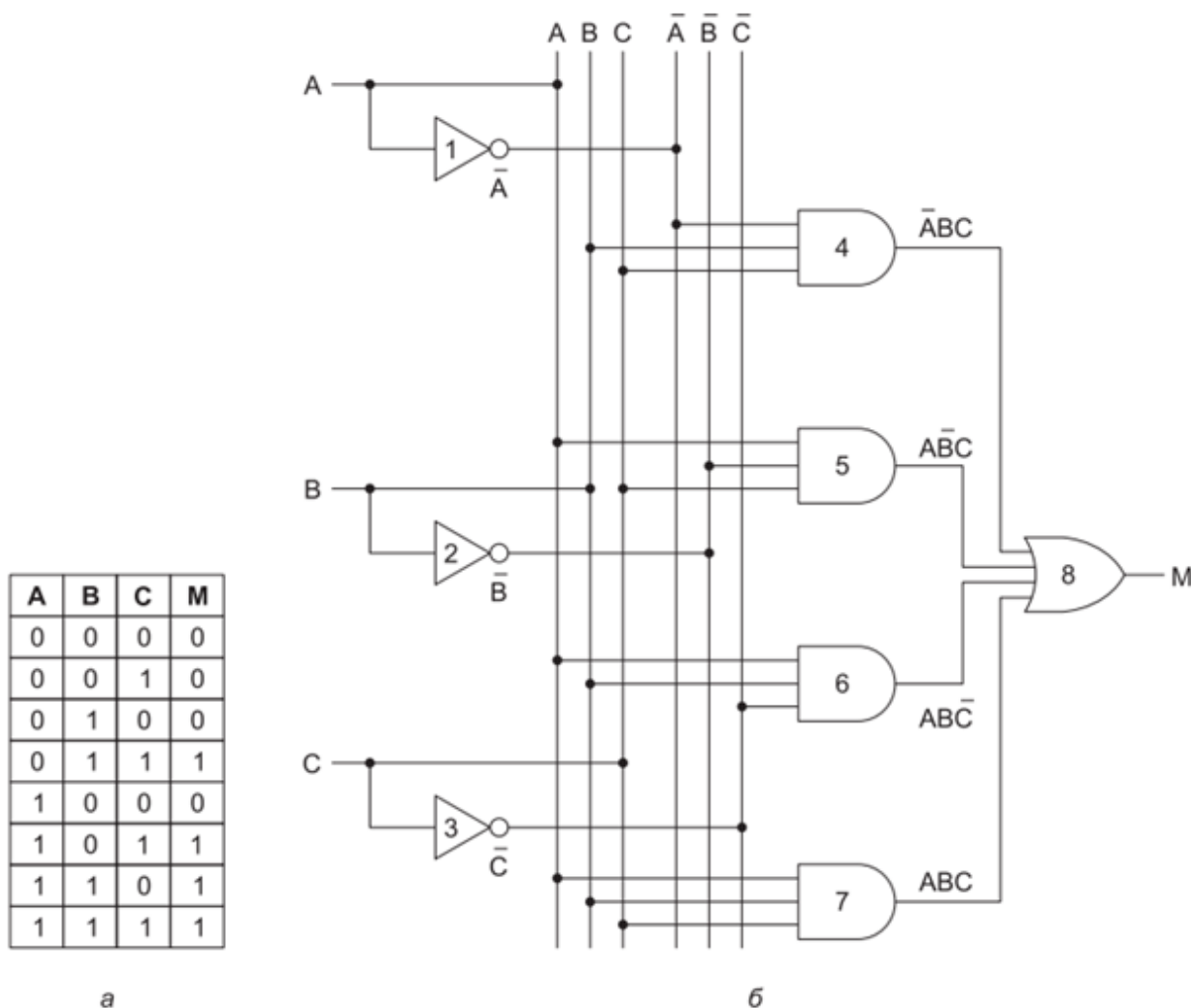


Рис. 1.9. Таблиця істинності для функції більшості від трьох змінних (а) і схема реалізації цієї функції (б)

Реалізація булевих функцій. Як було зазначено раніше, подання булевої функції у вигляді суми максимум 2^n добутків підводить нас безпосередньо до можливої реалізації цієї функції.

На рис. 1.9, б вхідні сигнали А, В і С показані з лівого боку, а функція М, отримана на виході, — з правого. Оскільки вхідні змінні повинні інвертуватися, сигнал проходить через інвертори 1, 2 і 3. Щоб зробити рисунок зрозумілим, ми накреслили 6 вертикальних ліній, 3 з яких пов'язані з вхідними змінними, 3 інші — з їхніми інверсіями. Ці лінії забезпечують передачу вхідного сигналу до вентилів. Наприклад, вентилялі 5, 6 і 7 на вході отримують сигнал А. У реальній схемі ці вентилялі, ймовірно, будуть безпосередньо з'єднані проводом з А без будь-яких проміжних вертикальних проводів. Схема містить чотири вентилялі І, по одному для кожного члена в рівнянні для М (тобто по одному для кожного рядка в таблиці істинності з результатом 1). Кожен вентиль І обчислює один із зазначених рядків таблиці істинності. Зрештою всі дані добутки підсумовуються (розуміється операція АБО) для отримання кінцевого результату.

Будемо використовувати таку угоду: якщо дві лінії на рисунку перетинаються, зв'язок розуміється тільки в тому випадку, якщо на перетині розташована жирна точка. Наприклад на рис. 1.9, б, вихід вентилялі 3 перетинає всі 6 вертикальних ліній, але зв'язаний він тільки з лінією С. З рис. 1.9 має бути зрозуміло як отримати схему для будь-якої булевої функції:

1. Скласти таблицю істинності для даної функції.
2. Включити у схему інвертори, щоб мати можливість інверсії кожного вхідного сигналу.
3. Нарисувати вентиль І для кожного рядка таблиці істинності з результатом 1.
4. З'єднати вентилялі І з відповідними вхідними сигналами.
5. Вивести виходи всіх вентилів І і направити їх на вхід вентилялі АБО.

Ми показали, як реалізувати будь-яку булеву функцію за допомогою вентилів НЕ, І та АБО. Однак набагато зручніше будувати схеми з використанням одного типу вентилів. Схеми, побудовані за попереднім алгоритмом, легко перетворюються на форму НЕ-І або НЕ-АБО. Все що потрібно для здійснення такого перетворення - це реалізувати вентилялі НЕ, І та АБО за допомогою якого-небудь одного типу вентилів. На рис. 1.10 показано, як це зробити на базі вентилів НЕ-І або НЕ-АБО. Таке перетворення виконується елементарно, але існують і інші варіанти.

Для того щоб реалізувати булеву функцію тільки на базі вентилів НЕ-І або НЕ-АБО, треба спочатку за описаним

алгоритмом сконструювати схему з вентилями НЕ, І та АБО. Потім потрібно замінити багатовхідні вентиля еквівалентними схемами на двовхідних вентилях, наприклад

$A + B + C + D$ можна поміняти на $(A + B) + (C + D)$, використовуючи три двовхідних вентиля. Потім вентиля НЕ, І та АБО замінюються схемами, зображеними на рис. 1.10. Хоча з такої процедури і не отримують оптимальних схем з точки зору мінімальної кількості вентилів, вона демонструє, що подібне перетворення можливе. Вентилі НЕ-І та НЕ-АБО вважаються повними, тому що будь-яка булева функція може бути реалізована на їх базі. Жоден інший вентиль не має такої властивості, ось чому саме ці два типи вентилів кращі при побудові схем.

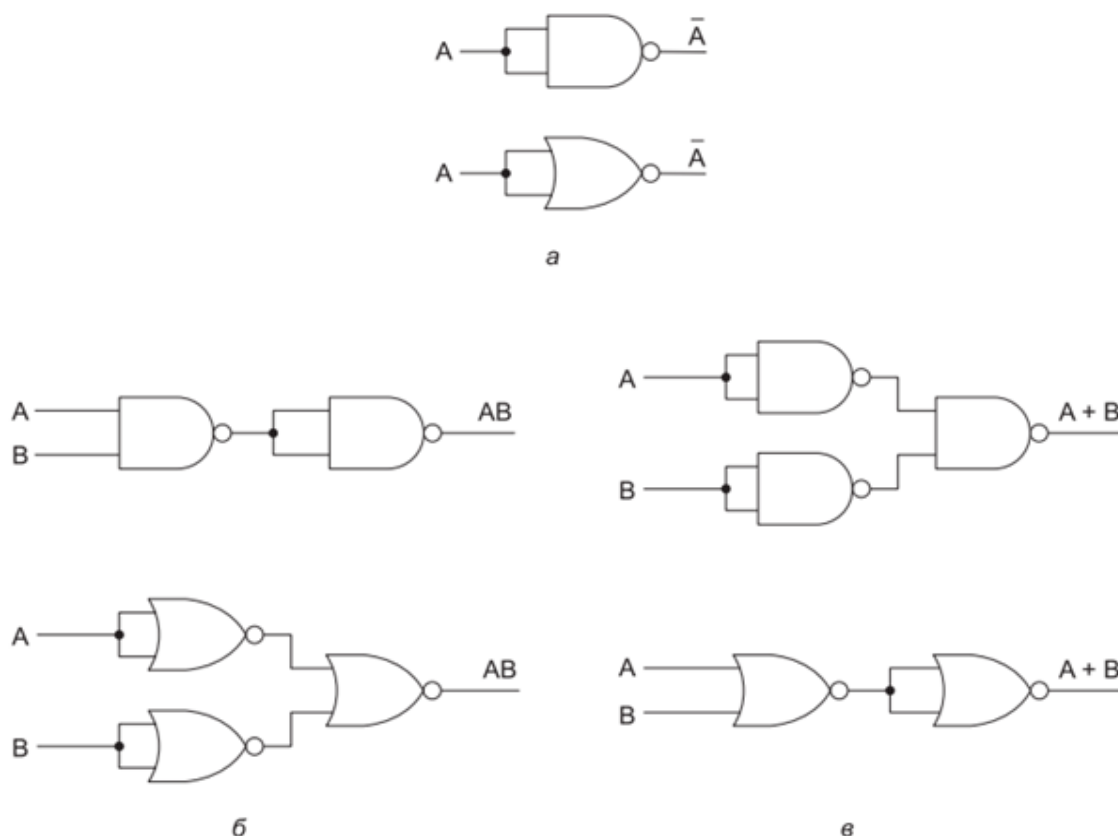


Рис. 1.10. Конструювання вентилів НЕ (а), І (б) та АБО (в) тільки на базі вентилів НЕ-І або НЕ-АБО

Еквівалентність схем. Розробники схем часто намагаються скоротити кількість вентилів, щоб знизити ціну, зменшити займане схемою місце, скоротити споживання енергії і т. ін. Щоб спростити схему, розробник повинен знайти іншу схему, яка може обчислювати ту саму функцію, але при цьому вимагає меншої кількості вентилів (або може працювати з більш простими

вентиліями, наприклад двовхідними замість чотиривхідних). Булева алгебра є цінним інструментом у пошуку еквівалентних схем. Як приклад використання булевої алгебри розглянемо схему і таблицю істинності для функції $AB + AC$ (рис. 1.11, а). Багато правил звичайної алгебри мають силу і в булевій алгебрі.

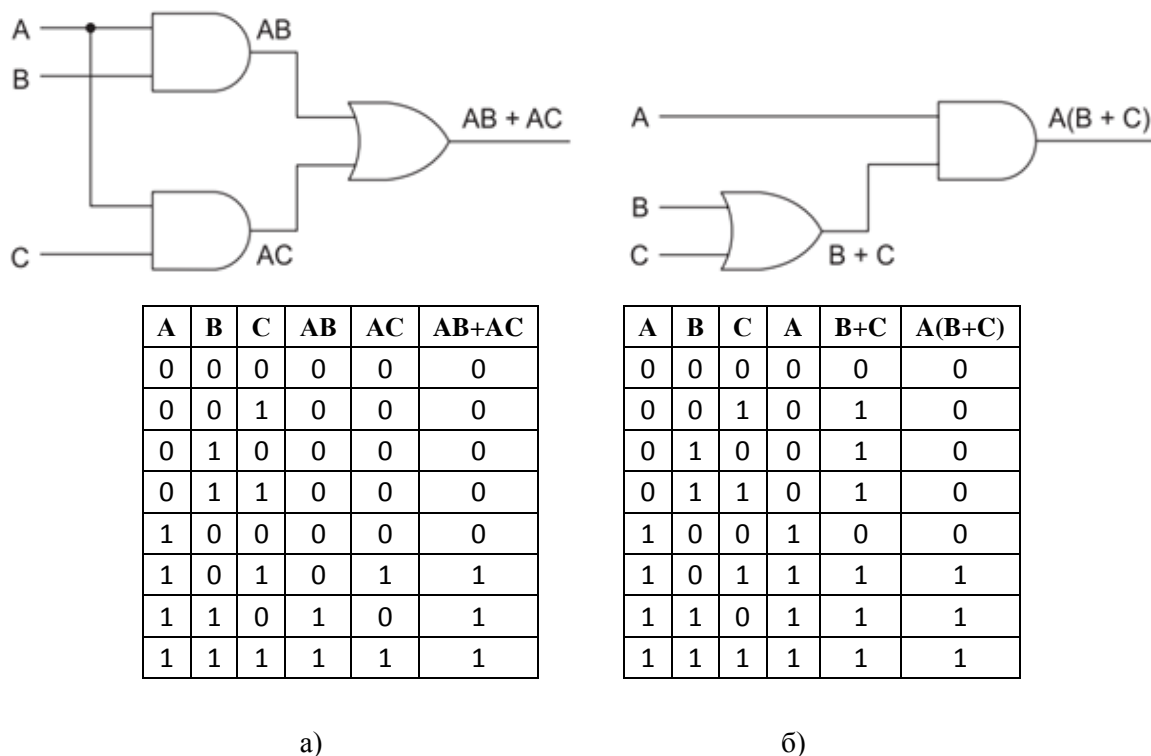


Рис. 1.11. Дві еквівалентні функції: $AB+AC$ (а), $A(B+C)$ (б)

Наприклад, вираз $AB + AC$ за дистрибутивним законом може бути перетворено в $A(B + C)$. На рис. 1.11, б показана схема і таблиця істинності для функції $A(B + C)$. Дві функції є еквівалентними тоді і тільки тоді, якщо обидві функції набувають одного і того самого значення для всіх можливих змінних. З таблиць істинності на рис. 11 видно, що функція $A(B + C)$ еквівалентна функції $AB + AC$. Незважаючи на цю еквівалентність, схема на рис. 1.11, б простіше, ніж схема на рис. 1.11, а, оскільки містить менше вентилів.

Зазвичай розробник виходить з певної булевої функції, а потім застосовує до неї закони булевої алгебри, щоб знайти більш просту функцію, еквівалентну вихідній. На основі отриманої функції можна конструювати схему.

Щоб використовувати цей підхід, потрібно знати деякі співвідношення (закони) булевої алгебри, які показані в табл. 1.1.

Деякі співвідношення булевої алгебри

Співвідношення	I	АБО
співвідношення тотожності	$1A=A$	$0+A=A$
співвідношення нуля	$0A=0$	$1+A=1$
співвідношення ідемпотентності	$AA=A$	$A+A=A$
співвідношення інверсії	$A\bar{A} = 0$	$A + \bar{A} = 1$
співвідношення комутативності	$AB=BA$	$A+B=B+A$
асоціативне співвідношення	$(AB)C=A(BC)$	$(A+B)+C=A+(B+C)$
дистрибутивне співвідношення	$A+BC=(A+B)(A+C)$	$A(B+C)=AB+AC$

Контрольні питання

1. Назвіть основні співвідношення булевої алгебри.
2. Як отримати таблицю істинності для будь-якої булевої функції?
3. У чому полягає відмінність булевої алгебри від звичайної?
4. Чому використовують еквівалентні схеми?
5. Використовуючи таблицю істинності, покажіть, що $X = (X \text{ I } Y) \text{ АБО } (X \text{ I-НЕ } Y)$.
6. Існує 4 булеві функції від однієї змінної та 16 функцій від двох змінних. Скільки існує функцій від трьох змінних, від n змінних?
7. Існує 4 булеві функції від однієї змінної та 16 функцій від двох змінних. Скільки існує функцій від чотирьох змінних?
8. Як можна реалізувати функцію I, використовуючи два вентиля НЕ-I?

1.4. Персональний комп'ютер і його складові

Персональний комп'ютер — це електронний пристрій, призначений для зберігання, обробки, передачі і приймання даних.

До складу будь-якого сучасного персонального комп'ютера входять:

- **пам'ять** — група пристроїв, які забезпечують зберігання програм і даних;
- **процесор** — один або кілька пристроїв, які забезпечують задану програмою обробку даних;

• **пристрої введення-виведення** — група пристроїв, які забезпечують обмін, тобто приймання і передачу даних, між користувачем і комп'ютером, а також між двома і більше комп'ютерами. Різні пристрої комп'ютера з'єднуються між собою за допомогою стандартизованих і уніфікованих апаратних засобів — кабелів, рознімачів і т. ін. При цьому пристрої обмінюються один з одним інформацією і керуючими сигналами, які також приводяться до деяких стандартних форм. Сукупність цих стандартних засобів і форм утворює конкретний інтерфейс того чи іншого пристрою.

Інтерфейсом називається сукупність уніфікованих стандартних угод, апаратних і програмних засобів, методів і правил взаємодії пристроїв або програм, а також пристроїв або програм з користувачем.

Сукупність пристроїв, які включені до складу комп'ютера, а також засобів їх з'єднання називається **апаратним забезпеченням**.

Сукупність програм, які визначають обробку даних комп'ютером, називається **програмним забезпеченням**.

Основним пристроєм апаратної частини персонального комп'ютера є материнська плата.

1.4.1. Системна плата

Материнська плата, системна плата, базова плата (від англ. *motherboard*), відома також як **головна плата** (від англ. *mainboard*) — плата, на якій містяться основні компоненти комп'ютера, що забезпечують логіку. Плата є основою не лише персонального комп'ютера, а також смартфонів, гральних консолей.

Від материнської плати залежить функціональність комп'ютера, що визначається елементами самої плати і підключеними до неї пристроями. Основу материнської плати складає багат шарова пластина з провідними доріжками, якими електричний струм передається між складовими плати. Взаємодія деталей забезпечується *чипсетом*, який складається, як правило, з двох частин — *північного моста* (Northbridge) і *південного моста* (Southbridge). Зазвичай північний і південний мости розташовані на окремих мікросхемах. Саме північний і південний мости визначають особливості системної плати і те, які пристрої можуть підключатися до неї. Іншими ключовими елементами є

рознімачі для підключення *центрального процесора, графічного адаптера, звукової плати, жорстких дисків, оперативної пам'яті*. Крім них на платі містяться *резистори, конденсатори*, що підтримують роботу кожної деталі. Живлення материнської плати і відповідно всіх підключених до неї пристроїв забезпечується *блоком живлення*, з'єднаним з платою кабелями.

Всі основні електронні схеми плати і необхідні додаткові пристрої інтегровано в системну плату або вони підключаються до неї за допомогою *слотів розширення*. Слоти дозволяють підключати модулі оперативної пам'яті, відеокарти, додаткові пристрої, такі, наприклад, як панелі з USB-портами. Також материнська плата містить *порти* для підключення дискових і твердотільних накопичувачів, *колодки* підключення портів USB і кнопок, вмонтованих у корпус, живлення кулерів. Деякі сучасні системні плати підтримують бездротові пристрої, що використовують протоколи IrDA, Bluetooth або 802.11 (Wi-Fi).

На системній платі містяться:

- *сокет* або *гніздо центрального процесора*. За допомогою контактних ніжок чи пружних контактів процесор з'єднується з сокетом. Переважно передбачається можливість заміни процесорів, проте зрідка центральний процесор припаюється до плати (BGA);

- *мікросхема BIOS*, призначена для забезпечення первинної роботи комп'ютера. Вона містить інформацію про підключені пристрої, режими їхньої роботи і надає користувачеві через графічний інтерфейс на моніторі змогу змінювати конфігурацію обладнання. *Батарея*, що міститься поруч, забезпечує живлення годинника, який служить для синхронізації пристроїв і забезпечує зручність користування комп'ютером. Наприклад, він визначає системний час і термін, впродовж якого користувач має змогу увійти в управління BIOS;

- *слоти модулів оперативної пам'яті*. Модулі форм-фактора DIMM типу SDRAM, такі як DDR, DDR2 і новіші (слоти різні для кожного типу пам'яті). Найчастіше їх 3-4, хоча на компактних платах можна зустріти тільки 1 або 2 таких слоти;

- *рознімач відеокарти*. Спеціалізований рознімач типу AGP або PCI-Express служить насамперед для встановлення відеокарти. Зазвичай він один, втім останнім часом зустрічаються плати з двома, а то і трьома відеорознімачами. Також зустрічаються і системні плати без відеорознімачів взагалі — їхні чипсети

мають вбудоване графічне ядро, і зовнішня графічна карта для них необов'язкова. В останньому випадку відеокарта використовує частину оперативної пам'яті, а не окрему відеопам'ять;

- *слоти підключення додаткових карт розширення* стандартів PCI або PCI-Express x1 (раніше використовувалися слоти ISA). Через них підключаються SSD-накопичувачі, контролери USB, WiFi-карти;

- *інтерфейси Serial ATA* (раніше IDE) для підключення дискових накопичувачів — твердих дисків і оптичних приводів. Всі дискові накопичувачі підключаються до системної плати за допомогою спеціальних кабелів, які в розмовній мові називають "шлейфами";

- *рознімачі живлення* (основні два типи — 24-контактний ATX і 4-контактний ATX12V для додаткової лінії +12 V) і дво-, три- або чотирифазний модуль регулювання напруги VRM (Voltage Regulation Module), що складається з силових транзисторів, дроселів і конденсаторів. Цей модуль перетворює, стабілізує і фільтрує напругу, що подається від блока живлення;

- *задня панель з рознімачами* для підключення додаткових зовнішніх пристроїв — монітора, клавіатури і миші, мережевих-, аудіо- і USB-пристроїв тощо. Часто комплектується заглушкою, що закриває невикористовуваний простір між рознімачами і корпусом;

- окрім перелічених слотів і рознімачів, на будь-якій системній платі є велика кількість допоміжних *джамперів (перемичок) і рознімачів*: це можуть бути і контакти для підключення системного динаміка, кнопок і індикаторів на передній панелі корпусу, і роз'єми для підключення вентиляторів, і контактні колодки для підключення додаткових аудіорознімачів і рознімачів USB і FireWire.

Основні характеристики материнської плати: тип сокета, чипсет, частота шини, тип і максимальна частота підтримуваної оперативної пам'яті, а також кількість слотів для неї, наявність і кількість основних слотів і рознімачів (PCI, PCI Express, SATA, IDE, USB), інтегровані карти (мережева, звукова, і відеокарти), форм-фактор.

Основні компоненти материнської плати (рис. 1.12) об'єднує чипсет — набір мікросхем, призначених для спільної роботи з метою виконання набору будь-яких функцій.

Практично завжди чипсет є комбінацією двох мікросхем — північного і південного мостів.

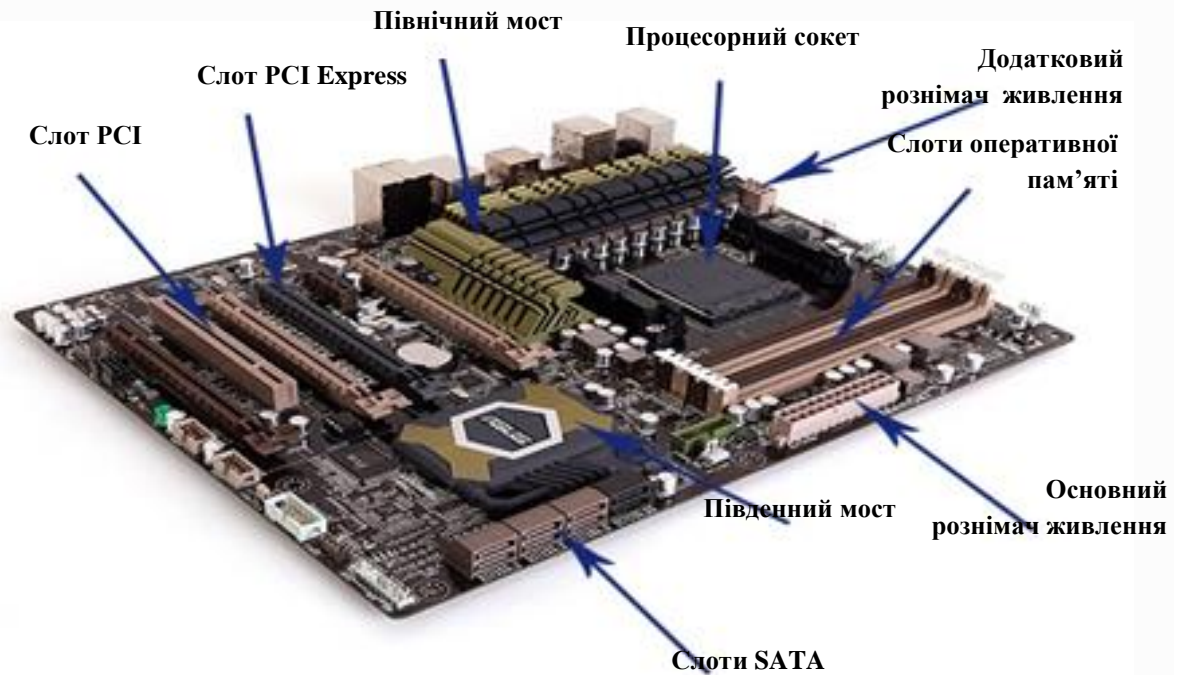


Рис. 1.12. Зовнішній вигляд материнської плати

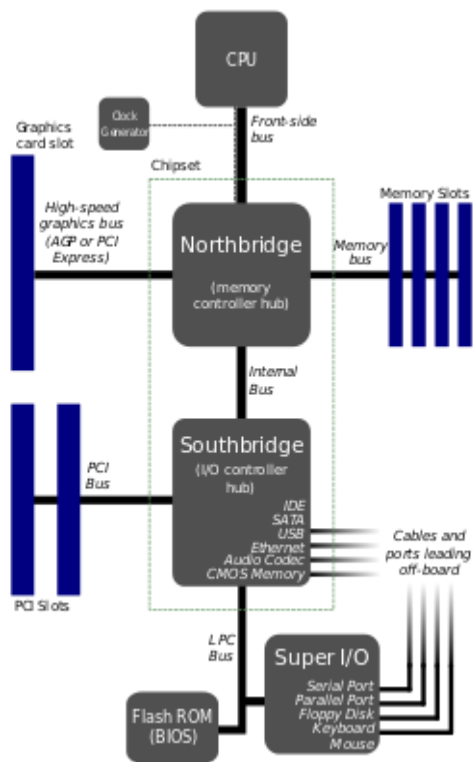


Рис. 1.13. Спрощена схема материнської плати

Південний мост (Southbridge) контролює вінчестери, карти розширення, інтерфейси SATA, USB та інші рознімачі. Як правило, південний мост не має прямого контакту з процесором (чим пояснюється його розташування як окремої мікросхеми).

Північний мост (Northbridge) працює безпосередньо з процесором, здійснює його з'єднання з оперативною пам'яттю, а також з графічним контролером.

1.4.2. Центральний процесор

Центральний процесор, ЦП (від англ. *central processing unit, CPU*) — функціональна частина комп'ютера, призначена для інтерпретації команд.

Внутрішні спільно працюючі пристрої. Моделі процесорів включають такі спільно працюючі пристрої:

- *пристрій управління (ПУ).* Здійснює координацію роботи всіх інших пристроїв, виконує функції управління пристроями, управляє обчисленнями в комп'ютері.

- *дешифратор інструкцій (команд).* Аналізує інструкції з метою визначення операцій, що відповідають інструкції, виділення операндів і адрес, за якими розміщуються операнди. У системах з конвеєром команд дешифратор здійснює дешифрування наступної команди одночасно з виконанням поточної (для завантаження усіх виконавчих пристроїв) і може дешифрувати одночасно декілька інструкцій, наприклад для готовності здійснити перехід відповідно до результату, який найближчим часом буде отриманий з конвеєра;

- *арифметико-логічний пристрій (АЛП).* Так називається пристрій для цілочисельних операцій. Арифметичні операції, такі як додавання, множення і ділення, а також логічні операції (OR, AND, ASL, ROL і ін.) обробляються за допомогою АЛП. Ці операції складають переважну більшість програмних кодів у більшості програм. Всі операції в АЛП обробляються в регістрах — спеціально відведених комірках АЛП. У процесорі може бути декілька АЛП. Кожен здатний виконувати арифметичні або логічні операції незалежно від інших, дозволяє виконувати декілька операцій одночасно. АЛП виконує арифметичні і логічні дії. Логічні операції поділяються на дві прості операції: "Так" і "Ні" ("1" і "0"). Звичайно, ці два пристрої виділяються суто умовно, конструктивно вони не розділені;

- *AGU (Address Generation Unit) — пристрій генерації адрес.* Цей пристрій не менш важливий, ніж АЛП, тому що він відповідає за коректну адресацію при завантаженні або збереженні даних;

- *математичний співпроцесор (FPU).* Процесор може містити декілька математичних співпроцесорів. Кожний з них здатний виконувати щонайменше одну операцію з рухомою комою, незалежно від того, що роблять інші АЛП. Метод конвеєрної обробки даних дозволяє одному

математичному співпроцесору виконувати декілька операцій одночасно. Співпроцесор підтримує високоточні обчислення як цілочисельних, так і з рухомою комою і, крім того, містить набір корисних констант, що прискорюють обчислення. Співпроцесор працює паралельно з центральним процесором, забезпечуючи, таким чином, високу продуктивність;

- *Кеш-пам'ять*. Особлива високошвидкісна пам'ять процесора. Кеш використовується як буфер для прискорення обміну даними між процесором і оперативною пам'яттю, а також для збереження копій інструкцій і даних, що недавно використовувалися процесором. Значення з кеш-пам'яті витягаються прямо, без звертання до основної пам'яті.

Кеш першого рівня (L1 cache) - кеш-пам'ять, що знаходиться усередині процесора. Вона швидша за всі інші типи пам'яті, але менша за обсягом. Зберігає нещодавно використану інформацію, яка знову може бути використана при виконанні коротких програмних циклів.

Кеш другого рівня (L2 cache), також знаходиться усередині процесора. Інформація, що зберігається в ньому, використовується рідше, ніж інформація, що зберігається в кеш-пам'яті першого рівня, проте обсяг пам'яті у ньому більший. Також в процесорах може використовуватись *кеш третього рівня*.

- *реєстри* — це внутрішня пам'ять процесора. Являють собою ряд спеціалізованих додаткових комірок пам'яті, а також є внутрішніми носіями інформації мікропроцесора. Регістр є пристроєм тимчасового зберігання даних, числа або команди і використовується з метою полегшення арифметичних, логічних і пересильних операцій. Основним елементом реєстра є електронна схема, яку називають тригером, що здатна зберігати одну двійкову цифру (розряд).

Деякі важливі реєстри мають свої назви:

- *суматор* — реєстр АЛП, що бере участь у виконанні кожної операції;

- *лічильник команд* — реєстр управляючого пристрою (УП), вміст якого відповідає адресі чергової виконуваної команди, служить для автоматичного вибирання програми з послідовних комірок пам'яті;

- *реєстр команд* — реєстр УП для збереження коду команди на період часу, необхідний для її виконання. Частина його розрядів використовується для збереження коду операції, інші — для збереження кодів адрес операндів.

Основні характеристики процесора

Виробники процесорів. На ринку процесорів існують два великих виробники, які є лідерами: Intel і AMD. Характеристики процесорів у різних виробників різні. Більшість яких залежить від досконалості технологій, використаних матеріалів, компонування та інших нюансів.

Тактова частота процесора. Тактова частота вказує швидкість роботи процесора в герцах (Гц) — кількість робочих операцій за секунду. Тактова частота процесора поділяється на внутрішню і зовнішню. Так, ця характеристика процесора значно впливає на швидкість роботи ПК, але продуктивність залежить не тільки від неї.

Внутрішня тактова частота означає темп, з яким процесор обробляє внутрішні команди. Чим вище показник, тим швидше зовнішня тактова частота.

Зовнішня тактова частота визначає, з якою швидкістю процесор звертається до оперативної пам'яті.

Розрядність процесора. Розрядність є максимальною кількістю розрядів двійкового числа, над яким одноразово може проводитися машинна операція передачі інформації. Чим більше розрядність, тим вища продуктивність процесора. Зараз більшість процесорів мають розрядність у 64 біти і підтримують від 4 Гбайт ОЗП. Це одна з основних характеристик процесора, але далеко не єдина, при виборі потрібно керуватися не тільки нею.

Розмірність технологічного процесу. Визначає розміри транзистора (товщину і довжину затвора). Частота роботи кристала визначається частотою перемикачів транзисторів (із закритого стану у відкритий). Якщо менше розмір, то менше площа, а отже і виділення тепла. Розмірність технологічного процесу вимірюється в нанометрах, чим менше цей показник, тим краще.

Сокет або рознімач. Гніздовий або щілинний рознімач, призначений для інтеграції чіпа ЦП у схему материнської плати. Кожен рознімач допускає встановлення тільки певного типу процесорів.

Кеш-пам'ять процесора. Кеш-пам'ять процесора є однією з ключових характеристик. Кеш-пам'ять — масив надшвидкісної енергозалежної пам'яті. Є буфером, у якому зберігаються дані, з якими процесор взаємодіє частіше або взаємодіє у процесі останніх операцій. Завдяки цьому зменшується кількість звернень процесора до основної пам'яті. Цей вид пам'яті поділяється

на три рівні: L1, L2, L3. Кожен з рівнів відрізняється розміром пам'яті і швидкості, і задавання прискорення в них розрізняються. L1 — найменший і швидкий, L3 — найбільший і повільний. Чим більше об'єм кеш-пам'яті, тим краще. До кожного рівню процесор звертається по черзі (від меншого до більшого), поки не виявить в одному з них потрібну інформацію. Якщо нічого не знайдено, звертається до оперативної пам'яті.

Енергоспоживання і тепловиділення. Чим вище енергоспоживання процесора, тим вище його тепловиділення. Потрібно подбати про достатнє охолодження.

TDP (Thermal Design Power) — параметр, який вказує на ту кількість тепла, яку здатна відвести охолоджуюча система від певного процесора при найбільшому навантаженні. Значення представлене у ватах при максимальній температурі корпусу процесора.

ACP (Average CPU Power) — середня потужність процесора, що показує енергоспоживання процесора при конкретних завданнях.

Робоча температура процесора. Найвищий показник температури поверхні процесора, при якому можлива нормальна робота (54-100 °C). Цей показник залежить від навантаження на процесор і від якості відведення тепла. При перевищенні меж комп'ютер або перезавантажиться, або просто відключиться. Це дуже важлива характеристика процесора, яка безпосередньо впливає на вибір типу охолодження.

Кількість ядер (потоків). Багатоядерність — одна з найважливіших характеристик центрального процесора, але останнім часом їй приділяють занадто багато уваги. Так, зараз вже потрібно постаратися, щоб знайти робочі одноядерні процесори, вони себе благополучно зжили. На заміну одноядерним прийшли процесори з 2, 4 і 8 ядрами. Якщо 2 і 4-ядерні увійшли в ужиток дуже швидко, процесори з 8 ядрами поки не так затребувані. Для використання офісних додатків і серфінгу в інтернеті досить 2 ядер, 4 ядра потрібні для САПР і графічних додатків, яким просто необхідно працювати в кілька потоків. Що стосується 8 ядер, то дуже мало програм підтримують так багато потоків, а отже, такий процесор для більшості додатків просто непотрібний. Зазвичай чим менше потоків, тим більше тактова частота. З цього випливає, що якщо програма, адаптована під 4 ядра, а не під 8, то на 8-ядерному процесорі вона буде працювати повільніше.

1.4.3. Оперативна пам'ять

Оперативна пам'ять (від англ. random access memory, RAM, пам'ять з довільним доступом) або оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП); комп'ютерною мовою — "мізки", оперативна пам'ять — енергозалежна частина системи комп'ютерної пам'яті, у якій під час роботи комп'ютера зберігається виконуваний машинний код (програми), а також вхідні, вихідні та проміжні дані, що обробляються процесором.

ОЗП більшості сучасних комп'ютерів є модулями динамічної пам'яті, що містять напівпровідникові інтегральні схеми (ІС), організовані за принципом пристроїв з довільним доступом.



Рис. 1.14. Зовнішній вигляд модулів пам'яті

Пам'ять динамічного типу дешевше, ніж статичного, а її щільність вище, що дозволяє на тій самій площі кремнієвого кристала розмістити більше елементів пам'яті, але при цьому її швидкодія нижче. Статична пам'ять, навпаки, більш швидка пам'ять, але вона і дорожча. У зв'язку з цим основну оперативну пам'ять будують на модулях динамічної пам'яті, а пам'ять статичного типу використовується для побудови кеш-пам'яті всередині мікропроцесора.

Пам'ять динамічного типу.

DRAM (від англ. dynamic random access memory — динамічна пам'ять з довільним доступом) - тип комп'ютерної пам'яті, що відрізняється використанням напівпровідникових матеріалів, енергозалежністю і можливістю доступу до даних, що зберігаються в довільних комірках пам'яті. Модулі пам'яті такого типу широко використовуються у сучасних комп'ютерах в якості ОЗП, також використовуються в якості пристроїв постійного зберігання інформації в системах, вимогливих до затримок.

Статична пам'ять з довільним доступом **SRAM** (від англ. static random access memory) — напівпровідникова оперативна пам'ять, у якій кожен двійковий або трійчастий розряд зберігається у схемі з позитивним зворотним зв'язком, що дозволяє підтримувати стан без регенерації, необхідної в динамічній пам'яті (DRAM).

У динамічній пам'яті для зберігання розряду (біта або тріта) використовується схема, що складається з одного конденсатора і одного транзистора (у деяких варіантах два конденсатори). Такий вид пам'яті, по-перше, дешевше (один конденсатор і один транзистор на 1 біт дешевше від декількох транзисторів тригера) і, по-друге, займає меншу площу на кристалі (там, де в SRAM розміщується один тригер, який зберігає 1 біт, можна розмістити кілька конденсаторів і транзисторів для зберігання кількох бітів). Але DRAM має і недоліки. По-перше, працює повільніше, оскільки якщо в SRAM зміна керуючої напруги на вході тригера відразу дуже швидко змінює його стан, то для того, щоб змінити стан конденсатора, його потрібно зарядити або розрядити. Перезарядження конденсатора набагато більш тривале (у 10 і більше разів), ніж перемикавання тригера, навіть якщо ємність конденсатора дуже мала. Другий істотний недолік — конденсатори з часом розряджаються. Причому розряджаються вони тим швидше, чим менше їхня електрична ємність і більше струм витоку. Саме через те, що заряд конденсатора динамічно зменшується в часі, пам'ять на конденсаторах отримала свою назву DRAM — динамічна пам'ять. Тому, щоб не втратити вміст пам'яті, заряд конденсаторів періодично відновлюється ("регенерується") через певний час, так званий цикл регенерації (зазвичай 2 мс).

Для регенерації в сучасних мікросхемах досить виконати циклограму "читання" по всіх рядках матриці пам'яті. Процедuru регенерації виконує процесор або контролер пам'яті.

Пам'ять статичного типу. ОЗП, яке не треба регенерувати (зазвичай схемотехнічно виконане у вигляді масиву тригерів), називають статичною пам'яттю з довільним доступом або просто статичною пам'яттю. Перевага цього виду пам'яті — швидкість. Оскільки тригери є з'єднанням декількох логічних вентилів, а час затримки на вентиль дуже малий, то і перемикавання стану тригера відбувається дуже швидко. Даний вид пам'яті не позбавлений недоліків. По-перше, група транзисторів, що входять до складу тригера, є дорожчою, ніж комірка динамічної пам'яті, навіть якщо вони виготовляються груповим методом мільйонами на одній кремнієвій підкладці. По-друге, група транзисторів займає набагато більше площі на кристалі, ніж комірка динамічної пам'яті, оскільки тригер складається мінімум

з 2 вентилів (шести-восьми транзисторів), а комірка динамічної пам'яті — тільки з одного транзистора і одного конденсатора. Використовується для організації надшвидкодуючих ОЗП, обмін інформацією з яким критичний для продуктивності системи.

Основні характеристики оперативної пам'яті: тип пам'яті, об'єм модуля пам'яті, тактова частота, таймінги (латентність).

1.4.4. Шини материнської плати

Шина — це канал пересилання даних, який використовується спільно різними блоками системи. Шина може являти собою набір провідних ліній у друкованій платі. Проводи припаяні до виводів рознімачів, у які вставляються друковані плати, або плоский кабель. Інформація передається по шині у вигляді груп бітів. До складу шини для кожного біта слова може бути передбачена окрема лінія (паралельна шина), або всі біти слова можуть послідовно в часі використовувати одну лінію (послідовна шина).

За функціональним призначенням можуть бути виділені такі шини:

- *шина даних* — служить для пересилання даних між процесором і пам'яттю або процесором і пристроями введення-виведення. Ці дані можуть являти собою як команди мікропроцесора, так і інформацію, що він посилає в порти введення-виведення або приймає звідти;

- *шина адрес* — використовується ЦП для вибору необхідної комірки пам'яті або пристрою введення-виведення шляхом установки на шині конкретної адреси, що відповідає одному з комірок пам'яті або одному з елементів введення-виведення, що входять у систему;

- *шина управління* — по ній передаються керуючі сигнали, призначені для пам'яті і пристроїв введення-виведення. Ці сигнали вказують напрямок передачі даних (у процесор або з нього).

Буфер цілей розгалуження (від англ. branch target buffer, BTB). Це таблиця, у якій знаходяться всі адреси, куди буде або може бути зроблений перехід.

Логічну структуру звичайного ПК ілюструє рис. 1.15. У комп'ютера є одна шина для з'єднання центрального процесора, пам'яті та пристроїв введення-виведення, однак більшість систем

мають дві і більше шин. Кожний пристрій введення-виведення складається з двох частин: одна об'єднує більшу частину електроніки і називається контролером, а інша являє собою пристрій введення-виведення, наприклад принтер. Контролер зазвичай розташовується на платі, яка вставляється у вільний рознімач. Виняток становлять контролери пристроїв, що є невід'ємними складовими частинами комп'ютера (наприклад клавіатури), які іноді розташовуються на материнській платі.



Рис. 1.15. Логічна структура комп'ютера

Контролер управляє своїм пристроєм введення-виведення і для цього регулює доступ до шини. Наприклад, якщо програма запитує дані з диска, вона посилає команду контролеру диска, який потім відправляє диску команду пошуку та інші команди. Після знаходження відповідної доріжки і сектора диск починає передавати контролеру дані у вигляді потоку бітів. Завдання контролера полягає в тому, щоб розбити потік бітів на фрагменти і записувати кожен такий фрагмент по мірі накопичення бітів для нього в пам'ять. Окремий фрагмент зазвичай являє собою одне або декілька слів. Якщо контролер зчитує дані з пам'яті або записує в пам'ять без участі центрального процесора, то кажуть, що здійснюється прямий доступ до пам'яті (Direct Memory Access, DMA). Коли передача даних закінчується, контролер видає переривання, змушуючи центральний процесор призупинити роботу поточної програми і почати виконання особливої процедури. Ця процедура називається програмою обробки переривань і потрібна вона для того, щоб перевірити, чи нема помилок; у разі їх виявлення зробити необхідні

дії і повідомити операційній системі, що процес введення-виведення завершений. Коли програма обробки переривання завершується, процесор відновлює роботу програми, яка була припинена.

Шина використовується не тільки контролерами введення-виведення, але і процесором для передачі команд і даних. Що ж станеться, якщо процесор і контролер введення-виведення хочуть отримати доступ до шини одночасно? У цьому випадку особлива мікросхема, яка називається арбітром шини, вирішує, чия черга перша. Як правило, перевага віддається пристроям введення-виведення, оскільки роботу дисків та інших рухомих пристроїв не можна переривати, оскільки це може призвести до втрати даних. Коли жоден пристрій введення-виведення не функціонує, центральний процесор може повністю розпоряджатися шиною для взаємодії з пам'яттю. Однак якщо працює який-небудь пристрій введення-виведення, він буде видавати запит на доступ до шини та одержувати його кожен раз, коли йому це необхідно. Цей процес, який гальмує роботу комп'ютера, називається *захопленням циклу пам'яті (cycle stealing)*.

Описана структура успішно використовувалася в перших ПК, оскільки всі їх компоненти працювали приблизно з однаковою швидкістю. Однак як тільки центральні процесори, пам'ять і пристрої введення-виведення стали працювати швидше, виникла проблема: шина перестала справлятися з навантаженням. У разі закритих систем, таких як інженерні робочі станції, рішенням проблеми стало розроблення для наступної моделі машини нової шини з більш високою швидкістю передачі даних. Оскільки в закритих системах ніхто ніколи не переносив пристрої введення-виведення зі старої моделі на нову, такий підхід успішно працював.

Однак у світі ПК велика частина користувачів, замінюючи свій комп'ютер новою моделлю, ніяк не розраховує одночасно відмовлятися від своїх старих і звичних пристроїв введення-виведення. Крім того, існує ціла галузь промисловості, яка випускає широкий спектр пристроїв введення-виведення для комп'ютерів IBM PC, і виробники цих пристроїв зовсім не були зацікавлені в тому, щоб починати всі свої розробки знов. Тому для ПК характерне поступове витіснення старих шин. На початковому етапі для сумісності зі старими пристроями введення-виведення випускаються комп'ютери з декількома типами шин: старою і новою з більшою пропускнуою здатністю.

Шини PCI та PCIe. До сьогодні найбільш популярною моделлю шини була шина PCI (від англ. peripheral component interconnect — взаємодія периферійних компонентів), розроблена компанією Intel, яка вирішила відкрити всю пов'язану з шиною документацію, щоб сторонні виробники могли розробляти відповідні пристрої.

Існує багато різних конфігурацій шини PCI. Найбільш типова з них показана на рис. 1.16. У такій конфігурації центральний процесор взаємодіє з контролером пам'яті по виділеному високошвидкісному з'єднанню. Таким чином, контролер з'єднується з пам'яттю безпосередньо, тобто передача даних між центральним процесором і пам'яттю відбувається не через шину PCI. Інші периферійні пристрої приєднуються безпосередньо до шини PCI. Машини такого типу містять 2 або 3 порожні рознімачі PCI, щоб покупці мали можливість підключати карти PCI для нових периферійних пристроїв.

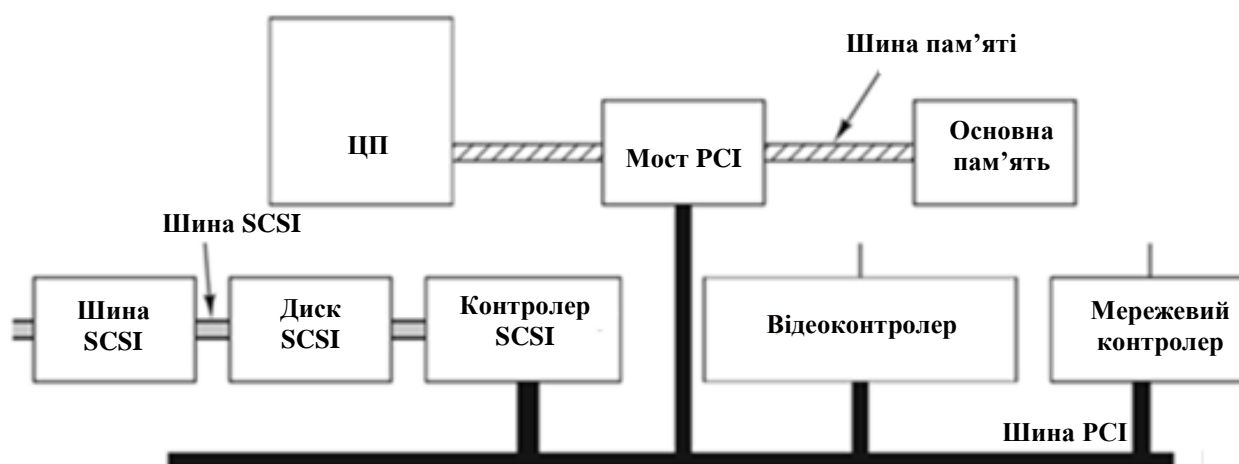


Рис. 1.16. Сучасний персональний комп'ютер з шиною PCI.
Контролер SCSI, що є PCI-пристроєм

Як би швидко не працювало комп'ютерне обладнання, знайдеться багато людей, яким воно здасться занадто повільним. Така доля спіткала і шину PCI, яка була замінена шиною *PCI Express* (скорочено *PCIe*). Багато сучасних комп'ютерів підтримують обидві шини, завдяки чому користувачі можуть підключати нові, швидкі пристрої до шини PCIe, а старі, більш повільні — до шини PCI.

Якщо шина PCI являла собою оновлену версію попередньої старої шини ISA з більш високою швидкістю і розрядністю паралельної передачі даних, то PCIe кардинально змінена порівняно з шиною PCI. Власне це взагалі не шина, а однорангова мережа, що використовує розрядно-последовні лінії і комутацію пакетів. Архітектура PCIe зображена на рис. 1.17.

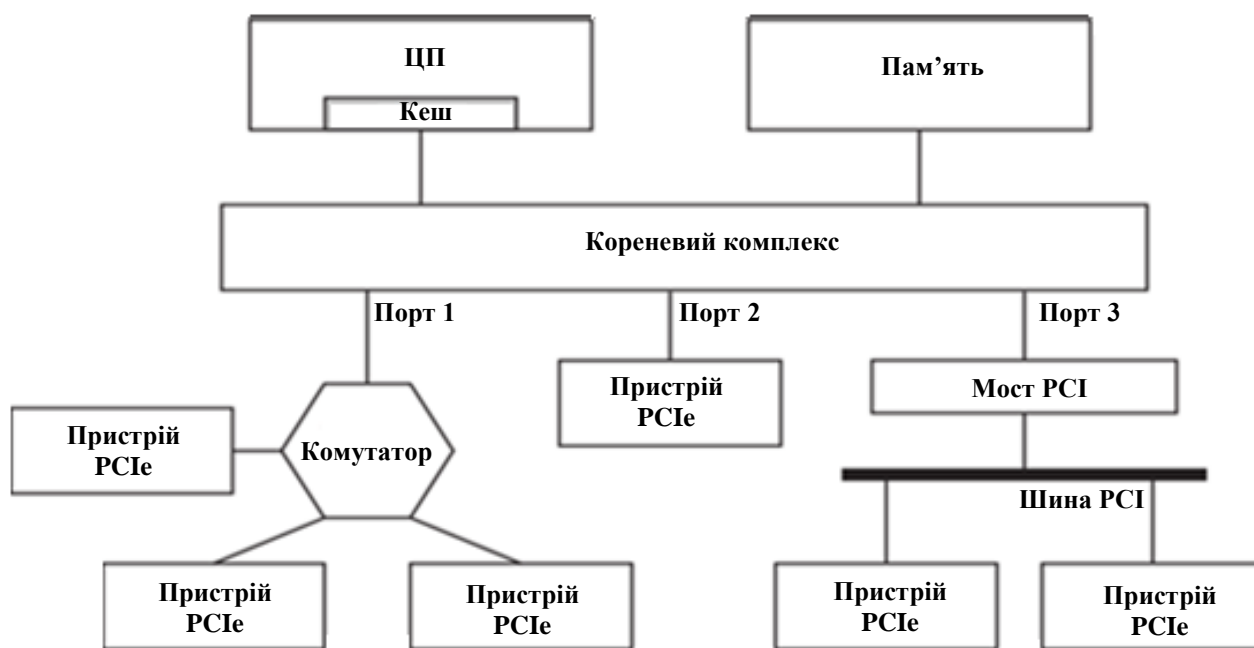


Рис. 1.17. Архітектура системи PCIe з трьома портами PCI

Деякі особливості шини PCIe відразу кидаються в очі.

По-перше, з'єднання між пристроями є послідовними, тобто мають розрядність в один біт замість 8, 16, 32 або 64 бітів. Хоча, здавалося б, 64-розрядне з'єднання має більш високу пропускну здатність, на практиці відмінності в часі поширення 64-розрядної інформації, так звані розфазування, змушують використовувати відносно низькі швидкості передачі даних.

Последовним з'єднанням дані передаються на значно більш високій швидкості, що більш ніж компенсує втрату паралелізму.

Шини PCI працюють на максимальній тактовій частоті 66 МГц. При передачі 64 бітів за такт швидкість передачі даних становить 528 Мбайт/с. При тактовій частоті 8 кГц, навіть у разі послідовної передачі, швидкість передачі по шині PCIe складає 1 Гбайт/с. Крім того, обмін даними між пристроєм і корневим комплексом або комутатором не обмежується однією

провідною парою. Пристрій може мати до 32 провідних пар, так званих *трактів* (lanes) або доріжок. Тракти працюють несинхронно, тому розфазування в даному випадку несуттєве. На більшості материнських плат є 16-трактовий рознімач для графічної карти, що для PCIe 3.0 забезпечує пропускну здатність у 16 Гбайт/с — приблизно в 30 разів більше, ніж у графічних карт PCI. Така пропускну здатність необхідна для програм, вимоги яких постійно зростають, наприклад тривимірної графіки.

По-друге, всі взаємодії є одноранговими. Коли процесор звертається до пристрою, він відправляє цьому пристрою пакет і зазвичай отримує відповідь. Пакет проходить через кореневий комплекс на материнській платі, а потім передається пристрою — як правило, через комутатор (або для пристроїв PCI — через міст PCI). Перехід від системи, у якій всі пристрої взаємодіють із загальною шиною, до системи з одноранговими взаємодіями відповідає напрямку розвитку Ethernet (популярна технологія локальних мереж), яка у вихідному варіанті теж використовувала ширококомовний канал, але тепер використовує однорангові взаємодії з використанням комутаторів.

Контрольні питання

1. Розкрийте поняття персональний комп'ютер і вкажіть призначення його складових.
2. Назвіть основні характеристики материнської плати. Що розміщується на материнській платі?
3. Назвіть основні характеристики центрального процесора та його складові.
4. Охарактеризуйте оперативну пам'ять статичного та динамічного типу.
5. Дайте визначення та наведіть класифікацію шин материнської плати за функціональним призначенням.
6. У чому відмінність між шинами PCI та PCIe?
7. Аналогові схеми чутливі до дії шуму, що спотворює їх виведення. Чи захищені від шуму цифрові пристрої?

РОЗДІЛ 2. ПЕРИФЕРІЙНІ ПРИСТРОЇ

Периферійний пристрій (від англ. *peripheral*) призначений для забезпечення введення-виведення інформації в необхідному для користувача форматі, а також зручності взаємодії останнього з комп'ютером.

Периферійні пристрої бувають зовнішніми або внутрішніми. Зовнішні пристрої виготовляються як окремі прилади, які обладнані власним блоком живлення. Зв'язок між комп'ютером і зовнішніми пристроями здійснюється за допомогою спеціальних сигнальних кабелів. У зовнішньому виконанні виготовляються пристрої, які мають значну потужність або з ергономічних міркувань (з точки зору зручності використання) не можуть бути виготовлені у внутрішньому виконанні.

Внутрішні периферійні пристрої не мають власного блока живлення, а тому використовують блок живлення комп'ютера і є вбудованими в його системний блок. Зв'язок між комп'ютером і такими пристроями реалізується за допомогою спеціальних кабелів (шлейфів) або безпосередньо за допомогою системної магістралі.

Периферійні пристрої поділяють на три типи:

- **пристрої введення** — для введення інформації в комп'ютер: маніпулятор "миша", клавіатура, сенсорний екран, мікрофон, сканер, Web-камера, пристрій захоплення відео, ТВ-тюнер;

- **пристрої виведення** — для виведення інформації з комп'ютера: відеокарта, монітор, принтер, акустична система;

- **пристрої зберігання** (введення/виведення) — для накопичення інформації, що обробляється комп'ютером: накопичувач на жорстких магнітних дисках (НЖМД), стрічковий накопичувач, USB-флеш-накопичувач.

2.1. Пристрої введення інформації

Пристрій введення — пристрій для внесення даних до комп'ютера під час його роботи.

Пристрої введення можна умовно поділити:

- *пристрої введення графічної інформації* (сканер, відео- та Web-камера, цифрова камера, плата відеозахоплення);

- *пристрої введення звуку* (мікрофон, диктофон);

- *пристрій введення текстової інформації* (клавіатура);
- *вказівні (координатні) пристрої:* (миша, трекбол, трекпойнт, touchpad, джойстик, графічний планшет, світлове перо, геймпад).
- *ігрові пристрої введення* (джойстик, кермо, штурвал для авіасимулятора, та ін.).

2.1.1. Клавіатура

Клавіатура (від англ. **keyboard**) — сукупність розміщених у певному порядку клавіш пристрою, що використовується для введення і редагування даних, а також управління виконанням окремих операцій (рис. 2.1).

Клавіша тут виступає як елемент клавіатури, натисканням якого генерується код відповідного знака або ініціюється деяка дія.

Існує декілька видів клавіатур. У перших комп'ютерах IBM PC під кожною клавішею знаходився перемикач, який давав відчутну віддачу і клацав під час натискання клавіші. На сьогодні механічний контакт з друкованою платою в клавіатурах не відбувається. Між друкованою платою і клавішами розміщується



Рис. 2.1. Комп'ютерна клавіатура

шар еластичного матеріалу (спеціальний тип резини). Під кожною клавішею знаходиться невеликий купол, який прогинається у випадку натискання клавіші. Електропровідний матеріал, який знаходиться всередині купола, замикає схему. У

деяких клавіатурах під кожною клавішею знаходиться магніт, який під час натискання клавіші проходить через котушку і таким чином викликає електричний струм. Використовуються й інші методи, як механічні, так і електромагнітні.

У ПК під час натискання клавіші відбувається процедура переривання, і запускається програма обробки переривання. Ця програма зчитує вміст апаратного регістра в контролер клавіатури, щоб отримати номер клавіші, яка натиснена. Коли клавіша відпускається, відбувається друге переривання. Наприклад, якщо користувач натискає клавішу SHIFT, а потім натискає і відпускає клавішу M, після чого відпускає клавішу SHIFT, операційна система розуміє, що йому потрібна велика, а не маленька літера M. Обробка сполучень натиснених клавіш відбувається тільки програмно.

2.1.2. Маніпулятор "миша"

Миша (від англ. *mouse, mouse devices*) — один із вказівних (координатних) пристроїв введення (від англ. *pointing device*), який дає змогу користувачеві через інтерфейс взаємодіяти з комп'ютером.

Принцип дії. Миша сприймає своє переміщення в робочій площині (зазвичай на частині поверхні стола) і передає цю інформацію комп'ютеру. Програма що є в комп'ютері, у відповідь на переміщення миші виконує на екрані дію, яка відповідає напрямку і відстані цього переміщення. В універсальних інтерфейсах (наприклад у віконному) за допомогою миші користувач упряляє спеціальним курсором — вказівником — маніпулятором елементами інтерфейсу. Інколи використовується введення команд мишею без участі видимих елементів інтерфейсу програми: за допомогою аналізу рухів миші. Такий спосіб отримав назву "жести мишкою" (від англ. *mouse gestures*).

Як доповнення до датчика переміщення, миша має від однієї до трьох і більше кнопок, а також додаткові елементи управління (колеса прокручування (від англ. *scroll wheel*), джойстики, трекболи, клавіші тощо), дії яких зазвичай пов'язані з положенням курсора в цей час.

Датчики переміщення. У процесі "еволюції" комп'ютерної миші найбільші зміни зазнали датчики переміщення.

Прямий привод. Початкова конструкція датчика переміщення миші, винайденої Дугласом Енгельбартом у Стенфордському дослідницькому інституті в 1963 році, складалася з двох перпендикулярних коліс, які виступають з корпусу пристрою. При переміщенні миші колеса крутилися кожне у своєму вимірі. Така конструкція мала багато недоліків і досить скоро була замінена на мишу з кульовим приводом.

Кульовий привод. У кульовому приводі рух миші передається на виступну з корпусу прогумовану сталеву кульку (її вага і гумове покриття забезпечують хороше зчеплення з робочою поверхнею). Два притиснутих до кульки ролики знімають координати її руху по кожному з вимірів і передають їх на датчики кута повороту (інкрементальні енкодери), що перетворюють ці рухи в електричні сигнали. Основний недолік кульового приводу — забруднення кульки і знімаючих роликів, що призводить до заїдання миші і необхідності в періодичному чищенні (частково ця проблема згладжувалася шляхом металізації роликів). Незважаючи на недоліки, кульовий

привод довгий час домінував, успішно конкуруючи з альтернативними схемами датчиків. У наш час кульові миші майже повністю витіснені оптичними мишами другого покоління.

Схема будови комп'ютерної механічної, проводової миші (рис. 2.2):



Рис. 19. Будова "миші"

1. Вектор обертання кульки миші.
2. Обертання по осям X і Y згідно з рухом кульки.
3. Обертання диска згідно із обертанням осей.
4. Інфрачервоні світлодіоди просвічують через отвори в дисках.
5. Датчики заміряють швидкість обертання шляхом замірювань

світлових імпульсів.

Контактний енкодер. Контактний датчик являє собою текстолітовий диск з променеподібними металевими доріжками і трьома контактами, притиснутими до нього. Такий датчик кульова миша отримала "у спадок" від прямого привода.

Основними недоліками контактних датчиків є окиснення контактів, швидкий знос і невисока точність. Тому з часом все миші перейшли на безконтактні оптопарні датчики.

Оптичний енкодер. Оптичний датчик складається з подвійної оптопари — світлодіода і двох фотодіодів (зазвичай — інфрачервоних) і диска з отворами або променеподібними прорізами, що перекривають світловий потік з обертанням. При переміщенні миші диск обертається, і з фотодіодів знімається сигнал з частотою, що відповідає швидкості переміщення миші. Різниця фаз засвічення між двома фотодіодами визначає напрямок обертання. Аналогічний сенсор знаходиться на коліщатку прокручування.

Оптичні лазерні миші. В останні роки був розроблений новий, більш досконалий різновид оптичного датчика, який використовує для підсвічування напівпровідниковий лазер.

Переваги:

- більш висока надійність і розподільна здатність;
- відсутність помітного світіння (бо сенсор досить слабо підсвічується лазером видимого або, можливо, інфрачервоного діапазону);
- низьке енергоспоживання;

- повністю інтегроване рішення, коли лазер підсвічування виконується на тому самому кристалі, що і сенсор.

Гіроскопічні миші. Миша, оснащена гіроскопом, розпізнає рух не тільки на поверхні, але і в просторі: її можна взяти зі столу і управляти рухом кисті в повітрі.

Гіроскопічні датчики удосконалюються. Наприклад, за заявою Logitech, механічні датчики, виконані за технологією MEMS, які використовуються в миші MX Air, менші за традиційні гіроскопічні. На сьогодні найменшим гіроскопічним датчиком укомплектовані миші NEO MOUSE, розроблені Корейською компанією NEO REFLECTION. Її вага становить всього 13 грамів, а за розміром вона не більше пальчикової батарейки.

2.1.3. Сенсорний екран

Хоча ці пристрої вийшли на масовий ринок тільки з виходом Apple iPhone у 2007 році, вони з'явилися набагато раніше. Перший сенсорний екран був розроблений у фірмі Royal Radar Establishment в Малверні, Великобританія, у 1965 році. Навіть характерні жести масштабування зведенням/розведенням пальців, так широко розрекламовані для iPhone, були винайдені під час роботи, що проводилася в університеті Торонто в 1982 році. З тих пір дослідники розробили і вивели на ринок багато різних технологій.

Сенсорні пристрої поділяються на прозорі і непрозорі. Типовий непрозорий сенсорний пристрій — сенсорна панель (тачпад) на ноутбучі. Типовий прозорий пристрій — екран смартфона або планшетного комп'ютера. Основні різновиди сенсорних екранів — інфрачервоні, резистивні та ємнісні.

Принцип роботи інфрачервоних екранів заснований на розміщенні інфрачервоних передавачів (інфрачервоних діодів або лазерів) на лівому і верхньому краях оправи з детекторами на правому та нижньому краях. Коли палець, стилус або будь-який непрозорий об'єкт блокує один чи кілька променів сітки, відповідний детектор виявляє зникнення сигналу. Обладнання пристрою може повідомити операційній системі, який з променів був заблокований; за цими даними обчислюються координати (x, y) пальця або стилуса. Ця технологія з'явилася вже давно, вона досі використовується в інтерактивних кіосках та інших сферах, але в мобільних пристроях вона не застосовується.

Інша стара технологія виготовлення сенсорних екранів — резистивна — складається з двох шарів. Верхній гнучкий шар містить велику кількість горизонтальних провідників. У мембрані, що знаходиться під ним, проходять вертикальні провідники. Коли палець натискає на екран, один з провідників верхньої панелі дотикається (або близько підходить) до перпендикулярних провідників нижньої панелі. Електроніка пристрою дозволяє визначити, у якій області було здійснено натискання. Резистивні екрани дуже дешеві, вони широко застосовуються в сферах, критичних за ціною.

Обидві технології добре працюють при натисканні одним пальцем, але при використанні двох пальців виникають проблеми. Наприклад, два пальці натискають на екран у точках (3,3) і (8,8). У результаті перериваються вертикальні промені $x=3$ і $x=8$, як і горизонтальні промені $y=3$ і $y=8$.

Розглянемо іншу ситуацію: користувач натискає на екран у точках (3,8) і (8,3) — протилежних кутах прямокутника з кутами в точках (3,3), (8,3), (8,8) і (3,8). При цьому блокуються ті самі промені, а програма не може визначити, з якою з двох ситуацій вона має справу. Ця проблема називається подвоєнням.

Для виявлення одночасних натискань декількома пальцями знадобилася нова технологія. У більшості смартфонів і планшетних ПК найчастіше використовуються проекційно-ємнісні сенсорні екрани. Вони теж поділяються на кілька різновидів, найбільш поширеною з яких є взаємо-ємнісна. Всі сенсорні екрани, здатні одночасно розпізнати дві і більше точки контакту, називаються мультитач-екранами.

У сучасних сенсорних екранах сітка провідників, що проходять вертикально, відділяється від горизонтальної сітки тонким ізолюючим шаром. Коли палець торкається екрана, він змінює ємність всіх порушених перетинів (тих, що знаходяться далеко один від одного). Цю зміну можна виміряти. Такі екрани не чутливі до торкання олівцем та іншими предметами. Тіло людини добре накопичує електричний заряд.

Провідники в сенсорному екрані не схожі на звичайні проводи для електричних пристроїв — вони б закривали світло від екрана. Замість них використовуються тонкі (зазвичай 50 мікрон) смужки прозорого резистивного сплаву оксиду індію та оксиду олова,

прикріплені до зворотних сторін тонкої скляної панелі. У сукупності вони утворюють конденсатор. У деяких нових конструкціях діелектрична скляна панель замінюється тонким шаром діоксиду кремнію (піску). У будь-якому випадку конденсатори захищаються від бруду і подряпин скляною пластиною, яка утворює поверхню екрана. Чим тонше скляна пластина, тим чутливіше екран, але і тим менше міцність пристрою.

У процесі роботи пристрою напруга подається поперемінно на горизонтальні і вертикальні провідники, у той час як з інших провідників читаються значення напруги, що змінилися під впливом ємності перетину. Ця операція повторюється багато разів за секунду, а координати точки дотику передаються драйверу пристрою у вигляді потоку пар (x,y) . Подальша обробка (наприклад визначення простого натискання, жестів зведення/розведення або ковзання) виконується операційною системою.

2.1.4. Сканер

Сканер — пристрій, який дає змогу вводити в комп'ютер чорно-біле або кольорове зображення, прочитувати графічну та текстову інформацію.

Сканер використовують у випадку, коли виникає потреба ввести в комп'ютер із наявного оригіналу текст і/або графічне зображення для його подальшої обробки (редагування і т. д.).

Сканована інформація потім обробляється за допомогою спеціального програмного забезпечення (наприклад програмою FineReader) і зберігається у вигляді текстового або графічного файлу.

Принцип дії. Основним модулем сканера є ССD-матриця (від англ. charge coupled device — пристрій із зарядовим зв'язком) або РМТ (від англ. photoMultiplier tube — фотомножник). Колби-фотомножники використовуються лише у складних і дорогих барабанних професійних сканерах, тому доцільніше розглядати принцип дії сканерів із ССD-матрицею. ССD-матриця — це набір діодів, що реагують на світло при дії зовнішньої напруги. Від якості матриці залежить якість розпізнавання зображення.

Дешеві моделі розпізнають наявність або відсутність кольору, складні моделі — відтінки сірого кольору, ще складніші — всі кольори.

Аркуш, що сканується, освітлюється ксеноновою лампою або набором світлодіодів. Відбитий промінь за допомогою системи дзеркал або лінз проектується на CCD-матрицю.

Під дією світла та зовнішньої напруги матриця генерує аналоговий сигнал, що змінюється при переміщенні відносно неї аркуша та інтенсивності відображення різних елементарних фрагментів.

Сигнал подається на аналого-цифровий перетворювач, де він оцифровується (подається у вигляді набору нулів та одиниць) і передається в пам'ять комп'ютера.

Існує *два способи сканування*: *переміщення аркуша* відносно нерухомої CCD-матриці або *переміщення світлочутливого елемента* при нерухомому аркуші.

Чимало моделей сканерів розрізняються методом сканування, допустимим розміром оригіналу та якістю оптичної системи. За способом організації переміщення зчитувального вузла відносно оригіналу сканери поділяються на **планшетні, барабанні та ручні**:

- у планшетних сканерах оригінал розміщується на склі, під яким рухається оптико-електронний зчитувальний пристрій;
- у барабанних сканерах оригінал через вхідну щілину втягується барабаном у транспортний тракт і пропускається повз нерухомий зчитувальний пристрій. Барабанні сканери не дають змоги сканувати книги, переплетені брошури тощо;
- ручний сканер необхідно плавно переміщувати вручну по поверхні оригіналу, що не дуже зручно.

Технічні характеристики сканерів:

- **роздільна здатність.** Сканер розглядає об'єкт як набір окремих точок (пікселів). Щільність пікселів (кількість на одиницю площі) називається роздільною здатністю сканера і вимірюється у dots per inch — точок на дюйм (dpi). Піксели розташовуються рядами, утворюючи зображення. Процес сканування відбувається по рядках, весь рядок сканується одночасно. Звичайна роздільна здатність сканера становить 200-720 dpi. Більше значення (понад 1000) відображує інтерполяційну роздільну здатність, досягнуту програмним шляхом із використанням математичної обробки параметрів розташованих поруч точок зображення. Якість відсканованого матеріалу залежить також від оптичної роздільної здатності (визначається кількістю світлочутливих діодів CCD-матриці на

дьюм) і механічної роздільної здатності (визначається дискретністю руху світлочутливого елемента або системи дзеркал відносно аркуша). Вибір роздільної здатності визначається застосуванням результатів сканування: для художніх зображень, які потрібно друкувати на фотонабірних машинах, роздільна здатність повинна складати 1000-1200 dpi, для друкування зображення на лазерному або струменевому принтері — 300-600 dpi, для перегляду зображення на екрані монітора — 100-200 dpi, для розпізнавання тексту — 200-400 dpi;

- **глибина подання кольорів.** При перетворенні оригіналу в цифрову форму, зберігаються дані про кожний піксел зображення. Прості сканери визначають наявність або відсутність кольору, результуюче зображення буде чорно-білим. Для подання пікселів достатньо одного розряду (0 або 1). Для передачі відтінків сірого між чорним і білим кольором необхідно як мінімум 4 розряди (16 відтінків) або 8 розрядів (256 відтінків). Чим більше розрядів, тим якісніше передаються кольори. Більшість сучасних кольорових сканерів підтримує глибину кольору 24 розряди. Відповідно сканер дозволяє розпізнавати близько 16 млн кольорів, що дає змогу якісно сканувати фотографії. На ринку сканерів є моделі, що мають глибину подання кольору 30 та 34 розряди.

- **динамічний діапазон.** Діапазон оптичної щільності визначає спектр напівтонів. Оптична щільність визначається як відношення падаючого світла до відбитого і коливається в діапазоні від 0,0 (абсолютне біле тіло) до 4,0 (абсолютно чорне тіло). Значення діапазону доповнюється літерою D і визначає ступінь його чутливості. Більшість планшетних сканерів мають стандартний діапазон 2,4 D, що важко розрізняють близькі відтінки одного кольору, але цього достатньо для непрофесійного користувача;

- **метод сканування.** Якість сканованого кольорового зображення залежить від методу накопичення даних сканером. Розрізняють два основних методи, що розрізняються кількістю проходжень CCD-матриці над оригіналом. Перші сканери використовували 3-прохідне сканування. При кожному проходженні сканувався один із кольорів палітри RGB.

Сучасні сканери використовують однопрохідну методику, яка розділяє світловий промінь на складові за допомогою призми;

- **область сканування** - максимальний розмір зображення, що сканується. Ручні сканери — до 105 мм, барабанні, планшетні сканери — від формату А4 до Full Legar (8.5'x14');

- **швидкість сканування**. Нема стандартної методики, що визначає продуктивність сканера. Виробники вказують кількість мілісекунд сканування одного рядка. Але потрібно враховувати також спосіб під'єднання до комп'ютера, драйвер, схему передачі кольорів, роздільну здатність. Тому швидкість сканування визначається експериментально.

Контрольні питання

1. Дайте визначення поняттю *периферійні пристрої* та наведіть класифікацію.

2. Назвіть пристрої введення інформації та їх призначення.

3. Вкажіть принцип дії та технічні характеристики таких пристроїв:

- клавіатура;
- миша;
- сенсорний екран;
- сканер.

2.2. Пристрої збереження інформації

Запам'ятовуючий пристрій (ЗП) — пристрій, призначений для запису і зберігання даних. В основі роботи запам'ятовуючого пристрою може лежати будь-який фізичний ефект, що забезпечує приведення системи до двох або більше стійких станів.

Класифікація пристроїв збереження інформації показана на рис. 2.3.

За формою записаної інформації:	
аналогові	цифрові

За кількістю стійких (розпізнаваних) станів одного елементу пам'яті:		
двоїчні;	троїчні;	десятичні.

За можливістю запису:	За можливістю перезапису:	За призначенням:	За енергозалежністю:
<p>ЗП, запис в які здійснюється тільки заводом-виробником (наприклад, масочні мікросхеми ROM, CD-ROM);</p> <p>ЗП, запис в які може здійснити користувач за допомогою окремого пристрою (наприклад, EPROM є ультрафотолетовим стиранням, що використовувався в ранніх мікросхеми BIOS);</p> <p>ЗП, запис у яке здійснюється кінцевим користувачем у тому ж пристрої, що його використовує (наприклад, більшість видів пам'яті у сучасних комп'ютерах).</p>	<p>з однократним записом без можливості перезапису (ПЗП) (наприклад, CD-ROM, CD-R, масочні мікросхеми ПЗП);</p> <p>напівопійні, перепрограмовані ЗП — запам'ятовувальні пристрої з можливістю багаторазового перезапису, який ускладнений довгим часом запису або обмежений числом циклів запису (наприклад, CD-RW, мікросхеми EEPROM);</p> <p>пристрої із вільним багаторазовим перезаписом (наприклад, жорсткі магнітні диски, мікросхеми оперативної пам'яті). Між цим і попереднім класом немає чіткої межі.</p>	<p>оперативна пам'ять (ОЗП) — пам'ять, в якій розміщуються дані, над якими безпосередньо здійснюється операції процесора. Оперативна пам'ять може мати кілька ієрархічних рівнів. Приклади: SRAM, DRAM;</p> <p>внутрішні пристрої для довготривалого зберігання інформації (наприклад, CMOS-пам'ять, жорсткі диски, SSD);</p> <p>зовнішні носії, призначені для резервного зберігання або перенесення інформації від одного пристрою до іншого (наприклад, дискети, флешки);</p> <p>запам'ятовуючі пристрої для ідентифікації та платежів (наприклад, магнітні карти, мітки RFID).</p>	<p>енергонезалежні, записи в яких не стираються при знятті електроживлення;</p> <p>енергозалежні, записи в яких стираються при знятті електроживлення;</p> <p>статичні, яким для зберігання інформації досить збереження живлячої напруги;</p> <p>динамічні, в яких інформація з часом руйнується (деградує), і, крім подальшого електроживлення, необхідно проводити її періодичне відновлення (регенерацію).</p>

За типом доступу:	За геометричним виконанням:	За фізичним принципом:
<p>з послідовним доступом (наприклад, магнітні стрічки);</p> <p>з довільним доступом (RAM; наприклад, оперативна пам'ять);</p> <p>з прямим доступом (наприклад, жорсткі диски);</p> <p>з асоціативним доступом (спеціальні пристрої для підвищення продуктивності баз даних).</p>	<p>дисківі (магнітні диски, оптичні, магнітооптичні);</p> <p>стрічкові (магнітні стрічки, перфострічки);</p> <p>барабани (магнітні барабани);</p> <p>карткові (магнітні картки, перфокарти, флеш-картки і ін.);</p> <p>друкувані плати (карти DRAM, картриджи).</p>	<p>перфораційні (з отворами або вирізами);</p> <p>перфокарта;</p> <p>перфострічка;</p> <p>з магнітним записом;</p> <p>магнітні сердечники (пластини, стрижні, кільця, бакси);</p> <p>магнітні диски;</p> <p>жорсткий магнітний диск;</p> <p>гнучкий магнітний диск;</p> <p>магнітні стрічки;</p> <p>магнітні карти;</p> <p>оптичні;</p> <p>CD;</p> <p>DVD;</p> <p>HD-DVD;</p> <p>Blu-ray Disc;</p> <p>використовують накопичення електростатичного заряду в діелектриках (конденсаторні ЗП, запам'ятовуючі електроннопроменеві трубки);</p> <p>використовують ефекти в напівпровідниках (EEPROM, флеш-пам'ять);</p> <p>звукові і ультразвукові (лінії затримки);</p> <p>використовують надпровідність (криогенні елементи) та ін.</p>

Рис. 2.2. Класифікація пристроїв збереження інформації

Жорсткий магнітний диск (накопичувач на магнітних дисках (від англ. *hard (magnetic) disk drive, HDD*), комп'ютерною мовою — "*вінчестер*" (від англ. *winchester*) — магнітний диск, основа якого виконана з твердого матеріалу. У більшості ЕОМ виконує функцію енергонезалежного носія інформації (комп'ютерної пам'яті чи накопичувача інформації) з довільним доступом (від англ. *random access*).

Основні елементи конструкції жорсткого диска. Існує багато типів жорстких дисків, але всі вони складаються з одних і тих самих вузлів із спільним принципом роботи. Основні елементи конструкції (рис. 2.4):

- пластини магнітних дисків на спільному шпинделі;
- головки читання/запису;
- механізм привода головок (коромисло із сервоприводом);
- двигун привода дисків;
- друкована плата з електричними схемами управління;
- кабелі і гнізда рознімачів кабелів живлення і передачі даних;
- елементи конфігурування (перемички і перемикачі).

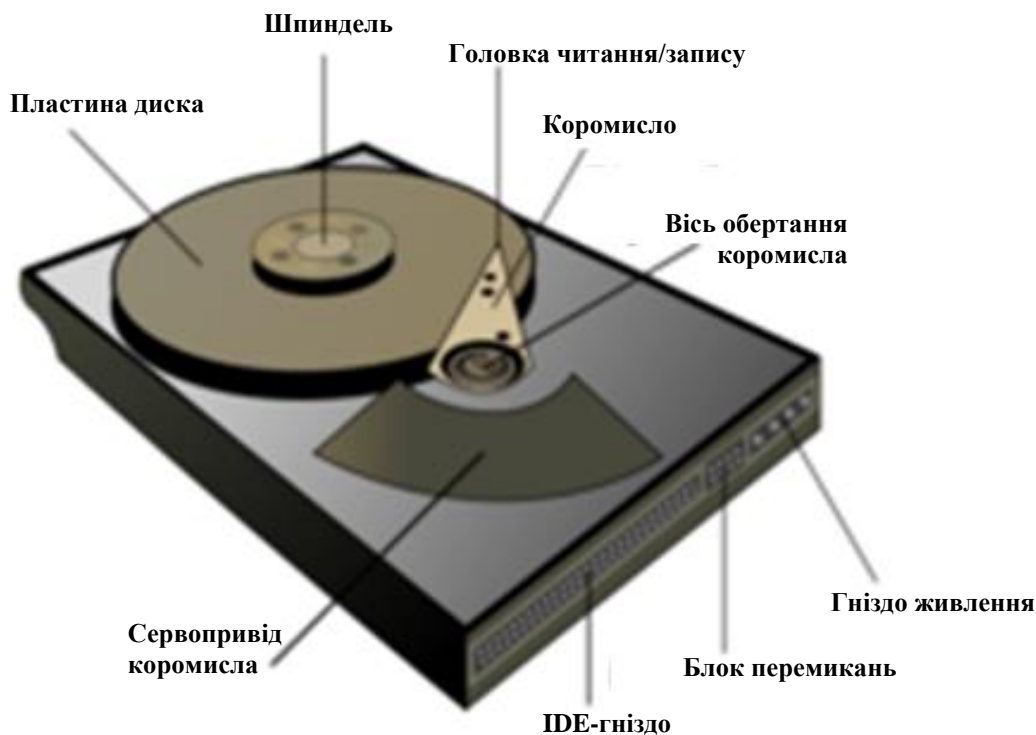


Рис. 2.4. Конструкція HDD

Диски, двигун привода дисків, головки і механізм привода головок зазвичай поміщаються в герметичному корпусі, що має назву "гермоблок" або "блок головок і дисків" (від англ. *Head Disk Assembly, HDA*). Інші вузли, що не входять у гермоблок (друкована плата управління, лицьова панель, елементи конфігурування тощо), є знімними і поміщаються ззовні гермоблока.

Гермоблок. Більшу частину конструкції твердого диска займає цільний металевий корпус, що захищає магнітні пластини і точну механіку від впливів навколишнього середовища. *Гермоблок (рис. 2.5)* — це герметична область пристрою, захищена від пилу та інших дрібних частинок. Гермоблок необхідний, оскільки навіть дуже дрібна частинка, якщо вона потрапить у вузький зазор між головою й поверхнею диска, може пошкодити чутливий магнітний шар і вивести з ладу твердий диск. Також корпус захищає накопичувач від електромагнітних перешкод, тобто відіграє роль екрана. Внутрішній простір гермоблока заповнений звичайним, але повністю очищеним від пилу повітрям. Ним не заповнюють гермоблок спеціально, просто складання здійснюється в приміщенні, де на один кубічний метр

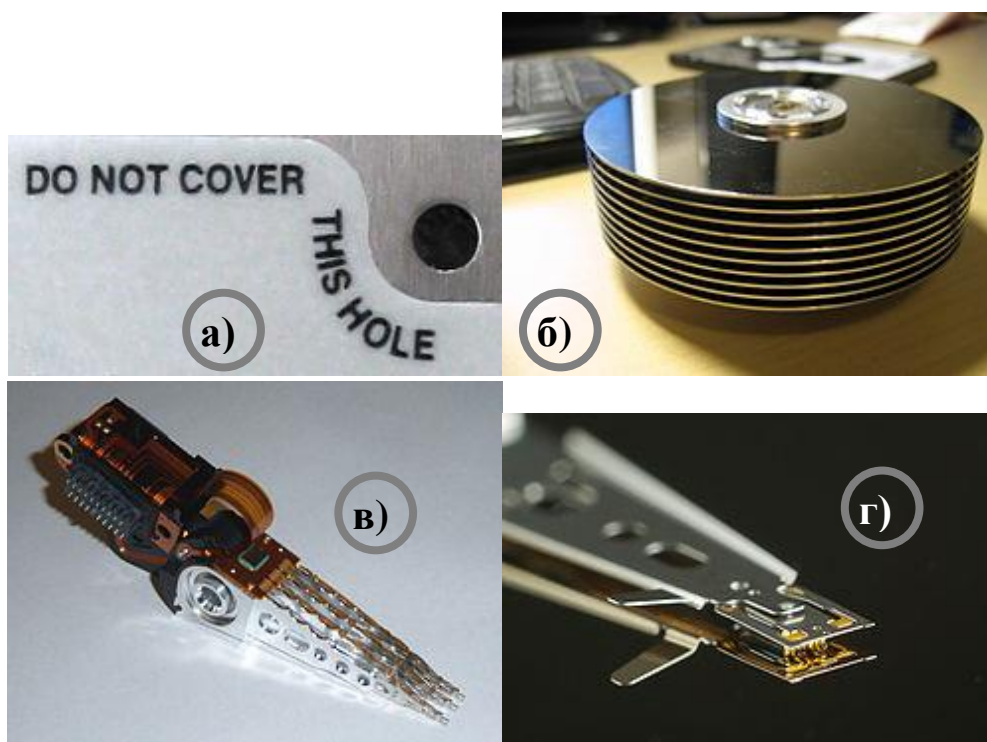


Рис.2.5 Гермоблок:

- а - отвір для вирівнювання тиску гермо блока;
- б - магнітні пластини твердого диска Seagate-ST19171N, об'єм 9.1 Гбайт;
- в - блок магнітних голівок із системою позиціювання;
- г - магнітні голівки запису/зчитування

повітря припадає менше ста частинок пилу. Однак, незважаючи на назву, гермоблок не зовсім герметичний. Для вирівнювання його внутрішнього тиску з атмосферним у корпусі робиться отвір, який закритий щільним фільтром пилу. У процесі роботи пластини обертаються, створюючи потік циркуляції повітря. Цей потік проходить крізь ще один фільтр, який забезпечує додаткове очищення.

Магнітна пластина твердого диска. Магнітна пластина виготовляється переважно з легких сплавів на основі алюмінію. Є моделі, у яких пластини виготовлено з кераміки чи спеціального скла. На поверхню пластин, незалежно від їх складу, для надання магнітних властивостей наноситься методом вакуумного напилення шар кобальту. Структура магнітного покриття містить велику кількість мікроскопічних областей, що називають доменами. У процесі запису, магнітна головка створює зовнішнє магнітне поле, яке, впливаючи на домен, змінює вектор його намагніченості. Після того як зовнішнє поле зникає, на поверхні диска утворюються зони залишкової намагніченості. Саме за таким принципом і здійснюється запис і зберігання інформації на магнітних дисках. Процес зчитування відбувається так: в магнітній головці, коли вона опиняється навпроти ділянки залишкової намагніченості, індукується електрорушійна сила (у перших конструкціях) або змінюється електричний опір (у нових конструкціях), що і дозволяє зчитувати інформацію. Кількість пластин у накопичувачі може бути різною, у кожній пластини є дві робочі поверхні, але в певних моделях використовуватись може тільки одна (непарна кількість голівок)

Магнітні головки твердого диска. Магнітна головка має досить складну будову і містить мікроскопічні елементи, виготовлення яких здійснюється методами фотолітографії. Для різних моделей твердих дисків кількість магнітних головок може бути від 1 до 8. Встановлення, а також утримання головки на магнітній доріжці забезпечує електромагнітна система позиціонування. Існує багато конструкцій механізмів привода головок, але їх можна розділити на два основні типи:

- з кроковим двигуном;
- з рухомою котушкою.

Характеристики цього привода багато в чому визначають швидкодію і надійність накопичувача, вірогідність зчитування даних, його температурну стабільність, чутливість до вибору робочого положення і вібрацій. Слід зазначити, що диски із приводами на основі крокових двигунів є менш надійними, ніж пристрої з приводами від рухомих котушок.

Для здійснення запису даних використовується індуктивна головка. Записувана інформація перетворюється головкою у змінне магнітне поле. Цим полем намагнічується ділянка магнітного диска. Недоліком індуктивної головки є те, що вона не є прийнятною для зчитування інформації через залежність амплітуди сигналу зчитування від швидкості переміщення магнітного покриття і суттєвий вплив магнітних шумів. Через це, для зчитування інформації застосовуються магніторезистивні головки типів MRH (Magneto-Resistive) або GMR (GiantMagneto-Resistive). Подібні головки являють собою резистор, що змінює свій опір залежно від напруженості магнітного поля. Головна перевага полягає в тому, що амплітуда практично не залежить від швидкості зміни магнітного поля. Використання магніторезистивних головок дозволяє збільшити надійність зчитування інформації, а також збільшити граничну щільність запису.

До моменту "зльоту" на повітряній подушці, головки труться об поверхню пластин у спеціально відведеній ділянці диска, званому "паркувальна зона". У процесі роботи магнітні головки знаходяться на відстані часток мікрона від поверхні магнітних пластин. Після вимкнення живлення контролер твердого диска проводить автоматичне паркування головок.

Двигун привода дисків (рис. 2.6). Стабільне обертання пластин, змонтованих на осі (шпинделі), забезпечує шпиндельний трифазний двигун. У середині двигуна містяться три обмотки, які ввімкнені зіркою з відведенням посередині. Ротор являє собою постійний секційний магніт. Щоб забезпечити малі биття на високих обертах, у сучасних твердих дисках використовуються гідродинамічні підшипники.

Шпиндельний двигун запускається тільки після повної внутрішньої діагностики пристрою. Спочатку двигун розкручується у форсованому режимі, не аналізуючи швидкість обертання магнітних дисків. Для забезпечення цього етапу роботи блок

живлення комп'ютера повинен мати запас пікової потужності. Після того як магнітні головки виводяться з зони паркування, швидкість обертання дисків стає контрольованою.



Рис. 2.6. Електродвигун привода шпинделя магнітних пластин

Вона управляється за сигналом серворозмітки, яка була записана на диск у процесі його виготовлення. Електроніка твердого диска виділяє сервомітки (вони знаходяться між секторами) із загального потоку даних і за ними стабілізує швидкість обертання пластин. Стабільність обертання вкрай важлива для якості зчитування особливо для дисків з високою щільністю запису.

По суті швидкість обертання пластин є однією з найважливіших характеристик продуктивності твердого диска. Чим вища швидкість, тим меншим є час, необхідний для пошуку інформації, і тим більша швидкість зчитування і запису інформації. У сучасних пристроях швидкість обертання пластин у накопичувачах з інтерфейсами PATA і SATA становить від 4200 до 10000 об/хв. У дорогих серверних системах з інтерфейсом SCSI (SAS), вона може досягати 15000 об/хв. Однак подальше збільшення швидкостей обертання обмежується тим, що підвищується робоча температура дисків, а це негативно позначається на магнітному шарі. Також для швидкісних моделей потрібні якісніші підшипники, а їх виготовлення збільшує кінцеву вартість твердих дисків.

Плата управління (рис. 2.7). Плата управління твердого диска — вузькоспеціалізований комп'ютер, призначенням якого є обмін інформацією з базовою платою комп'ютера і управління внутрішніми процесами, що відбуваються у твердому диску (керування шпиндельним двигуном і приводом головок).

Найбільша мікросхема на платі — центральний процесор. Це спеціалізований, цифро-аналоговий процесор, який займається обробкою як цифрової інформації, що надходить з комп'ютера, так і аналогової інформації, що надходить з блока магнітних голівок.

Другим важливим компонентом є мікросхема оперативної пам'яті — це кеш-пам'ять місткістю 8...64МБ, необхідна для буферизації обміну даними між диском і платою управління диска.



Рис. 2.7. Плата управління жорсткого диска

Третім важливим компонентом є драйвер двигуна. Призначення даної мікросхеми — запуск і зупинка шпиндельного двигуна, контроль швидкості його обертання, управління сервоприводом і в деяких дисках, формування напруги живлення окремих компонентів і вузлів.

Наступний важливий компонент на платі управління — постійний запам'ятовувач — ПЗП. У цій мікросхемі знаходиться базова програма ("прошивка") і стартова адаптивна інформація, необхідна для успішного запуску та ініціалізації твердого диска. Основний програмний код знаходиться на магнітних пластинах носія у так званій службовій зоні. Останнім часом на сучасних твердих дисках така мікросхема відсутня, її вміст тепер зберігається в центральному процесорі та міцно пов'язаний з вмістом службової інформації. Іншими словами, це унеможливує ремонт твердого диска методом заміни плати управління.

Основні характеристики

Інтерфейс — набір, що складається з ліній зв'язку, сигналів, що посиляють по цих лініях, технічних засобів (контролерів), що підтримують ці лінії, і правил обміну (протоколів). Сучасні тверді диски можуть мати інтерфейси ATA(AT Attachment, він же IDE — Integrated Drive Electronic, він же Parallel ATA), Serial ATA, SCSI (Small Computer System Interface), SAS, FireWire, USB, SDIO і Fibre Channel.

Ємність (від англ. *capacity*) — кількість даних, які можуть зберігатися накопичувачем. Ємність сучасних твердих дисків з форм-фактором 3,5" сягає 8 Тбайт, і навіть 10 Тбайт. На відміну від прийнятої в інформатиці системі префіксів для об'ємів інформації, що позначають величину, кратну 1024, виробниками твердих дисків використовуються величини, кратні 1000. Так, наприклад, ємність твердого диска, маркованого як "2 Тбайти", насправді становить приблизно 1,82 Тбайт.

Фізичний розмір (форм-фактор) майже всі сучасні накопичувачі для ПК і серверів мають розмір (ширину) 3,5 або 2,5 дюйма. Останні частіше застосовують у ноутбуках. Інші, менш поширені формати — 1,8, 1,3 і 0,85 дюйма.

Час доступу (від англ. *random access time*) — від 3 до 15 мс, як правило, мінімальним часом відрізняються серверні диски (наприклад, у Hitachi Ultrastar 15K147 — 3,7 мс), максимальним із актуальних — диски для портативних пристроїв (Seagate Momentus 5400.3 — 12,5). Для порівняння, у твердотільних накопичувачах цей параметр не перевищує 1 мс.

Швидкість обертання диска (від англ. *spindle speed*) — кількість обертів шпинделя за хвилину. Від цього параметра значною мірою залежать час доступу й швидкість передачі даних. В останні роки випускаються вінчестери з такими стандартними швидкостями обертання: 4200, 5400 (ноутбуки), 7200 (персональні комп'ютери), 10 000 і 15 000 об/хв (сервери і високопродуктивні робочі станції). Збільшенню швидкості обертання шпинделя у твердих дисках для ноутбуків перешкоджає гіроскопічний ефект, впливом якого можна знехтувати у стаціонарно встановлених комп'ютерах.

Надійність (від англ. *reliability*) визначається як середнє напрацювання між відмовами (від англ. *mean time between failures, MTBF*). Також переважна більшість дисків підтримує технологію SMART (від англ. *self monitoring analysing and reporting technology*) — технологія оцінювання стану твердого диска вбудованими засобами самодіагностування, а також алгоритм оцінювання часу до виходу його з ладу).

Кількість операцій введення-виведення за секунду (від англ. *IOPS*) — у сучасних дисків це близько 50 опер/с при довільному доступі до накопичувача й близько 100 опер/сек — при послідовному доступі.

Рівень шуму — шум, що виникає під час роботи пристрою. Вимірюється у двох режимах: під час простою (шум двигуна обертання) і під час активного навантаження (шум двигуна + шум головок). Вказується в децибелах, інколи в Белах (=10дБ). Тихими накопичувачами вважаються пристрої з рівнем шуму близько 26 дБ і нижче.

Опірність ударам (від англ. *G-shock rating*) — опірність твердого диска різким перепадам тиску або ударам; вимірюється в

одиницях припустимого перевантаження, кратних g (прискоренню вільного падіння) в увімкненому та вимкненому стані.

Швидкість передачі даних (від англ. *transfer rate*):

- внутрішня зона поверхні диска: від 44,2 до 74,5 Мбайт/с;
- зовнішня зона поверхні диска: від 74,0 до 111,4 Мбайт/с

Місткість буфера (від англ. *Cache Memory*) — розмір проміжної пам'яті (кеш-пам'яті), призначеної для згладжування різниці швидкостей читання/запису і передачі даних через інтерфейс. Станом на 2013 рік у твердих дисках вона зазвичай може становити 8, 16, 32, 64 або 128 Мбайт.

Привод оптичних дисків (рис. 2.8) — електромеханічний пристрій для зчитування і (у більшості сучасних моделей) запису за допомогою лазера, інформації з оптичних дисків у вигляді пластикового диска з отвором у центрі (компакт-диск, DVD і т. п.).

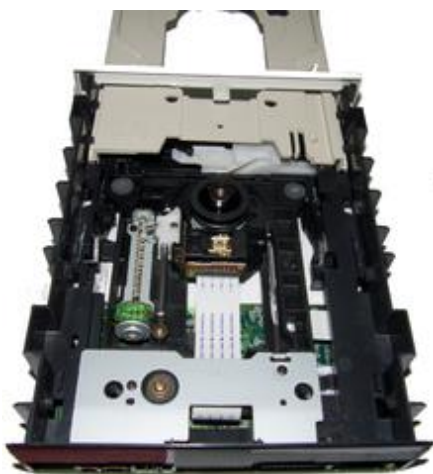


Рис. 2.8. Внутрішній пристрій приводу компакт-дисків

Розроблений компаніями Philips і Sony в кінці 1970-х років спочатку для читання компакт-дисків, для абстрагування від формату і типу диска, у побуті має узагальнюючу назву *дисквод* за принципом читання інформації з носія.

Сам по собі оптичний привод може бути у вигляді конструкції у складі більш складного обладнання (наприклад побутового DVD-програвача) або випускатися у вигляді незалежного пристрою зі стандартним інтерфейсом підключення (PATA, SATA, USB), наприклад для встановлення в комп'ютер.

Різновиди. Існують такі типи приводів:

- CD-ROM — найбільш простий вид CD-привода, призначений тільки для читання CD-дисків;
- CD-RW — такий самий, як і попередній, але здатний записувати тільки на CD-R/RW-диски;
- DVD-ROM — призначення його полягає тільки в читанні DVD-дисків;

- DVD/CD-RW — той самий DVD-ROM, але здатний записувати на CD-R/RW-диски (комбо-привод);
- DVD-RW — привод, здатний не тільки читати DVD-диски, але і записувати на них;
- DVD-RW DL — на відміну від попереднього типу DVD RW, здатний записувати на двошарові оптичні DVD-носії, що відрізняються від звичайних більшою ємністю;
- Blu-Ray (BD-ROM). Це вдосконалена технологія оптичних носіїв, в основі якої лежить використання лазера з довжиною хвилі 405 нм (синій спектр випромінювання). Зменшення довжини хвилі лазера дало змогу звузити ширину доріжки у два рази порівняно з DVD-диском і збільшити щільність запису даних. Зменшення товщини захисного шару в шість разів підвищило надійність операцій читання/запису на кількох записуваних шарах. Диски призначені переважно для цифрового запису відео високої роздільної здатності. Наприклад, на односторонній одношаровий диск записують до 2 годин відео у форматі HDTV (телебачення високої чіткості) при швидкості відеопотоку до 54 Мбіт/с;
- BD-RE здатний читати/записувати з дисків/на диски формату Blu-Ray;
- HD DVD — це нове покоління оптичних дисків, які призначені в першу чергу для зберігання фільмів високої чіткості (HDTV). Новий формат носіїв дозволяє записувати в три рази більший об'єм даних, порівняно з DVD. Одношарові HD DVD-диски мають ємність 15 Гбайт, двошарові — 30 Гбайт. Як правило, HD DVD-привод може читати всі формати DVD і CD-дисків;
- HD DVD-ROM — привод, що читає диски формату HD DVD. Формат закритий у лютому 2008 року;
- HD DVD/DVD-RW — на відміну від попереднього, здатний записувати на диски таких форматів, як DVD-R, DVD+R, DVD-RW, DVD+RW, CD-R, CD-RW;
- GD-ROM;
- UMD.

Конструкція. На передній панелі внутрішнього CD-RW привода є декоративна кришка лотка для диска, гніздо mini-jack для навушників, регулятор гучності, індикатори читання/запису,

отвір аварійного відкриття лотка, кнопки програвання/прокручування, зупинки/вилучення диска. "52x, 24x, 52x" — максимальна кратність швидкості читання/перезапису/запису (за одиницю прийнята швидкість 150 Кбайт/с) для CD і 1,35 Мбайт/с для DVD)

Конструктивно приводи всіх типів дисків досить схожі. Вони містять:

- шасі (з лотком для завантаження або щілинним завантажувачем);
- шпindelний електродвигун, що служить для приведення в обертання диска з постійною або змінною лінійною швидкістю;
- система оптичної головки складається з самої головки і системи її переміщення:

1) у вузлі головки розміщені лазерний випромінювач, на основі інфрачервоного лазерного світлодіода, система фокусування, фотоприймач і попередній підсилювач. Система фокусування являє собою рухливу лінзу, що приводиться в рух електромагнітною системою voice coil (звукова котушка), зробленої за аналогією з рухомою системою гучномовця — зміну напруженості магнітного поля викликають переміщення лінзи і фокусування лазерного променя;

2) система переміщення головки має власний приводний двигун, що приводить у рух каретку з оптичною головкою за допомогою зубчастої або черв'ячної передачі. Для виключення люфту використовується з'єднання з початковою напругою: при черв'ячній передачі — пружні кульки, при зубчастій — підпружинені в різні боки пари шестерень.

- плата електроніки, де розміщені всі керуючі схеми привода, інтерфейс з контролером комп'ютера, рознімачі інтерфейсу і виходу звукового сигналу.

На передній панелі CD-приводів зазвичай розташовувалися кнопка Eject (трикутник, спрямований вгору з нижнім підкресленням) для завантаження/вивантаження диска (лотка), індикатор звернення до привода і гніздо для підключення навушників з електронним або механічним регулятором гучності. У ряді моделей додана кнопка Play/Next для запуску програвання звукових дисків і переходу між звуковими доріжками; кнопка Eject

при цьому зазвичай використовується для зупинки програвання без вивантаження диска. На деяких моделях з механічним регулятором гучності, виконаним у вигляді ручки, програвання і перехід здійснюються при натисканні на торець регулятора.

Більшість приводів має на передній панелі невеликий отвір, призначений для аварійного вилучення диска в тих випадках, коли звичайним способом це зробити неможливо, наприклад при виході з ладу привода лотка або привода, при відсутності електроживлення і т. п. В отвір можна вставити шпильку або розпрямлену скріпку і акуратно натиснути — при цьому знімається блокування і відкривається лоток або дисковий футляр, і його можна вручну відкрити і вийняти диск.

Флеш-пам'ять (від англ. *flash memory*) — різновид напівпровідникової технології електрично перепрограмованої пам'яті (EEPROM). Це слово використовується і в електронній схемотехніці для позначення технологічно закінчених рішень постійних запам'ятовуючих пристроїв у вигляді мікросхем на базі цієї напівпровідникової технології. У побуті це словосполучення закріпилося за широким класом твердотільних пристроїв зберігання інформації.

Завдяки компактності, дешевизні, механічній міцності, великому об'єму, швидкості роботи і низькому енергоспоживанню флеш-пам'ять широко використовується в цифрових портативних пристроях і носіях інформації. Серйозним недоліком даної технології є обмежений термін експлуатації носіїв, а також чутливість до електростатичного розряду.

На передньому плані (рис. 2.9) видно мікросхему NAND флеш-пам'яті, на задньому — її контролер.

Принцип дії. Флеш-пам'ять зберігає інформацію в масиві комірок, кожна з яких традиційно зберігає по



Рис. 2.9. Типовий приклад флеш-пам'яті

одному біту інформації. Кожна комірка — це транзистор із плавним затвором. Новіші пристрої (інколи їх ще називають багатозарядними пристроями) можуть містити більше 1 біта в комірці, використовуючи два чи більше рівні електричних зарядів, розташованих при плаваючому затворі комірки.

У флеш-пам'яті типу NOR кожна комірка схожа на стандартний MOSFET (оксидний напівпровідниковий польовий транзистор), але у ній є не один затвор, а два. Як і будь-який інший польовий транзистор, вони мають контрольний затвор (КЗ), а крім нього, ще й інший — плаваючий (ПЗ), замкнений всередині оксидного шару. ПЗ розташований між КЗ і підкладкою. Оскільки ПЗ відокремлений власним заізованим шаром оксиду, будь-які електрони, що потрапляють на нього, відразу потрапляють у "пастку", що дозволяє зберігати інформацію. Захоплені плаваючим затвором електрони змінюють (практично компенсують) електричне поле контрольного затвора, що змінює порогову напругу $V_{п}$ затвора. Коли з комірки "зчитують" інформацію, до КЗ прикладають певну напругу, залежно від якої в каналі транзистора протікатиме або не протікатиме електричний струм. Ця напруга залежить від $V_{п}$ комірки, яка у свою чергу контролюється кількістю захоплених плаваючим затвором електронів. Величина порогової напруги зчитується і перекодовується в одиницю чи нуль. Якщо плаваючий затвор може мати кілька зарядових станів, то зчитування відбувається за допомогою вимірювання сили струму в каналі транзистора.

Для запису інформації в комірку NOR необхідно зарядити плаваючий затвор. Цього досягають за допомогою тунельного ефекту, пропускаючи через канал транзистора порівняно високий струм і подаючи на контрольний затвор підвищену напругу. При цьому виникають "гарячі" електрони, що мають достатню енергію для подолання оксидного шару та потрапляння на ізований затвор.

Для очищення плаваючого затвора від електронів (стирання інформації) між контрольним затвором і стоком прикладають значну напругу зворотної, ніж при записі, полярності, яка створює сильне електричне поле. Захоплені плаваючим затвором електрони висмоктуються цим полем, тунелюючи через оксидний шар.

У приладах з однотипною напругою (теоретично всі чипи, які доступні нам на сьогодні) ця висока напруга створюється генератором підкачування заряду. Більшість сучасних компонентів NOR-пам'яті розділені на чисті сегменти, які часто називають блоками чи секторами. Всі комірки пам'яті в блоці

повинні бути очищені одночасно. На жаль, метод NOR може в загальному випадку обробляти лише одну частину інформації типу byte чи word.

NAND-пам'ять використовує тунельну інжекцію для запису і тунельний випуск для вилучення. флеш-пам'ять NAND формує ядро легкого USB-інтерфейсу ЗП, які також відомі як USB-флешки.

Тоді, коли розробники збільшують щільність флеш-приладів, індивідуальні комірки діляться і кількість електронів у будь-якій комірці стає дуже малою. Парування між суміжними плаваючими затворами може змінити характеристики запису комірки. Нові реалізації, такі як заряджені "пастки" флеш-пам'яті, намагаються забезпечити кращу ізоляцію між суміжними комірками.

USB-флеш-накопичувач — запам'ятовуючий пристрій, що використовує в якості носія флеш-пам'ять і підключається до комп'ютера або іншого пристрою, що зчитує по інтерфейсу USB. Флеш-накопичувачі USB зазвичай є знімними і перезаписувальними, фізично набагато менші, ніж оптичні диски (рис. 2.10). Більшість важить менше 30 г. USB-накопичувачі часто використовуються для тих самих цілей, для яких колись використовувалися гнучкі диски або компакт-диски, тобто для зберігання, резервного копіювання даних і передачі комп'ютерних файлів.



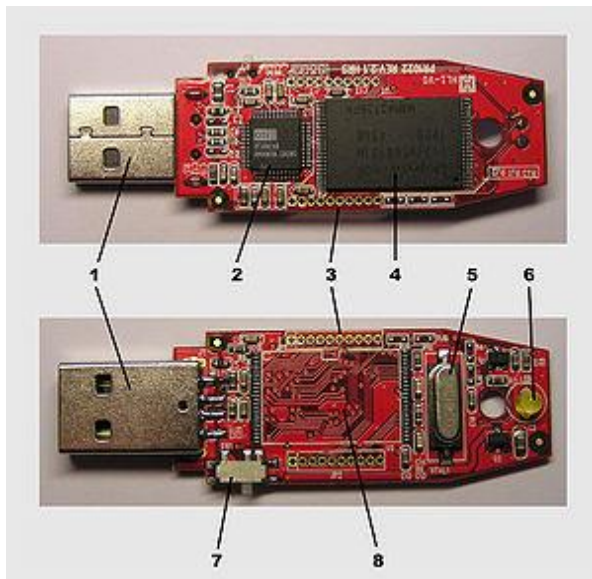
Рис. 2.10. USB 2.0 Flash Drive

Вони менше, швидше, мають у тисячі разів більшу потужність і більш міцні і надійні, тому що в них нема рухомих частин. Крім того, вони несприйнятливі до електромагнітних перешкод (на відміну від флоппі-дисків) і не зазнають впливу поверхневих подряпин (на відміну від компакт-дисків).

Основне призначення USB-накопичувачів — зберігання, перенесення і обмін даними, резервне копіювання, завантаження операційних систем (Live USB) та ін.

Основні компоненти флешки (рис. 2.11) :

- USB-інтерфейс (частіше USB 2.0 або 3.0 Стандарт-A, іноді microUSB) — забезпечує фізичне з'єднання з комп'ютером;



- контролер — невеликий мікроконтролер з вбудованими ROM і RAM;
- NAND-чип флеш-пам'яті — зберігає інформацію;
- осцилятор — генерує синхронізуючий сигнал (12 MHz) для шини USB.

На більшості флешок повсюдно використовуються файлові системи сімейства FAT. Залежно від розміру накопичувача застосовуються FAT16, FAT32 або exFAT. Для флешок розміром 64 Гбайт і більше використовуються NTFS або exFAT.

Рис. 2.11. ЗП флешка :

1 — USB-рознімач; 2 — мікроконтролер;
3 — контрольні точки;
4 — мікросхема флеш-пам'яті;
5 — кварцовий резонатор; 6 — світлодіод;
7 — перемикач "захист від запису";
8 — місце для додаткової мікросхеми

Контрольні питання

1. Дайте визначення поняттю *пристрої збереження інформації* та наведіть класифікацію.

2. Назвіть пристрої збереження інформації та їх призначення.

3. Вкажіть принцип дії і технічні характеристики таких пристроїв:

- жорсткий магнітний диск;
- оптичний диск;
- флеш-пам'ять.

2.3. Пристрої виведення інформації

Відеокарта (відеопроцесор, Video card, графічна карта, графічний адаптер, графічний прискорювач) —електронний пристрій, частина комп'ютера, призначена для обробки і генерації зображень з подальшим їх виведенням на екран периферійного пристрою.

Відеокарта зазвичай є платою розширення і вставляється у слот розширення, універсальний (PCI-Express, PCI, ISA, VLB, EISA, MCA) або спеціалізований (AGP). Проте відеопроцесор може бути вбудованим у материнську плату як у вигляді окремого елемента, так і як складова частина північного моста чипсета або центрального процесора. Сучасні відеокарти не обмежуються лише звичайним виведенням зображень, вони мають вбудований графічний мікропроцесор, що може здійснювати додаткову їх обробку, звільняючи від цього центральний процесор. Також процесор і відеокарта працюють разом і є залежними один від одного. Останнім часом разом зі зростанням обчислювальних потужностей графічних процесорів має місце тенденція використовувати обчислювальні можливості графічного процесора для вирішення неграфічних завдань.

Типи графічних карт. Дискретні відеокарти – найбільш високопродуктивний клас графічних адаптерів. Як правило, підключається до високошвидкісної шини даних PCI Express. Раніше зустрічалися відеокарти, що підключаються до шин AGP (спеціалізована шина обміну даних для підключення відеокарт), PCI, VESA і ISA. На сьогодні сучасні відеокарти підключаються тільки через шину PCI Express, а всі інші типи підключень є застарілими. У комп'ютерах з архітектурою, відмінною від IBM-сумісної зустрічалися й інші типи підключення.

Дискретна карта необов'язково може бути вийнята з пристрою (наприклад на ноутбуках дискретна карта часто розпаяна на материнській платі). Вона називається дискретною через те, що виконана у вигляді окремого чипа (або набору мікросхем) і не є частиною інших компонентів комп'ютера (на відміну від графічних рішень, вбудованих у чипи системної логіки материнських плат або безпосередньо в центральний процесор). Більшість дискретних відеокарт має свою власну

оперативну пам'ять (VRAM), яка часто може мати більш високу швидкість доступу або більш швидку шину доступу, ніж звичайна оперативна пам'ять комп'ютера. Хоча раніше зустрічалися відеокарти, які повністю або частково використовували основну оперативну пам'ять для зберігання і обробки графічної інформації, сьогодні майже всі сучасні відеокарти використовують власну відеопам'ять. Також іноді (але досить рідко) зустрічаються відеокарти, оперативна пам'ять яких не встановлена у вигляді окремих мікросхем пам'яті, а входить до складу графічного чипа (у вигляді окремих кристалів або ж на одному кристалі з графічним процесором).

Виконані у вигляді окремого набору системної логіки, а не в складі інших мікросхем, дискретні відеокарти можуть бути досить складними і набагато більш високопродуктивними, ніж вбудована графіка. Крім того, маючи власну відеопам'ять, у дискретних відеокарт нема необхідності ділити оперативну пам'ять з іншими компонентами комп'ютера (у першу чергу з центральним процесором). Власна оперативна пам'ять дозволяє не витрачати основну оперативну пам'ять для зберігання інформації, яка не потрібна центральному процесору і іншим компонентам комп'ютера. З іншого боку, відеопроцесору не доводиться чекати черги на доступ до оперативної пам'яті комп'ютера, до якої може в даний момент звертатися як центральний процесор, так і інші компоненти. Все це позитивно позначається на продуктивності дискретних відеокарт порівняно з вбудованою графікою.

Такі технології як SLI від Nvidia і CrossFire від AMD, дозволяють задіяти кілька графічних адаптерів паралельно для вирішення одного завдання.

Вбудований графічний процесор. Інтегровані графічні адаптери не мають власної пам'яті і використовують оперативну пам'ять комп'ютера, що позначається на гіршій продуктивності. Хоча графічні процесори Intel Iris Graphics, починаючи з покоління процесорів Haswell, мають у своєму розпорядженні 128 Мбайт кеша четвертого рівня, іншу пам'ять вони можуть брати з оперативної пам'яті комп'ютера. Сучасні вбудовані графічні рішення знаходять

застосування в портативних пристроях через низьке енергоспоживання. Їх продуктивність вже на досить високому рівні і дозволяє грати в нескладні тривимірні ігри.

Сучасні вбудовані графічні процесори розташовані на одному чипі з центральним процесором (наприклад Intel HD Graphics або Intel Iris Graphics), попередні покоління (наприклад Intel GMA) розташовувалися у вигляді окремого чипа.

Гібридні рішення. Гібридні рішення знаходять застосування там, де потрібна і енергоефективність, і висока графічна продуктивність, дозволяючи використовувати вбудований графічний адаптер у повсякденних завданнях і задіяти дискретний графічний адаптер тільки там, де він потрібен.

До появи гібридної графіки виробники вбудовували на додачу до вбудованого дискретний адаптер. Для перемикання між ними було потрібне перезавантаження, що було не дуже зручним для користувачів. Гібридні адаптери для виведення на екран використовують тільки вбудований графічний адаптер, але деякі обчислення здатні передавати дискретній графічній карті, а не виконувати самим. Для користувача перемикання між відеоадаптерами стає непомітним. Прикладами таких рішень є технологія Optimus від Nvidia і AMD Dual Graphics.

GPGPU. GPGPU (від англ. general-purpose computing for graphics processing units - неспеціалізовані обчислення на графічних процесорах) — використання графічного процесора відеокарти для паралельних обчислень. Сучасні графічні адаптери можуть мати до декількох тисяч процесорів, що дозволяє вирішувати деякі завдання на графічних картах на порядок швидше, ніж на центральних процесорах. Додатки, що використовують дану технологію, пишуться за допомогою таких технологій, як OpenCL або CUDA.

Зовнішня відеокарта (eGPU). Під терміном eGPU розуміють дискретну графічну карту, розташовану поза комп'ютером. Може використовуватися, наприклад, для збільшення продуктивності в 3D-додатках на ноутбуках.

Як правило, PCI Express є єдиною придатною шиною для цього. У якості порту може використовуватися ExpressCard, mPCIe (PCIe ×1 - 5 або 2.5 Гбіт/с відповідно) або порт Thunderbolt 1, 2 або 3 (PCIe ×4 до 10, 20 або 40 Гбіт/с відповідно).

У 2016 році AMD зробила спробу стандартизувати зовнішні відеоадаптери.

Структура. Відеокарта S3 Graphics chrome 530 GT: під синім радіатором з кулером міститься відеопроцесор, дві чорні мікросхеми праворуч — відеопам'ять GDDR2, ліворуч — інтерфейси виведення HDMI і DVI, золотиста смужка внизу — шина PCI Express (рис. 2.12).



Рис. 2.12. Відеокарта S3 Graphics chrome 530 GT

Друкована плата — пластина з діелектрика, на якій прокладено провідні доріжки, що зв'язують різні складові відеокарти.

Шина підключення — комп'ютерна шина, через яку відеокарта обмінюється інформацією з материнською платою. Стандартними є AGP і PCI-E.

Графічний процесор (від англ. graphics processing unit, GPU — процесор, який обчислює інформацію, що виводиться на монітор. Може брати на себе частину обчислень з центрального процесора.

Відеопам'ять — мікросхеми, у які тимчасово поміщається інформація, обчислена графічним процесором. Відеопам'ять може бути виділена з основної оперативної пам'яті системи, у цьому випадку говорять про розподілену (shared) пам'ять. Як правило, чипи оперативної пам'яті припаяні прямо до друкованої плати, на відміну від знімних модулів системної пам'яті, які вставляються в стандартизовані рознімачі материнських плат.

Відеоконтролер (від англ. video display controller, VDC) — мікросхема, що формує вихідний сигнал, який передається на монітор.

RAMDAC (від англ. random access memory digital-to-analog converter) або цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) — пристрій, що здійснює перетворення цифрових результатів роботи відеокарти в аналоговий сигнал, який відображується на моніторі. Можливостями цього пристрою визначається максимальна роздільність, кількість кольорів, насиченість картинки, частота кадрів.

Відео-ROM (від англ. video ROM, video BIOS) — мікросхема, що зберігає в собі правила і алгоритми взаємодій частин відеокарти.

Інтерфейси виведення (від англ. output interfaces) — аналогові чи цифрові інтерфейси, які забезпечують передачу даних від відеокарти до дисплея. Стандартними є HDMI, DVI та VGA.

Система охолодження — пристрій, що здійснює відведення і розсіювання тепла від відеопроцесора та інших складових відеокарти. Забезпечує стабільну роботу і не допускає пошкодження деталей від їх надмірного нагріву.

Характеристики відеопроцесора:

- **робоча частота відеопроцесора** — вимірюється в мегагерцах, тобто мільйонах тактів за секунду. Чим вища частота, тим більше відеопроцесор може обробити даних за одиницю часу;

- **блоки** — частини відеопроцесора, які обчислюють окремі елементи зображення: текстур, вершини, геометрію. Чим більше відповідних блоків, тим швидше процесор виконує операції з елементами зображення. Блоки можуть мати різну частоту, відповідно менша їх кількість компенсується вищою частотою.

Характеристики відеопам'яті:

- **об'єм відеопам'яті** — пам'ять використовується для зберігання елементів зображення (текстур, вершин, даних буферів і т. д.), які будуть виведені на монітор. Вимірюється в мегабайтах і гігабайтах. Об'єм визначає не напряму продуктивність відеокарти, а лише в поєднанні з іншими характеристиками. Проте багато комп'ютерних програм вимагають певного мінімуму відеопам'яті, особливо програми для роботи з графікою і відеоігри;

- **частота відеопам'яті** визначає, скільки операцій запису/читання може виконатися за такт. Ця характеристика тісно пов'язана з типом пам'яті, зазвичай використовується спеціальна GDDR. Пізніші типи мають швидшу передачу даних, так GDDR3 повільніша за GDDR5;

- **розрядність шини** визначає, як швидко пам'ять обмінюється даними з відеопроцесором. Вимірюється в бітах: 64, 128, 256, 512 і т. д. Часто виробники компенсують повільність відеопам'яті більшою розрядністю шини, або, навпаки, зменшують розрядність, натомість використовують пам'ять з вищою частотою.

Охолодження (рис. 2.13). Зі зростанням навантаження на відеопроцесор його температура зростає, що призводить до пропускання тактів, чи навіть може спричинити деформацію та розплавлення деталей відеокарти. Для уникнення цього використовуються системи охолодження.



Рис. 2.13. Система охолодження на відеокарті Sapphire Radeon R9 290X

Системи охолодження бувають:

- **пасивними** — складаються з радіатора, який відводить зайве тепло. Чим складніша форма радіатора, тим більшою є його площа і можливості до відведення тепла;
- **активними** — складаються з радіатора і кулера, іноді мають систему охолодження рідиною: водою чи рідким азотом. Кулер створює потік повітря, який охолоджує радіатор. Потужніші кулери створюють більше шуму, але часто ними можна керувати через спеціальні додатки.

Характеристики форм-фактора:

- **Низькопрофільні** — мають невеликі розміри, займають один слот розширення в ПК (50-60 мм у висоту). Як правило, мають порівняно невисоку продуктивність, але можуть встановлюватися в невеликі корпуси, неттопи;
- **Повнопрофільні** — мають великі розміри, декоративні й охолоджувальні кожухи, великі радіатори і кулери, зазвичай займають два слоти розширення.

Вирішення неграфічних завдань:

- *паралельні обчислення.* Технологія обчислень загального призначення на графічних процесорних одиницях GPGPU (від англ. general-purpose computing on graphics processing units) дозволяє задіювати обчислювальні потужності графічних процесорів для таких завдань, як обчислення фізики тривимірних об'єктів у відеоіграх, частково звільняючи від них центральний процесор. Останній таким чином отримує змогу паралельно виконувати інші обчислення. Так, у nVidia технологією GPGPU є CUDA, а у ATI — Stream;

- *майнінг крипто валют.* Завдяки високій обчислювальній потужності у 2010-ті роки набув поширення майнінг (від англ. mining, дослівно "видобуток") криптовалют за допомогою графічних процесорів. Він здійснюється шляхом підбору кеш-коду з-поміж численних комбінацій за допомогою спеціальних програм. Графічні процесори в цьому випадку більш ефективні за центральні, позаяк передусім розраховані на однотипні, часто повторювані задачі. Валюта зараховується на попередньо створений електронний гаманець. Для збільшення виходу криптовалюти відеокарти об'єднуються на так званих фермах: комп'ютерах, материнська плата яких має кілька слотів підключення графічних адаптерів, наділених потужним блоком живлення і ефективною системою охолодження. Обмеження драйверів відеокарт зазвичай не дозволяють використовувати на одній платі понад 4-8 відеоадаптерів.

Пік популярності майнінгу відбувся в травні-липні 2017 року через різке зростання курсу криптовалют. Типова ферма за курсу біткоіна до 3000 дол. могла окупитися вже за 3-4 місяці. Це швидко спричинило стрибок цін на відеокарти, дефіцит потужних геймерських карт і випуск спеціалізованих саме для майнінгу карт і материнських плат.

Монітор — пристрій, призначений для відтворення відеосигналу і візуального відображення інформації, отриманої від комп'ютера (рис. 2.14). Принципова відмінність від телевізора полягає у відсутності вбудованого тюнера, призначеного для приймання високочастотних сигналів ефірного (наземного) телемовлення. Сучасний монітор складається з екрана (дисплея), блока живлення, плат управління та корпусу. Інформація для відображення на моніторі надходить з електронного пристрою, що формує відеосигнал (у комп'ютері — відеокарта). У якості монітора може застосовуватися також телевізор. У перших комп'ютерних моніторах використовувались електронно-променеві трубки, як у старих телевізорах. Вони були дуже громіздкими і важкими для використання, тому для екранів портативних комп'ютерів необхідна була принципово інша технологія. Розвиток плоских (flat-panel) моніторів дозволив реалізувати компактний форм-фактор, необхідний для ноутбуків, до того ж ці пристрої використовували менше енергії.

У наш час переваги плоских екранів призвели до практично повного вимирання моніторів з електронно-променевими трубками. Рідкі кристали являють собою в'язкі органічні молекули, які рухаються як молекули рідин, але мають структуру кристалів. Рідкі кристали були відкриті в 1888 році австрійським ботаніком Ф. Рейнитцером, у 1927 році російським фізиком В.К. Фредеріксом був відкритий перехід Фредерікса, нині широко використовуваний у рідкокристалічних дисплеях.

Склад і принцип дії. Конструктивно дисплей складається з таких елементів:



Рис. 2.14. Монітор

- РК-матриця (спочатку — плоский пакет скляних пластин, між шарами якого і розташовуються рідкі кристали; у 2000-ні роки почали застосовуватися гнучкі матеріали на основі полімерів);

- джерела світла для підсвічування;

- контактний джгут (проводи);

- корпус, частіше пластиковий з металевою рамкою для додавання жорсткості.

Склад пікселів РК-матриці (рис. 2.15):

- два прозорих електрода;
- шар молекул, розташований між електродами;
- два поляризаційних фільтри, площини поляризації яких, як правило, перпендикулярні.

Якби рідких кристалів між фільтрами не було, то світло, що пропускається першим фільтром, практично повністю блокувалося б другим фільтром.

Поверхня електродів, яка контактує з рідкими кристалами, спеціально оброблена для початкової орієнтації молекул в одному напрямку. У TN-матриці ці напрями взаємно перпендикулярні, тому молекули за відсутності напруги шикуються у гвинтову структуру. Ця структура заломлює світло таким чином, що до другого фільтра площина його поляризації повертається і через нього світло проходить вже без втрат. Якщо не вважати поглинання першим фільтром половини неполяризованого світла, клітинку можна вважати прозорою.

Якщо ж до електродів прикладена напруга, то молекули прагнуть вишикуватися в напрямку електричного поля, що спотворює гвинтову структуру. При цьому сили пружності протидіють цьому, і при відключенні напруги молекули повертаються у вихідне положення. При достатній величині поля практично всі молекули стають паралельними, що призводить до непрозорості структури. Змінюючи напругу, можна управляти ступенем прозорості.

Якщо постійна напруга докладена протягом довгого часу, рідкокристалічна структура може деградувати через міграції іонів. Для вирішення цієї проблеми застосовується змінний струм або зміна полярності поля при кожній адресації комірки (оскільки зміна прозорості відбувається при вмиканні струму, незалежно від його полярності). Для подачі напруги зазвичай використовуються два підходи.

У більш дешевому **пасивному матричному індикаторі** на обох електродах проводи розташовуються паралельно один одному. Наприклад, на дисплеї розміром 640×480 дрі електрод задньої пластини містить 640 вертикальних, а електрод передній пластини — 480 горизонтальних проводів. Якщо подавати напругу на один з вертикальних проводів, а потім посилати імпульси на один з горизонтальних, можна змінити напругу в певній позиції пікселя і таким чином зробити потрібну точку темною. Якщо те саме повторити з наступним пікселем і т. д., можна отримати темний рядок розгорнення. Зазвичай зображення на екрані перемальовується 60 разів за секунду, щоб створювалося враження постійної картини.

Другий підхід — застосування **активного матричного індикатора**. Він коштує набагато дорожче, ніж пасивний, але дає зображення кращої якості. Замість двох наборів перпендикулярно розташованих проводів у активного матричного індикатора на одному з електродів є маленький перемикач у кожній позиції пікселя. Змінюючи стан перемикачів, можна створювати на екрані довільну комбінацію напружень залежно від комбінації бітів. Ці перемикачі називаються **тонкоплівковими транзисторами**. У всій матриці можна управляти кожною з комірок індивідуально, але при збільшенні їх кількості це стає складно для виконання, оскільки зростає кількість необхідних електродів. Тому практично скрізь застосовується адресація по рядках і стовпцях.

Світло, що проходить через комірки, може бути природним — відбитим від підкладки (у РК-дисплеях без підсвічування). Але частіше застосовують штучне джерело світла, крім незалежності від зовнішнього освітлення, це також стабілізує властивості отриманого зображення.

Таким чином, повноцінний монітор з РК-дисплеєм складається з високоточної електроніки, що обробляє вхідний відеосигнал, РК-матриці, модуля підсвічування, блока живлення і корпусу з елементами управління. Саме сукупність цих складових визначає властивості монітора в цілому, хоча деякі характеристики важливіше за інші.

Основні характеристики. Найважливіші характеристики РК-дисплеїв:

- тип матриці — визначається технологією, за якою виготовлено РК-дисплей;
- клас матриці; стандарт ISO 13406-2 виділяє чотири класи матриць за допустимою кількістю "битих пікселів";
- розділення — горизонтальний і вертикальний розміри, виражені V пікселях.

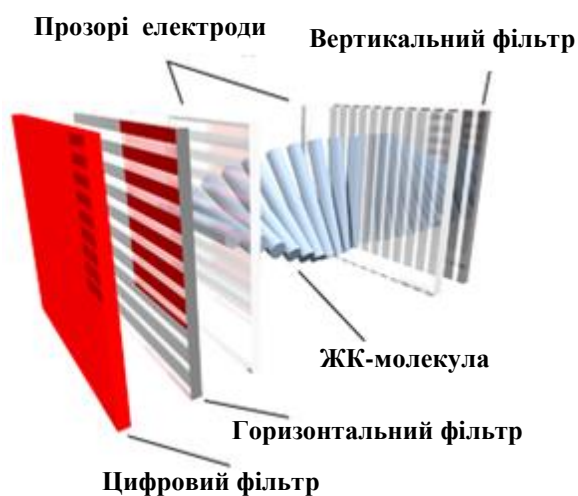


Рис. 2.15. Схема РК-монітору.

- розмір точки (розмір піксела) — відстань між центрами сусідніх пікселів. Безпосередньо пов'язаний з фізичним дозволом;
- співвідношення сторін екрана (пропорційний формат) — відношення ширини до висоти (5:4, 4:3, 3:2 (15÷10), 8:5 (16÷10), 5:3 (15÷9), 16:9 та ін.);
- видима діагональ — розмір самої панелі, виміряний по діагоналі. Площа дисплеїв залежить також від формату: при

На відміну від ЕЛТ-моніторів, РК-дисплеї мають один фіксоване розділення, а підтримка решти реалізується шляхом інтерполяції (ЕЛТ-монітори також мають фіксовану кількість пікселів, які складаються з червоних, зелених і синіх точок, проте через особливості технології виведення нестандартного розділення в інтерполяції немає необхідності);

однаковій діагоналі монітор формату 4:3 має більшу площу, ніж монітор формату 16:9;

- контрастність — відношення яскравостей найсвітлішої та найтемнішої точок при заданій яскравості підсвічування. У деяких моніторах використовується адаптивний рівень підсвічування з використанням додаткових ламп, наведена для них цифра контрастності (так звана динамічна) не стосується статичного зображення;

- яскравість — кількість світла, випромінюваного дисплеєм (зазвичай вимірюється в канделах на квадратний метр);

- час відгуку — мінімальний час, необхідний пікселю для зміни своєї яскравості.

Час відгуку складається з двох величин:

- час буферизації (input lag). Високе значення заважає в динамічних іграх; зазвичай замовчується; вимірюється порівнянням з кінескопом у швидкісний зйомці. Станом на 2011-ий рік у межах 20-50 мс; в окремих ранніх моделях досягало 200 мс;

- час перемикання. Вказується в характеристиках монітора. Високе значення погіршує якість відео; методи вимірювання неоднозначні. Станом на 2016-ий рік практично у всіх моніторах заявлений час перемикання складає 1-6 мс;

- кут огляду — кут, при якому падіння контрасту досягає заданого; для різних типів матриць і різними виробниками обчислюється по-різному і часто не підлягає порівнянню. Деякі виробники вказують у технічних параметрах своїх моніторів кути огляду, такі, наприклад, як CR 5:1 — 176/176°, CR 10:1 — 170/160°. Абревіатура CR (від англ. contrast ratio) позначає рівень контрастності при зазначених кутах огляду відносно контрастності при погляді перпендикулярно екрана. У наведеному прикладі при кутах огляду 170°/160° контрастність у центрі екрану знижується до значення не нижче, ніж 10:1, кути огляду 176°/176° — не нижче, ніж до значення 5:1.

Основні технології при виготовленні РК-дисплеїв: TN + film, IPS (SFT, PLS) і MVA. Розрізняються ці технології геометрією поверхонь, полімеру, що управляє, пластини і фронтального електрода. Велике значення мають чистота і тип полімеру з властивостями рідких кристалів, застосованого в конкретних розробках.

Принтер (від англ. printer, від print— друк) — це зовнішній периферійний пристрій комп'ютера, призначений для виведення текстової або графічної інформації, що зберігається в комп'ютері, на твердий фізичний носій, зазвичай папір або полімерну плівку, малими тиражами (від одиниць до сотень) без створення друкованої форми.

Лазерний принтер. Головною частиною цього принтера є обертовий барабан (рис. 2.16). Перед друком кожного аркуша барабан отримує напругу близько 1000 В і оточується fotocутливим матеріалом. Світло лазера проходить вздовж барабана, майже як пучок електронів в електронно-променевої трубці, тільки замість напруги для сканування барабана

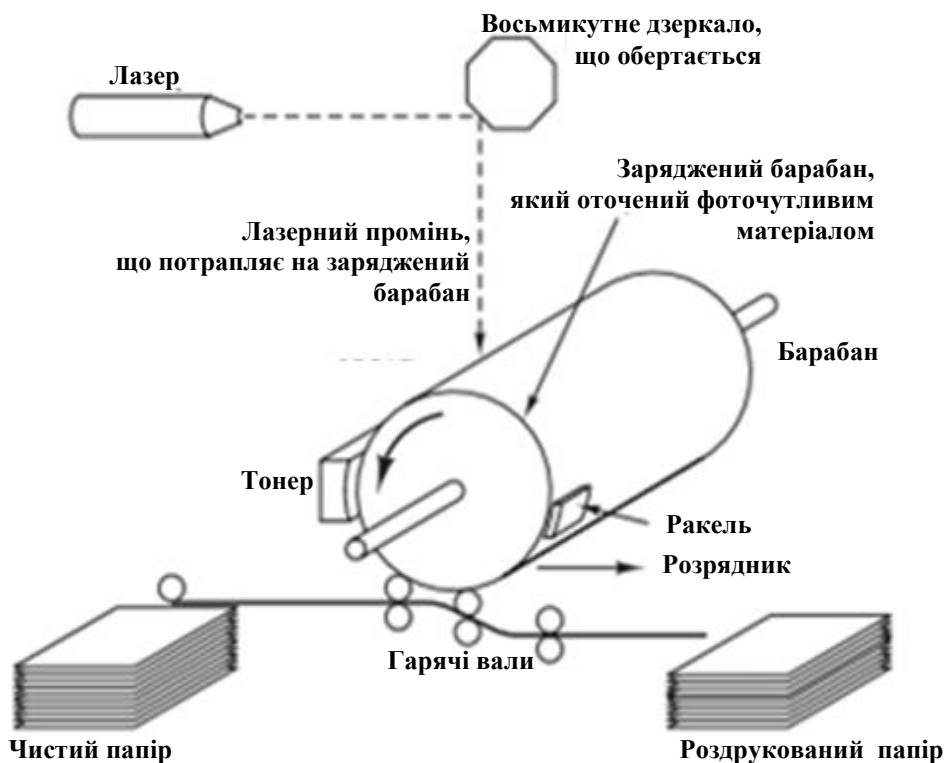


Рис. 2.16. Схема роботи лазерного принтера

використовується обертове восьмикутне дзеркало. Промінь світла модулюється, у результаті утворюється набір темних і світлих ділянок. Ділянки, на які впливає промінь, втрачають свій електричний заряд. Після того як нарисований рядок точок, барабан трохи повертається для створення наступного рядка.

У підсумку перший рядок точок досягає резервуара з тонером (електростатичним чорним порошком). Тонер притягується до заряджених точок, і так формується візуальне зображення рядка. Через деякий час барабан з тонером притискається до паперу, лишаячи на ньому відбиток зображення. Потім аркуш проходить через нагріті валики, і зображення закріплюється. Після цього барабан розряджається, і залишки тонера зчищаються з нього. Тепер він готовий до друкування наступної сторінки. Електроніка лазерних принтерів складається з швидкодіючого процесора і кількох мегабайтів пам'яті для зберігання повного зображення в бітовій формі і різних шрифтів, одні з яких вбудовані, а інші завантажуються з пам'яті. Більшість принтерів отримують команди, що описують сторінку, яка друкується спеціалізованими мовами програмування (PCL від HP чи PostScript від Adobe).

Струменеві принтери. У цьому принтері рухома друкуюча головка містить картридж з чорнилом. Вона рухається горизонтально над папером, а чорнило в цей час вибризується з крихітних сопел. Об'єм однієї порції чорнила приблизно складає один піколітр. В одній краплі води може вміститися близько 100 мільйонів таких порцій. Струменеві принтери бувають двох типів: п'єзоелектричні (Epson) і термографічні (Canon, HP, Lexmark). У п'єзоелектричних струменевих принтерах поруч з чорнильною камерою встановлюється спеціальний кристал. При подачі на цей кристал напруги він деформується, у результаті форсунки випускають чорнило. Чим вище напруга, тим більша вихідна порція чорнила, причому управління цим процесом здійснюється програмно.

У термографічних (точкових) струменевих принтерах у кожній форсунці встановлюється невеликий резистор. При подачі напруги резистор швидко нагрівається, доводить температуру чорнила до точки кипіння, у результаті останні перетворюються в пухирі газу. Оскільки об'єм пухиря більше об'єму чистих чорнил, у форсунці створюється підвищений тиск, під впливом якого чорнило розпорошується на папір. Потім форсунка охолоджується, і в результаті зниження тиску всередині форсунки в неї з картриджа подається нова порція чорнила. Швидкість роботи принтера в рамках цієї схеми обмежена часовими рамками циклу кипіння/охолодження. Розмір усіх чорнильних крапель,

що формуються, однаковий, причому, як правило, він поступається аналогічному показнику п'єзоелектричних принтерів. Струменеві принтери зазвичай мають роздільну здатність від 1200 dpi (dots per inch — точки на дюйм) до 4800 dpi. Вони досить дешеві, працюють безшумно, однак відрізняються низькою швидкістю друкування.

Існують два види чорнила.

Чорнило на основі барвника складається з барвників, розчинених у рідкому середовищі. Воно дає яскраві кольори і легко випливає з картриджа. Головним недоліком таких чорнил є те, що вони швидко вигорають під впливом ультрафіолетових променів.

Чорнило на основі пігменту містять тверді частинки пігменту, занурені в рідину. Рідина випаровується з паперу, а пігмент залишається. Чорнило не вигорає, але дають не такі яскраві фарби, як чорнило на основі барвника. Крім того, частинки пігменту часто засмічують випускні отвори картриджів, тому їх потрібно періодично чистити.

Спеціалізовані принтери. Принтери з твердими чорнилом. У цих принтерах міститься 4 твердих блоки спеціальних воскових чорнил, які потім розплавляються, для чого перед початком друку повинно пройти 10 хв. Гаряче чорнило впорскується на папір, де воно твердне і закріплюється після проходження аркуша між двома валиками.

У принтерах, які працюють на основі **технології сублімації**, контейнер з барвниками рухається над термічною друкуючою головкою, яка містить тисячі програмованих нагрівальних елементів. Барвники миттєво випаровуються і вбираються в спеціальний папір. Кожен нагрівальний елемент може виробляти 256 різних температур. Чим вище температура, тим більше барвника осідає і тим інтенсивнішим є колір. На відміну від усіх інших кольорових принтерів, ці принтери здатні відтворювати кольори практично суцільного спектра. Процес сублімації використовується при виготовленні так званих миттєвих знімків на спеціальному папері.

Термографічні принтери містять невелику друкувальну головку з безліччю голчастих елементів. При проходженні електричного струму голки дуже швидко нагріваються. Над друкуючою головкою проходить спеціальний термочутливий папір, і в тих місцях, де знаходяться розпечені голки, з'являються

точки. По суті, термографічний принтер працює за принципом старого матричного принтера, у якому контакти через фарбувальну стрічку залишали точки на папері. Термографічні принтери широко застосовуються для друкування чеків в магазинах, банкоматах.

Роздільна здатність — це максимальна кількість точок на квадратний дюйм (dpi — dots per inch), які принтер може надрукувати. По ідеї, якість друкування тим вище, чим більше розділення. Рекомендоване розділення таке: для друкування тексту достатньо 300 dpi, для друкування графіки — 600 dpi, для якісного друкування фотографій — 1200 dpi.

Швидкість друкування показує, скільки сторінок принтер друкує за хвилину. Швидкість чорно-білого друкування зазвичай трохи вище, ніж швидкість кольорового.

Процесор і об'єм пам'яті — чим більший об'єм пам'яті і швидше процесор, тим швидше друкується документ (особливо різниця помітна при друкуванні "важкого" файла, наприклад кольорової фотографії з великим розділенням).

Інтерфейс підключення характеризує спосіб підключення принтера до комп'ютера. Раніше принтери підключалися до стандартних портів LPT або COM. Зараз практично у всіх принтерів є можливість підключення до USB-порту. Більшість нових принтерів підтримують такі інтерфейси, як інфрачервоний порт, Bluetooth і навіть Wi-Fi.

Формат паперу показує, на якому максимальному форматі паперу можна буде роздрукувати документ (фотографію) на даному принтері. Найпоширеніший — А4. Є також принтери, що друкують на папері формату А3, фотопринтери, що друкують фотографії формату 10x15, або навіть на CD.

Також зверніть увагу, скільки лотків (подавачів) паперу є у принтера і скільки в них міститься аркушів.

Параметри друкування — підтримує принтер друкування без полів (наприклад, при друкуванні буклета, фотографії великого формату тощо), двостороннє друкування. Зазвичай ці функції є в більш дорогих моделях.

Підтримування операційних систем — сучасні принтери зазвичай підтримують операційні системи від Windows XP і вище.

Контрольні питання

1. Дайте визначення поняттю відеокарта і охарактеризуйте типи графічних карт.
2. Назвіть пристрої збереження інформації та їх призначення.
3. Опишіть структуру відеокарти (S3 Graphics chrome 530 GT або аналогічну).
4. Вкажіть принцип дії і технічні характеристики таких пристроїв:
 - монітор (склад і принцип дії);
 - принтер.

2.4. Організація мережевої взаємодії комп'ютерів

Мережева модель OSI (еталонна модель взаємодії відкритих систем (Open Systems Interconnection Basic Reference Model, 1978 рік) — абстрактна мережева модель для комунікацій і розроблення мережевих протоколів. Пропонує поглянути на комп'ютерну мережу як багаторівневу структуру (Таблиця 2.1). Кожний рівень обслуговує свою частину процесу взаємодії. Завдяки такій структурі спільна робота мережевого устаткування і програмного забезпечення набагато простіша і прозоріша.

Модель OSI. Основні елементи сучасної інфокомунікаційної мережі: switch, router, hub і їх взаємодія.

Класифікуючи мережі за територіальною ознакою, розрізняють[11]:

- LAN — локальні — зосереджені на території не більше 1-2 км;
- WAN — глобальні — об'єднують комп'ютери, розосереджені на відстані сотень і тисяч кілометрів;
- MAN — міські (Metropolitan networks) - займають проміжне положення між локальними і глобальними мережами.
- PAN — персональні — (Personal Area Network) персональна мережа (Bluetooth.)

Таблиця 2.1

Модель OSI		
Тип даних	Рівень	Функції
Дані	7. Прикладний	Доступ до мережевих служб
	6. Подання	Подання і кодування даних
	5. Сеансовий	Управління сеансом зв'язку
Сегменти	4. Транспортний	Прямий зв'язок між кінцевими пунктами і надійність
Пакети	3. Мережевий	Визначення маршруту і логічна адресація
Кадри	2. Канальний	Фізична адресація
Біти	1. Фізичний	Робота з середовищем передачі, сигналами і двійковими даними

Прикладний рівень. Прикладний рівень — це найближчий до користувача рівень OSI. Він відрізняється від інших рівнів тим, що не забезпечує послугами жодний з інших рівнів OSI, проте він забезпечує ними прикладні процеси, що лежать за межами масштабу моделі OSI. Прикладами таких процесів можуть служити програми обробки великомасштабних таблиць, слів, програми банківських терміналів .

Рівень подання. На цьому рівні здійснюється стискання/розпаковування або кодування/декодування даних, а також перенаправлення запитів іншому мережевому ресурсу, якщо вони не можуть бути оброблені локально. Цей рівень забезпечує форматування і перетворення коду.

Таким чином, цей рівень забезпечує організацію даних при їх пересиланні.

Іншою функцією, що виконується на рівні подання, є шифрування даних, яке застосовується в тих випадках, коли необхідно захистити передавану інформацію від приймання несанкціонованими одержувачами.

Сеансовий рівень. Сеансовий рівень встановлює, управляє і завершує сеанси взаємодії між прикладними завданнями. Сеанси складаються з діалогу між двома або більше об'єктами подання. Сеансовий рівень синхронізує діалог між об'єктами рівня подання і управляє обміном інформації між ними.

Транспортний рівень. Призначений для доставки даних без помилок, втрат і дублювання в тій послідовності, як вони були передані. При цьому не важливо, які дані передаються, звідки і куди, тобто він надає сам механізм передачі. Блоки даних він розділяє на фрагменти (UDP-датаграма, TCP-сегмент), розмір яких залежить від протоколу, короткі об'єднує в один, а довгі розбиває.

Мережевий рівень. третій рівень мережевої моделі OSI призначений для визначення шляху передачі даних. Відповідає за перетворення логічних адрес і імен у фізичні, визначення найкоротших маршрутів, комутацію і маршрутизацію, відстежування неполадок і "заторів" у мережі.

На цьому рівні працює маршрутизатор (роутер), наприклад IP/IPv4/IPv6 (Internet Protocol).

Канальний рівень. Цей рівень призначений для забезпечення взаємодії мереж на фізичному рівні і контролю за помилками, які можуть виникнути. Отримані з фізичного рівня дані він упаковує в кадри, перевіряє на цілісність, якщо потрібно, виправляє помилки (посилає повторний запит пошкодженого кадру) і відправляє на мережевий рівень. Канальний рівень може взаємодіяти з одним або декількома фізичними рівнями, контролюючи і управляючи цією взаємодією. На цьому рівні працюють комутатори, мости за протоколами ATM, Ethernet, Multiprotocol Label Switching (MPLS).

Фізичний рівень. Фізичний рівень визначає електротехнічні, механічні, процедурні та функціональні характеристики активації, підтримки і дезактивації фізичного каналу між кінцевими системами.

На цьому рівні працюють концентратори (хаб), повторювачі (ретранслятори).

Мережеве устаткування. Мережеве устаткування — пристрої, необхідні для роботи мережі, наприклад: маршрутизатор, комутатор, концентратор, патч-панель та ін.

Зазвичай виділяють активне і пасивне мережеве устаткування.

Активне мережеве устаткування. Під цією назвою розуміється устаткування у якого є деяка "інтелектуальна" особливість. Тобто маршрутизатор, комутатор (свитч) тощо є активним мережевим устаткуванням. Навпаки, пасивні — повторювач (репітер) і концентратор (хаб), оскільки просто повторюють електричний сигнал для збільшення відстані з'єднання або топологічного розгалуження і нічого "інтелектуального" в них нема.

Пасивне мережеве устаткування. Під пасивним мережевим устаткуванням розуміється устаткування, не наділене "інтелектуальними" особливостями. Наприклад кабельна система: кабель (коаксіальний і вита пара (UTP/STP)), вилка/розетка (RG58, RJ45, RJ11, GG45), повторювач (репітер), патч-панель, концентратор (хаб), балун (balun) для коаксіальних кабелів (RG-58) і т. д. Також до пасивного устаткування можна віднести монтажні шафи і стійки, телекомунікаційні шафи. Монтажні шафи поділяють на типові, спеціалізовані і антивандальні. За типом монтажу: настінні і підлогові.

Маршрутизатор (від англ. router) — це пристрій мережевого рівня еталонної моделі OSI, що використовує одну або більше міток для визначення оптимального шляху передачі мережевого трафіка на підставі інформації мережевого рівня.

Працює на більш високому рівні (3-й рівень), ніж комутатор і мережевий міст.

Маршрутизатор використовує адресу одержувача, вказану в пакетах даних, і визначає за таблицею маршрутизації шлях, по якому слід передати дані. Якщо в таблиці маршрутизації для адреси немає описаного маршруту, пакет відкидається.

Існують і інші способи визначення маршруту пересилання пакетів, коли, наприклад, використовується адреса відправника, використовувані протоколи верхніх рівнів та інша інформація, що міститься в заголовках пакетів мережевого рівня. Нерідко маршрутизатори можуть здійснювати трансляцію адрес відправника і одержувача, фільтрацію транзитного потоку даних на основі певних правил з метою обмеження доступу, шифрування /дешифрування передаваних даних і т. д.

Таблиця маршрутизації містить інформацію, на основі якої маршрутизатор приймає рішення про подальше пересилання пакетів. Таблиця складається з деякої кількості записів — маршрутів, у кожному з яких міститься адреса мережі одержувача, адреса наступного вузла, якому слід передавати пакети і деяка вага запису — метрика. Метрики записів у таблиці відіграють значну роль в обчисленні найкоротших маршрутів до різних одержувачів. Залежно від моделі маршрутизатора і використовуваних протоколів маршрутизації в таблиці може міститися деяка додаткова службова інформація.

Таблиця маршрутизації може складатися двома способами:

- *статична маршрутизація* — записи в таблиці вводяться і змінюються вручну. Такий спосіб вимагає втручання адміністратора кожного разу, коли відбуваються зміни в топології мережі. З іншого боку, він є найбільш стабільним і вимагає мінімуму апаратних ресурсів маршрутизатора для обслуговування таблиці;
- *динамічна маршрутизація* — записи в таблиці оновлюються автоматично за допомогою одного або декількох протоколів маршрутизації — RIP, OSPF, IGRP, EIGRP, IS-IS, BGP та ін. Крім того, маршрутизатор будує таблицю оптимальних шляхів до мереж призначення на основі різних критеріїв: кількості проміжних вузлів, пропускну здатності каналів, затримки передачі даних і т. п.

Часто для побудови таблиць маршрутизації використовують теорію графів.

Застосування. Маршрутизатори допомагають зменшити завантаження мережі, завдяки її розділенню на домени колізій або ширококомвні домени, а також завдяки фільтрації пакетів. В основному їх застосовують для об'єднання мереж різних типів, часто несумісних за архітектурою і протоколами, наприклад для об'єднання локальних мереж Ethernet і WAN-з'єднань, що використовують протоколи xDSL, PPP, ATM, Frame relay і т. д. Нерідко маршрутизатор використовується для забезпечення доступу з локальної мережі в глобальну мережу Інтернет, здійснюючи функції трансляції адрес і міжмережевого екрана.

Комутатор (від англ. switch — перемикач) — пристрій, призначений для з'єднання декількох вузлів комп'ютерної мережі в межах одного або декількох сегментів мережі. На відміну від концентратора, який поширює трафік від одного підключеного пристрою до всіх останніх, комутатор передає дані тільки безпосередньо одержувачеві, виняток становить ширококомвний трафік всіх вузлів мережі.

Комутатор працює на каналному рівні моделі OSI, і тому в загальному випадку може тільки об'єднувати вузли однієї мережі за їх MAC-адресами. Комутатори були розроблені з використанням мостових технологій і часто розглядаються як багатопортові мости. Для з'єднання декількох мереж на основі мережевого рівня служать маршрутизатори.

Принцип роботи комутатора. Комутатор зберігає в пам'яті таблицю комутації (що зберігається в асоціативній пам'яті), у якій вказується відповідність MAC-адреси вузла порту комутатора. При вмиканні комутатора ця таблиця порожня, і він працює в режимі навчання. У цьому режимі дані, що поступають на який-небудь порт, передаються на решту всіх портів комутатора. При цьому комутатор аналізує кадри (фрейми) і, визначивши MAC-адресу хоста-відправника, заносить її в таблицю. Згодом, якщо на один з портів комутатора поступить кадр, призначений для хоста, MAC-адреса якого вже є в таблиці, то цей кадр буде переданий тільки через порт, вказаний у таблиці. Якщо MAC-адреса хоста-одержувача не асоційована з яким-небудь портом комутатора, то кадр буде відправлений на всі порти. З часом комутатор будує повну таблицю для всіх своїх портів, і в результаті трафік локалізується. Слід відзначити малу латентність (затримку) і високу швидкість пересилки на кожному порту інтерфейсу.

Міст (від англ. bridge) — мережевий пристрій 2-го рівня моделі OSI, призначений для об'єднання сегментів (підмереж) комп'ютерної мережі різних топологій і архітектури.

Відмінності між комутаторами і мостами. У загальному випадку комутатор (свитч) і міст аналогічні за функціональністю; різниця полягає у внутрішньому устрої: мости обробляють трафік, використовуючи центральний процесор, комутатор же використовує комутаційну матрицю (апаратну схему для комутації пакетів). На сьогодні мости практично не використовуються (оскільки для роботи їм потрібний продуктивний процесор), за винятком ситуацій, коли зв'язуються сегменти мережі з різною організацією першого рівня, наприклад між xDSL з'єднаннями, оптикою, Ethernet.

Мережевий концентратор або хаб (від англ. hub — центр діяльності) — мережевий пристрій, призначений для об'єднання декількох пристроїв Ethernet у загальний сегмент мережі. Пристрої підключаються за допомогою витої пари, коаксіального кабелю або оптоволокна.

У наш час хаби майже не випускаються — їм на зміну прийшли мережеві комутатори, що виділяють кожен підключений

пристрій в окремий сегмент. Мережеві комутатори помилково називають "інтелектуальними концентраторами".

Принцип роботи. Концентратор працює на фізичному рівні мережевої моделі OSI, повторює сигнал, що приходить на один порт або на всі активні порти. У разі надходження сигналу на два і більше портів одночасно виникає колізія (від англ. *collision* – помилка накладання, зіштовхування – у термінології інформаційних технологій, накладання двох і більше кадрів від станцій, що намагаються передати кадр в один і той самий момент часу.), і передавані кадри даних втрачаються. Таким чином, всі підключені до концентратора пристрої знаходяться в одному домені колізій. Концентратори завжди працюють у режимі напівдуплексу, всі підключені пристрої Ethernet розділяють між собою смугу доступу, що надається.

Багато моделей концентраторів мають простий захист від зайвої кількості колізій, що виникають унаслідок одного з підключених пристроїв. У цьому випадку вони можуть ізолювати порт від загального середовища передачі. Через це, мережеві сегменти, засновані на витій парі, набагато стабільніше в роботі від сегментів на коаксіальному кабелі, оскільки в першому випадку кожен пристрій може бути ізолюваний концентратором від загального середовища, а в другому випадку декілька пристроїв підключаються за допомогою одного сегмента кабелю, і, в разі великої кількості колізій концентратор може ізолювати лише весь сегмент.

Останнім часом концентратори використовуються досить рідко, замість них набули поширення комутатори — пристрої, що працюють на канальному рівні моделі OSI, і мережі, що підвищують продуктивність шляхом логічного виділення кожного підключеного пристрою в окремий сегмент, домен колізії.

На відміну від хаба, свитч запам'ятовує MAC-адреси комп'ютерів у кеші і посилає тільки в порт, відповідний MAC-адресі одержувача. Крім того, пакети буферизуються, що виключає колізії. І, нарешті, за рахунок посилення даних тільки по потрібних портах нема проблем з безпекою і зайвим завантаженням проводів, що не потребують відповідних пакетів, і комп'ютерів.

Повторювач (від англ. repeater) — мережеве устаткування, призначене для збільшення відстані мережевого з'єднання шляхом повторення електричного сигналу "один в один". Бувають однопортові і багатопортові повторювачі. У термінах моделі OSI працює на фізичному рівні. Одне з перших завдань, яке стоїть перед будь-якою технологією транспортування даних, є можливість їх передачі на максимально велику відстань.

Фізичне середовище накладає на цей процес своє обмеження — рано чи пізно потужність сигналу падає, і приймання стає неможливим. Але ще більше значення має те, що спотворюється "форма сигналу" — закономірність, відповідно до якої миттєве значення рівня сигналу змінюється в часі. Це відбувається в результаті того, що проводи, по яких передається сигнал, мають власну ємкість і індуктивність. Електричні і магнітні поля одного провідника наводять ЕДС в інших провідниках (довга лінія).

Звичне для аналогових систем посилення не прийнятне для високочастотних цифрових сигналів. Зрозуміло, при його використанні якийсь невеликий ефект може бути досягнутий, але зі збільшенням відстані спотворення швидко порушують цілісність даних.

Проблема не нова, і в таких ситуаціях застосовують не посилення, а повторення сигналу. При цьому пристрій на вході повинен приймати сигнал, далі розпізнавати його первинний вигляд і генерувати на виході його точну копію. Така схема в теорії може передавати дані на скільки завгодно великі відстані (якщо не враховувати особливості розділення фізичного середовища в Ethernet).

Спочатку в Ethernet використовувався коаксіальний кабель з топологією "шина", і потрібно було сполучати між собою лише декілька протяжних сегментів. Для цього зазвичай використовувалися повторювачі (repeater), що мали два порти (рис. 2.17). Дещо пізніше з'явилися багатопортові пристрої, так звані концентратори (concentrator). Їх фізичний сенс був такий самий, але відновлений сигнал транслювався на всі активні порти, крім того, з якого прийшов сигнал (рис. 2.18).

З появою протоколу 10baseT (витої пари) для уникнення термінологічної плутанини багатопортові повторювачі для витої пари почали називатися мережевими концентраторами (хабами),

а коаксіальні — повторювачами (репітерами), принаймні, в російськомовній літературі. Ці назви добре прижилися і використовуються зараз дуже широко.

Практично у всіх сучасних технологіях локальних мереж визначено пристрій, який має декілька рівноправних назв, — концентратор (concentrator), хаб (hub), повторювач (repeater). Залежно від сфери застосування цього пристрою значною мірою змінюється склад його функцій і конструктивного виконання. Незмінною залишається тільки основна функція — це повторення кадру або на всіх портах (як визначено в стандарті Ethernet), або тільки на деяких портах відповідно до алгоритму, певного відповідного стандарту.

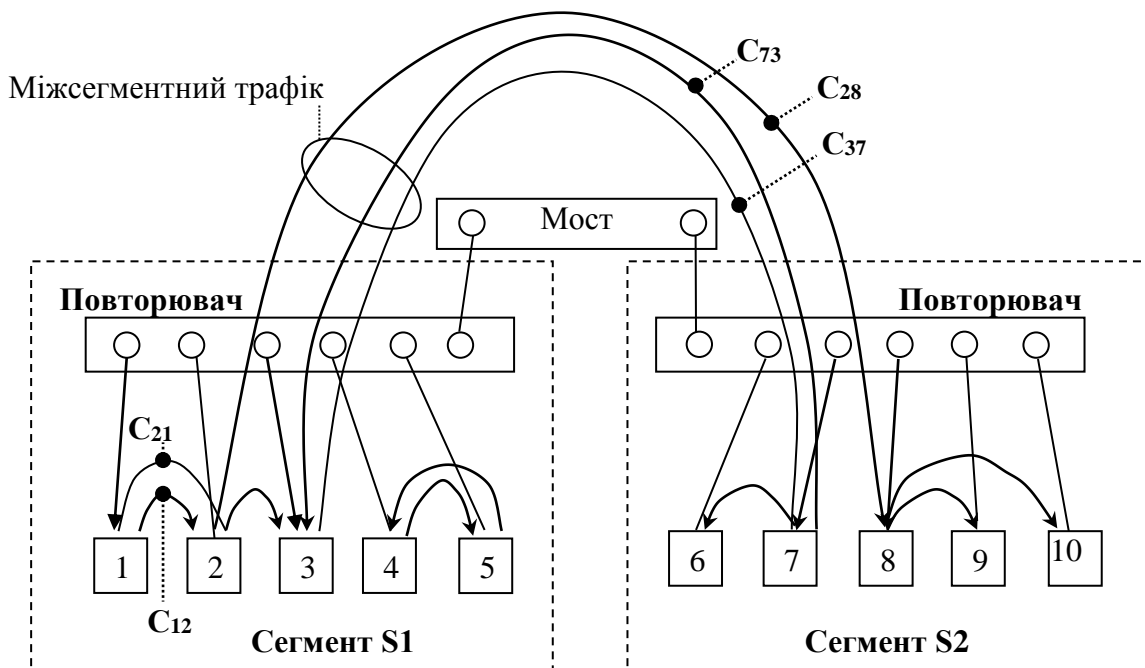


Рис. 2.17. Схема зміни навантаження при розділенні мережі на сегменти

Softswitch (від англ. Softswitch — програмний комутатор) — гнучкий програмний комутатор, один з основних елементів мережі зв'язку наступного покоління NGN, покликаний відокремити функції управління з'єднаннями від функцій комутації, здатний обслуговувати велику кількість абонентів і взаємодіяти з серверами додатків, підтримуючи відкриті стандарти.

Softswitch є носієм інтелектуальних можливостей IP-мережі, він координує управління обслуговуванням викликів,

сигналізацію і функції, що забезпечують встановлення з'єднання через одну або декілька мереж.

У ході розвитку мереж телефонії і передачі даних була розроблена концепція NGN, що припускає конвергенцію мереж IP-телефонії з інтелектуальними мережами, мережами мобільного зв'язку і мережею Інтернет. З метою взаємодії з усіма мережами і типами сигналізацій, був розроблений пристрій Softswitch, програмний комутатор, який з'явився ядром мультисервісної мережі.

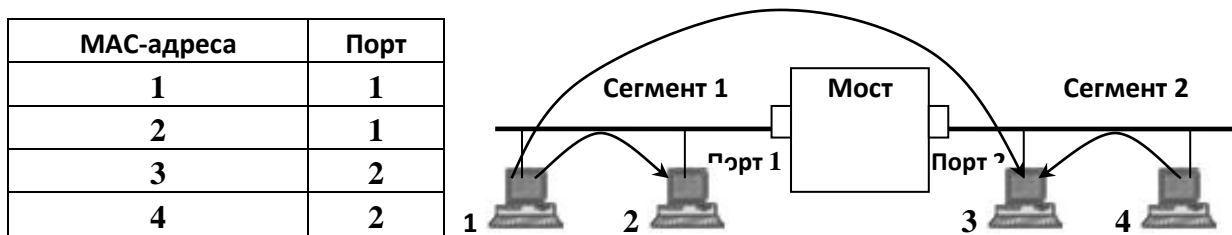


Рис. 2.18. Принцип роботи прозорого моста

Першою організацією, що займається просуванням стандартів Softswitch і забезпеченням функціональної сумісності різних технологій Softswitch, був заснований у 1999 році Міжнародний Softswitch-консорціум ISC (International Softswitch Consortium), перейменований пізніше в IPCC (International Packet Communication Consortium). До складу IPCC увійшли робочі групи, у рамках яких і обговорювалися архітектура, послуги, протоколи, а також питання маркетингу Softswitch.

Першою фірмою-виробником, яка продемонструвала програмний комутатор Softswitch, що є готовим комерційним продуктом, була корпорація Lucent Technologies. Це відбулося у 2001 році на виставці СЕВІТ. Цей Softswitch є багатофункціональною програмованою системою управління, що дозволяє операторам швидко створювати і упроваджувати нові послуги у своїх мережах IP і АТМ.

Контрольні питання

1. Наведіть класифікацію мереж за територіальною ознакою.
2. Назвіть рівні мережевої моделі OSI.
3. Які пристрої необхідні для роботи мережі?
4. У чому різниця між активним і пасивним мережевим устаткуванням? Наведіть приклади.
5. Склад таблиці маршрутизації.
6. Що таке статична і динамічна маршрутизація?
7. Призначення та принцип дії маршрутизатора, комутатора, моста, хаба.

Бібліографічний список

1. Гук, М. Аппаратные средства IBM PC [Текст] : Энциклопедия / М. Гук. 3-е изд. — СПб. : Питер, 2006. — 1072 с.
2. Гук, М. Аппаратные средства локальных сетей [Текст] : Энциклопедия / М. Гук. — СПб.: Питер, 2001. — 576 с.
3. Гук, М. Дисковая подсистема ПК [Текст]: учеб. пособие / М. Гук. — СПб. : Питер, 2001. — 336 с.
4. Гук, М. Интерфейсы ПК [Текст] : справочник / М. Гук. — СПб. : Питер Ком, 1999. — 416 с.
5. Гук, М. Процессоры Pentium 4, Athlon и другие [Текст] / М. Гук, В. Юров. — СПб. : Питер, 2001. — 512 с.
6. Гук, М. Процессоры Pentium III, Athlon и другие [Текст] / М. Гук, В. Юров. — СПб. : Питер, 2000. — 479 с.
7. Дубова, Н. Очерки истории советской вычислительной техники [Текст] / Н.Дубова — СПб. : Питер, 1999. — 22 с.
8. Малиновский, Б. Н. История вычислительной техники в лицах [Текст] / Б. Н. Малиновский — К. : "КИТ", ПТОО "А.С.К.", 1995. — 384 с.
9. Меркулов, В. С. Архітектура ПЕОМ [Текст] : конспект лекцій / В. С. Меркулов, І. Г. Бізюк, О. В. Чаленко. — Харків : УкрДУЗТ, 2015.— 54 с.
10. Морозов, Ю. М. История и методология вычислительной техники [Текст] / Ю.М. Морозов. — СПб., 2012. — 385 с.
11. Компьютерные сети и сетевые технологии [Текст] / М. Спортак и др. — СПб. : ООО"ДиаСофтЮП", 2005. — 720 с.
12. Таненбаум, Э. Архитектура компьютера [Текст] / Э. Таненбаум, Т. Остин. — 6-е изд. — СПб. : Питер, 2013. — 816 с.

