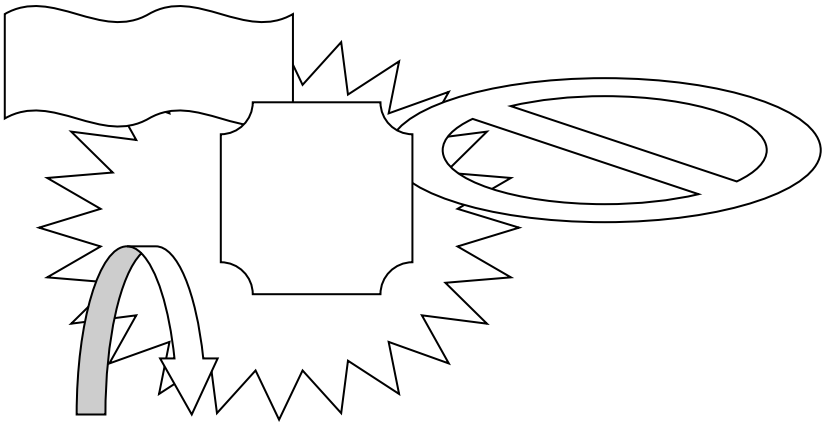
Міністерство освіти і науки України

Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова

С. М. Яшанов, М. С. Яшанов

Технічні засоби реалізації інформаційних процесів

Навчально-методичний посібник



Київ
Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова
2016

УДК 378.091.33-027.22:004(076)
ББК 74.025.3р30я7
Я 96

Друкується за ухвалою Вченої ради
Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова
(протокол №5 від 22 грудня 2016 р.)

Рецензенти: *М. І. Жалдак*, академік АПН України, доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної інформатики НПУ імені М. П. Драгоманова;
О. М. Спірін, член-кореспондент НАПН України, доктор педагогічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України.

Яшанов С. М.
Я 96 Технічні засоби реалізації інформаційних процесів : навчально-методичний посібник / С. М. Яшанов, М. С. Яшанов. – К. : Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2016. – 217 с.

У навчально-методичному посібнику представлено теоретичні матеріали з сучасних інформаційних технологій для студентів усіх спеціальностей університету. Розглянуто методи використання сучасних технічних засобів реалізації інформаційних процесів, зокрема, обчислювальних машин, систем та мереж, які є однією з основ у процесі підготовки фахівців спеціальності "Комп'ютерні технології" практична діяльність яких орієнтована на на роботу з різними інформаційними процесами.

Видання розраховано на студентів та викладачів вищих педагогічних навчальних закладів, інститутів післядипломної педагогічної освіти.

УДК 378.091.33-027.22:004(076)
ББК 74.025.3р30я7

ISBN

© Яшанов С. М., Яшанов М. С., 2016
© Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2016

ВСТУП

Для удосконалення управління народним господарством на різних рівнях необхідно використовувати сучасну технічну базу, що забезпечує автоматизацію процесів збирання, зберігання і обробки інформації. Подальша інтенсифікація виробництва, освіти потребує впровадження нових технологій, що також вимагає широкого застосування комп'ютерів, їх периферійного обладнання та засобів оргтехніки. Тому вивчення технічних засобів реалізації інформаційних процесів, зокрема, обчислювальних машин, систем та мереж, є однією з основ у процесі підготовки фахівців спеціальності "Комп'ютерні технології" практична діяльність яких орієнтована на на роботу з різними інформаційними процесами.

Ефективне вирішення сучасних завдань обробки даних можливе лише за умови знання сучасних технічних засобів, їх функціональних можливостей і техніко-експлуатаційних показників, уміння правильно вибирати і раціонально використовувати пристрої, комплекси, їх системи і мережі.

Засоби обчислювальної техніки, перш за все персональні комп'ютери, які інтенсивно використовуються у різних галузяхосвіти та науки, техніки і економіки, охоплюючи практично всі галузі людської діяльності.

Спектр реалізованих ними функцій надзвичайно широкий і різноманітний: від виконання елементарних обчислень до побудови складних систем обробки даних і управління. До таких систем відносяться автоматизовані систами управління (АСУ) виробничими і технологічними процесами, вимірювальні інформаційні системи і випробувальні комплекси, автоматизовані робочі місця (АРМ) і системи автоматизації проектування (САПР), системи автоматизації наукових досліджень (САНД) та ін. Подальший розвиток цих систем пов'язаний із створенням комплексних інтегрованих автоматизованих систем, наприклад гнучких автоматизованих виробництв.

Обчислювальні та логічні можливості, ефективність роботи і інші показники систем обробки даних значною мірою визначаються досконалістю їх технічної бази - комплексу технічних засобів, що включає у себе комп'ютер і периферійне устаткування, засоби збирання та підготовки даних, засоби передавання даних і оргтехніки. Розробка технічного забезпечення є складним і багатоплановим завданням, що вимагає знань принципів організації і роботи технічних засобів реалізації інформаційних процесів (ТЗРІП), їх можливостей і характеристик, способів спільного застосування, вибору структури і складу з урахуванням проектування процесів збирання та обробки інформації, з прив'язкою до ухвалених рішень з математичного, інформаційного та організаційного забезпечення.

Процес вивчення ТЗРІП варто було б почати з їх загальної та всебічної класифікації. Однак, з огляду на велику різноманітність цих засобів, ми вважаємо за доцільне обмежитись локальними класифікаціями засобів, розділених спочатку лише за однією ознакою – призначенням, де вони розподіляються по класах: технічні засоби збирання, підготовки, передавання, обробки, збереження та відтворення даних, обчислювальні, вимірювальні,

довідкові та інші автоматизовані системи.

У зв'язку з бурхливим розвитком і вдосконаленням конкретних серійно випускаючихся засобів персональних комп’ютерів (материнські плати, відеоадаптери, процесори і т.д.) ці пристрої не розглядаються у даному курсі.

Розділ 1. Основні поняття теорії реалізації інформаційних процесів

1.1. Інформація та інформаційні процеси

Під *інформацією* розумітимемо сукупність змістовних відомостей, нових знань, які можуть бути вироблені, зібрані, передані, збережені і перероблені. Інформація як набір відомостей, знань може існувати у статичній або динамічній формі.

Матеріальними носіями інформації, яка існує у *статичній* формі, є різні символи (зокрема, цифри, букви), записи, зображення і т.п.

Матеріальними носіями інформації, яка існує у *динамічній* формі, є сигнали. Під ними розуміються будь-які фізичні процеси, параметри яких містять інформацію.

Дані - це будь-який набір символів і представлених ними записів, зображень, сигналів як носіїв інформації, що розглядається безвідносно до їх змістовного сенсу.

Інформатика, як фундаментальна наукова дисципліна, займається вивченням, аналізом інформаційних структур і процесів різних матеріальних об'єктів, а як прикладна дисципліна - створенням відповідних засобів - технічних (hardware), алгоритмічних (brainware), програмних (software), що їх реалізують. При цьому структури характеризують статику (матеріальну базу) об'єктів, а процеси - динаміку їх функціонування.

Інформаційний процес - це послідовність дій із збирання, обробки, виділення і використання інформації у процесі функціонування і взаємодії матеріальних об'єктів. Можна виділити важливі різновиди інформаційних процесів, які визначаються видом даних і операціями над ними:

- вимірювально-обчислювальні: вхідними даними є фізичні сигнали або числа, вихідними - числові результати, а основні операції - вимірювальні та обчислювальні;
- логіко-управлінські: дані мають фактографічний (описовий) характер, представляються цілими числами, логічними змінними або символьними текстами, а основними операціями є логічні перетворення та висновки, зокрема, управлінські, засновані на алгоритмічних правилах прийняття рішень;
- лінгвістичні (логіко-лінгвістичні): дані представляються у вигляді мовних конструкцій, а основні операції пов'язані з перекладом, з трансляцією з однієї мови на іншу;
- ітелектуальні: дані замінюються знаннями, а основні операції зводяться до отримання нових знань з наявних.

Основними інформаційними процесами є (рис. 1.1):

Різнорідна інформація
1. Збирання інформації метапошук, агрегуванння новин, колекціюванння даних
інформація
2. Первинна обробка, класифікація, анотування, реферування, форматування
Очищена інформація
Знання
3. Збереження, організація внутрішнього пошуку
4. Аналіз інформації ї отримання нових знань
Інформація
Знання
5. Звіт

Рис. 1.1

- збирання (сприйняття) інформації;
- підготовка (перетворення у потрібний формат) інформації;
- передача (доставка)інформації;
- обробка (перетворення) інформації;
- зберігання інформації;
- відображення (відтворення) інформації.

На етапі *збирання (сприйняття)* інформації здійснюється цілеспрямоване виймання та аналіз інформації про будь-який об'єкт (процес), у результаті чого формується образ об'єкта, проводяться його розпізнавання і оцінювання. Головне завдання на цьому етапі - відокремити корисну інформацію від такої, що заважає (шумів). У ряді випадків, цей процес пов'язаний зі значними труднощами.

Збирання інформації - це дії, що не приводять до зміни змісту, цінності, секретності інформації - вимір, знімання, сприйняття, накопичення, передавання, зберігання, упорядкування і т.д.

На етапі *підготовки* інформації здійснюється її первинне перетворення, проводяться нормалізація, аналого-цифрове перетворення, шифрування. Іноді етап підготовки розглядається як допоміжний на етапі сприйняття. у результаті сприйняття і підготовки отримується сигнал у формі, зручній для передавання, зберігання або обробки.

На етапі *передавання* інформація пересилається з одного місця у інше (від відправника одержувачу - адресату). Передача здійснюється по каналах різної фізичної природи, найпоширенішими з яких є електричні, електромагнітні та оптичні. Отримання корисного сигналу на виході каналу, схильного до дії шумів, носить характер вторинного сприйняття.

На етапах *обробки* інформації виявляються її загальні і суттєві взаємозалежності, що представляють інтерес для системи. Перетворення інформації на етапі обробки (як і на інших етапах) здійснюється або засобами інформаційної техніки, або людиною.

Обробка інформації - це дії, пов'язані зі зміною якісних показників (властивостей) інформації (перетворення, скорочення обсягу, стиснення, розпізнавання, кодування, генерування, захист, виділення корисної інформації, прийняття рішення) і спрямовані на зміну сенсу, цінності, корисності, важливості, секретності, естетичного змісту, отримання нових відомостей з наявних.

На етапі *зберігання* інформацію записують у пристрій, що запам'ятовує її для подальшого використання. Для зберігання інформації використовуються напівпровідникові, магнітні та інші носії.

Етап *відображення* інформації повинен передувати етапам, пов'язаним з участю людини. Мета цього етапу - надати людині потрібну інформацію за допомогою пристроїв, здатних впливати на його органи чуття.

Індустрія реалізації інформаційних процесів - галузь народного господарства, що займається створенням різноманітних засобів збирання і обробки інформації (апаратні, модельні, алгоритмічні та програмні засоби), забезпеченням їх ефективного застосування і технічного обслуговування, а

також наданням різних інформаційні послуг за допомогою цих засобів. Як кожна промислова галузь, вона є комплексною, що об'єднує науку, виробництво і застосування у єдину систему для оснащення народного господарства високопродуктивною і надійною інформаційною технікою, насамперед обчислювальною, програмними засобами до неї, методами обчислень і моделювання. Продукти праці індустрії реалізації інформаційних процесів утворюють різні інформаційні системи і мережі або включаються у них.

Під *інформаційними системами* розуміється сукупність взаємопов'язаних, упорядкованих технічних (апаратних), алгоритмічних, програмних та інших засобів, об'єднаних загальним призначенням, законами і цілями функціонування для вирішення різних наукових і практичних завдань на основі автоматизації процесів збирання, обробки, виділення і використання інформації.

У мережах ці процеси виконуються за допомогою розподілених у просторі елементів. Надалі будемо розглядати технічні засоби, що використовуються автономно або у якості складових елементів інформаційних систем.

1.2. Інформаційна технологія

Технологія - це галузь знань, що займається вивченням, створенням, впровадженням та застосуванням методів, процесів, способів, дій, правил і навичок, які використовуються для отримання будь-якого виду продукції (продукту виробництва) у будь-якій галузі діяльності і сукупність самих методів, способів і т. д.

Інформаційна технологія - це сукупність наукових дисциплін, що займаються вивченням (створенням, впровадженням та застосуванням) методів (способів, дій, процесів, правил, навичок), які використовуються для отримання нових відомостей, знань, для збирання і обробки інформації з метою задоволення інформаційних потреб народного господарства і суспільства у необхідному обсязі і сукупність цих методів, способів, дій і т.д.

Як і будь-яка матеріальна, інформаційна технологія повинна задовольняти сукупності вимог і критеріїв її якості, найважливіші з яких - масовість, максимальне наближення реальних значень характеристик продукту виробництва до гранично можливих.

Технологічний процесс - це послідовність фізичних дій (технологічних операцій), спрямованих на отримання заданої продукції (продукту виробництва). Кожна з них заснована на використанні будь-яких природних процесів (фізичних, хімічних, біологічних та ін.) і людської діяльності.

Під *технологічною операцією*, у загальному випадку, зазвичай розуміють частину технологічного процесу, що виконується над одним або декількома одночасно оброблюваними чи збираючимися об'єктами, на одному робочому місці, одним або групою робітників або, у умовах автоматизованого або автоматичного виробництва, під наглядом робітника або автомата.

Тоді *інформаційну технологічну операцію* можна визначити як функціональну завершену частину інформаційного технологічного процесу,

що виконується над одними і тими ж даними одним або групою засобів і (або) операторів.

Інформаційний технологічний процесс істотно залежить від організації обслуговування користувачів наявними ресурсами, від виду цих ресурсів і оформлення їх у вигляді окремих структурних одиниць. Наприклад, у системах управління і статистики такими структурними одиницями є автоматизовані робочі місця (АРМ), обчислювальні центри (ОЦ) підприємств та їх підрозділів, ОЦ колективного користування.

Засоби реалізації інформаційних технологій можна охарактеризувати як аналог обладнання, тобто верстатів та інструментів.

Всі засоби реалізації інформаційних технологій можна поділити на кілька груп: методичні; інформаційні; математичні; алгоритмічні; технічні;▪ програмне забезпечення.

Розглянемо докладніше цей список.

Методичні засоби реалізації інформаційних технологій визначають вимоги при розробці, впровадженні, експлуатації інформаційних технологій, забезпечуючи інформаційну, програмну і технічну сумісність.

Вони пов'язують реалізацію всіх дій технічних засобів і персоналу у єдиний технологічний процес відповідно до призначення конкретного інформаційного перетворення і включають у себе:

- нормативно-методичні матеріали з підготовки та оформлення різних документів у межах вирішення конкретного завдання;
- інструктивні та нормативні матеріали з експлуатації технічних засобів;
- інструктивні та нормативно-методичні матеріали з організації роботи персоналу у межах конкретної інформаційної технології.

Найважливіша вимога до методичних засобів реалізації - вимога по стандартизації.

Інформаційні засоби реалізації інформаційних технологій забезпечують ефективне відображення предметної галузі, наприклад інформаційні моделі підприємства, різні системи класифікації. Інформаційні засоби являють собою сукупність проектних рішень за обсягами, розміщенням, формам організації інформації, що циркулює у інформаційній системі.

Математичні засоби реалізації інформаційних технологій включають у себе моделі рішення задач, тобто це сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів обробки інформації, що використовуються при вирішенні функціональних завдань.

Алгоритмічні засоби реалізації інформаційних технологій забезпечують реалізацію математичних засобів реалізації.

Комплекс технічних засобів реалізації інформаційних технологій задає рівень реалізації при створенні інформаційних технології - це сукупність інструментів, пристосувань, машин, механізмів та автоматичних пристроїв, за допомогою яких здійснюється власне інформаційне перетворення. Центральне місце серед всіх технічних засобів займає персональний комп'ютер.

Програмне забезпечення інформаційних технологій представляє у цілому складну систему з відносно самостійними принципами і закономірностями функціонування у межах концепції життєвого циклу.

Під життєвим циклом системи програмних засобів зазвичай розуміють повторюваний і структурно однаковий інтервал протягом усього часу її існування, що починається з моменту створення початкової концепції системи і закінчується тоді, коли система морально старіє.

На сьогодні, головною тенденцією є масовий перехід до застосування на кожному робочому місці, пов'язаному зі збиранням і обробкою даних, персональних комп'ютерів, які включаються у відповідну інформаційну систему або мережу і автоматизують окремі технологічні операції і їх групи.

У літературі часто пишуть про нові інформаційні технології, які використовуються при вирішенні різних завдань. При цьому новизну найчастіше пояснюють комп'ютеризацією, автоматизацією технології вирішення конкретних завдань на основі використання сучасних засобів обчислювальної, вимірювальної і організаційної техніки.

Але потрібно пам'ятати, що новизна будь-якої технології, і особливо інформаційної, визначається не стільки новизною апаратного забезпечення, що використовується для її автоматизації технічних засобів, скільки якісно новими технологічними прийомами, які вдається впровадити із застосуванням цих засобів. Цей посил ілюструється відповіддю на питання, наскільки якість літературного твору, телевізійної передачі, фотографії, що включає не тільки естетичні, але, перш за все смислові та інші критерії, залежить від якості паперу і оргтехніки, теле- і фотоапаратури, тобто технічних засобів, що використовуються для їх створення і сприйняття.

Так, наприклад, у багатьох задачах дослідження, проектування та управління новизна пов'язана з тим, наскільки вдало для вирішення поставлених завдань вдається застосувати (знайти і використати) адекватну розв'язуваної задачі тріаду виду: "Математична або логічна модель → алгоритм → програма", або "наявні знання → правила висновків (обчислень) → нові знання, рішення, проекти ", або їх комбінації. Однак зрозуміло, що реалізація тих чи інших нововведень залежить від того, наскільки використовувані технічні засоби дозволяють це робити і наскільки вони стимулюють пошуки дійсно нових технологій.

У цьому сенсі технічні засоби реалізації інформаційних процесів - це сукупність систем, машин, приладів, механізмів, пристроїв та іншого обладнання, призначені для автоматизації різних технологічних процесів інформатики, причому таких, вихідним продуктом яких є саме інформація (відомості, знання) або дані, які використовуються для задоволення інформаційних потреб у різних галузях предметної діяльності суспільства.

Технічні засоби збирання та обробки інформації - це група засобів, що застосовуються для виконання і автоматизації інформаційних технологічних процесів, тобто тільки для збирання, обробки даних, витягу і використання інформації. Тут беруться до уваги лише засоби, які виконують функції самостійних одиниць, що реалізують окремі локальні технологічні процеси

або великі комплекси операцій у них. Блоки, функціональні вузли і елементна база розглядаються лише у тій мірі, у якій вони необхідні як складові компоненти цих самостійних одиниць.

Автоматичні і автоматизовані інформаційні системи повинні здійснювати і автоматизувати більш широкий клас - технологічних процесів вирішення конкретних наукових і практичних завдань, що виникають у різних галузях науки і народного господарства і містять складовою частиною відповідний інформаційний технологічний процес. Хоча автоматизовані інформаційні системи і функціонують за участю людини, їх вважають технічними засобами реалізації інформаційних процесів, як штучні, тобто не створені природою, апаратні, алгоритмічні, програмні та інші їх компоненти. Людина (оператор або особа, яка приймає рішення) розглядається лише як інтелектуальний засіб виконання окремих технологічних операцій.

1.3. Структурний аналіз технічних засобів реалізації інформаційних процесів

Сучасні технічні засоби реалізації інформаційних процесів та інформаційні системи на їх основі характеризуються такими властивостями:

- складаються з великого числа взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів, причому не обов'язково однакової фізичної природи, об'єднаних спільністю цілей і завдань функціонування у складі системи;
- відрізняються складністю процесів руху інформації і поведінки. Це обумовлено великим числом взаємозалежних функцій, реалізованих технічними засобами і системами, випадковим характером зовнішніх впливів, необхідністю функціонування у умовах апріорної невизначеності і мінливих обставин;
- завдання вибору найкращого варіанту організації структури і функціонування засобів системи з точки зору здатності пристосовуватися до мінливих, не цілком певних зовнішніх умов і досягнення потенційної ефективності у конкретних умовах.

Наявність цих властивостей означає, що сучасні технічні засоби, необхідно розглядати як великі, складні системи, а досліджувати, проектувати і використовувати їх тільки з позицій системного підходу, який являє собою методологічну концепцію, засновану на прагненні побудувати цілісну картину даного об'єкту як єдиного організму з урахуванням всіх важливих для даного дослідження внутрішніх зв'язків між складовими його елементами і зовнішніх зв'язків з іншими об'єктами.

Характерні риси системного підходу:

- досліджуваний об'єкт розглядається як система, опис і дослідження окремих елементів якої не виступає як самоціль, а виконується з урахуванням їх місця у цілому;
- дослідження об'єкта не відділяється від дослідження умов його існування, функціонування. Об'єкт сам розглядається як частина якогось цілого;

- один і той же досліджуваний елемент розглядається як такий, що володіє різними характеристиками, параметрами, функціями і навіть принципами побудови;
- на перше місце виступають не тільки причинні пояснення функціонування об'єкта, а й доцільність включення до його складу окремих елементів;
- допускається можливість самоорганізації досліджуваного об'єкта, тобто наявності у нього певної кількості індивідуальних характеристик і ступенів свободи;
- виявлення цілей і визначення підлягають вирішенню проблем, що проводиться на підставі аналізу загальної мети, виходячи із загальної ідеї рішення задачі, коли альтернативи порівнюються, у першу чергу, за критерієм вартість - ефективність.

Розробка технічних проектів різних систем, комплексів, апаратних і програмних засобів починається з вивчення його структури.

Структура матеріального об'єкта (системи) є сукупність частин (елементів) об'єкта і стійких зв'язків між ними, що беруть участь у інформаційному процесі і забезпечують інформаційну цілісність і тотожність об'єкта самому собі, тобто збереження його основних властивостей при різних зовнішніх і внутрішніх змінах.

Виділення інформаційних структур є важливим компонентом, що додається до технічних, біологічних і соціальних об'єктів, які беруть участь у інформаційних процесах. У таких об'єктах можна виділити три типи структур: фізичну (архітектурну), організаційну та інформаційну. У найпростіших випадках ці структури можуть збігатися.

Фізична структура відображає статику об'єкта, його будову з точки зору фізичних елементів (частин), що відрізняють даний об'єкт від інших матеріальних об'єктів.

Організаційна структура відображає взаємодію, ієрархію, багаторівневість частин об'єкта, перш за все їх вертикальні зв'язки.

Інформаційна структура - це будова об'єкта з точки зору динаміки руху інформації з урахуванням як вертикальних, так і горизонтальних зв'язків частин об'єкта.

Набір елементів, з яких будується структура інформаційної системи, називається структурним базисом. Залежність станів виходів елемента інформаційної системи від станів його входів є законом її функціонування.

Кожному структурному базису відповідає свій набір функцій, що називається *функціональним базисом*.

Кожній структурі властиві свої функції, утворені на основі її функціонального базису. Системи з однаковими структурами можуть мати різні функції, а системи з однаковими функціями - різні структури. Тому функціональний базис структури, призначення кожного окремого елемента структури інформаційної системи дуже важливе.

Його роль визначається наступним теоретичним положенням структурно-функціонального опису системи: система - це структура, вершини

якої поставлені у відповідність функції, а ребрам - базисні множини, на яких ці функції визначені.

Дослідження інформаційної системи передбачає вирішення проблем (або задач) її аналізу та (або) синтезу.

- *Завдання аналізу* (пряме). Відомі структура, функціональний базис і характеристики елементів інформаційної системи. Необхідно визначити функції системи як цілого, її основні характеристики (показники, параметри) і їх залежність від різних внутрішніх і зовнішніх факторів, включаючи варіації структури і характеристик елементів, оцінити ступінь відповідності системи своєму призначенню і її ефективність за деякою сукупністю показників.
- *Завдання синтезу*. Визначено призначення інформаційної системи, її функції, основні характеристики. Необхідно, маючи або задаючи структурний і функціональний базиси, вибрати її структуру, тобто перелік елементів і їх зв'язків у часі і у просторі, включаючи усі ієрархічні рівні, склад і послідовність реалізованих ними функцій. Як правило, рішення задачі синтезу повинно носити різноманітний характер, коли одержувані при синтезі варіанти вирішення піддаються всебічному аналізу і, у разі необхідності, здійснюється коригування до того часу, поки не буде знайдений остаточний варіант системи, що задовольняє всім заданим вимогам, або прийнятний, найкращий з усіх розглянутих.

Розділ 2. Технічні засоби збирання та підготовки інформації

Збирання інформації - це процес отримання інформації із зовнішнього світу і приведення її до вигляду, стандартного для даної інформаційної системи. З зовнішнього світу інформація надходить у вигляді сигналів (це може бути звук, світло, електричний струм, магнітне поле і т.п.). Незалежно від природи сигналу типовий процес обробки сигналу може бути охарактеризований наступними кроками:

- на першому кроці вихідний сигнал за допомогою спеціального пристрою (датчика) перетворюється у еквівалентну їй електричний сигнал (електричний струм);
- на другому - вторинний (електричний сигнал) оцифровується спеціальним пристроєм - аналого-цифровим перетворювачем (АЦП).

Датчик + АЦП складають цифровий вимірювальний прилад (ЦВП). Якщо цей прилад оснастити деяким пристроєм для зберігання вимірюваної величини - регістром, то на наступному кроці по команді від комп’ютера можна ввести це число у машину і піддавати потім будь-якій необхідній обробці.

Звичайно, не всі технічні засоби збирання інформації працюють за описаною схемою. Наприклад, клавіатура, не має АЦП. Тут первинний сигнал (натискання клавіші) безпосередньо перетворюється у відповідний цифровий код. Загальним для всіх пристроїв введення є те, що інформація, яка вводиться у комп’ютер повинна бути представлена у вигляді двійкового числа.

Сучасні системи збирання інформації (наприклад, у складі АСУ -

автоматизованих систем управління) можуть включати у себе тисячі цифрових вимірювальних приладів і всіляких пристроїв введення інформації (від людини до комп'ютера, від комп'ютера до комп'ютера і т.п.). Це призводить до необхідності управління процесом збирання інформації і до розробки відповідного програмного і апаратного забезпечення.

Розвинена система збирання інформації являє собою сукупність цих засобів, і є складним програмно-апаратним комплексом, що включає у себе:

1) технічні засоби введення інформації у комп'ютер;

2) програми, які керують усім комплексом технічних засобів;

3) програми-драйвери цих технічних засобів.

2.1. Джерела інформації

Перш ніж переходити до розгляду засобів збирання інформації, необхідно з'ясувати джерела, що її породжують. Їх можна умовно розбити на дві групи: власне джерела інформації та джерела даних або самі дані, сигнали. Перші з них є активними, а другі - пасивними джерелами інформації.

Активні джерела самі породжують інформацію. Це біологічні істоти (наприклад, людина), для яких вироблення інформації є об'єктивно необхідним. Вони обмінюються нею у процесі спілкування.

Пасивні джерела не виробляють інформацію, а залишають дані (як звір - сліди, зірка - випромінювання), які при осмисленні їх (мисливцем, астрофізиком) дають інформацію, дозволяють отримувати її шляхом взаємодії з ними спеціальних засобів вироблення (сприйняття), обробки та інтерпретації даних, сигналів. Це різні об'єкти, явища і процеси матеріального світу, а також дані (масиви чисел, фізичних величин, тексти, картини, малюнки) і фізичні сигнали, що відображають різні форми існування матерії і передаються від об'єкта до об'єкта.

Як засоби отримання кількісних даних від пасивних джерел використовуються, наприклад, засоби вимірювальної техніки - технічні засоби, що мають нормовані метрологічні характеристики.

Датчик - засіб вимірювання, призначений для створення сигналу вимірюваної інформації у формі, зручній для передавання, подальшого перетворення, обробки і зберігання, що не піддається безпосередньому сприйняттю і інтерпретації людиною. Датчик сам по собі може розглядатися як пасивне джерело інформації для засобів, що здійснюють її обробку.

Отримання інформації - це фізичний процес, що завжди розвивається у часі, а іноді і у просторі, тобто описується математично функцією часу і координат простору. У безперервних джерелах інформація отримується постійно, а у дискретних - у фіксовані моменти часу.

В межах даної дисципліни будемо припускати, що джерела інформації є пасивними, тобто фактично відносяться до джерел даних.

2.2. Засоби отримання (збирання) і реєстрації даних

Функціонування будь-якої ІС починається з отримання даних від джерел інформації, причому характер цих даних визначається призначенням

системи. Наприклад, у системах обробки економічної інформації необхідна первинна інформація повинна відображати стан і параметри технічних і технологічних процесів, містити кількісні, трудові і вартісні показники виробничих процесів. Вона і є для таких систем основним предметом збирання, основою для отримання на наступних етапах зведеної техніко-економічної інформації, яка визначає господарську діяльність підприємства і його підрозділів.

Виробничі, економічні, статистичні та інші дані і показники надходять, як правило, з робочих місць. Застосування засобів збирання і реєстрації інформації дозволяє отримати у формі, придатній для обробки на комп'ютерах, заповнений первинний документ встановленої форми та змісту (наряд, акт, кошторис, відомість та ін.), що відображає певний вид діяльності.

Для виконання технологічних процесів збирання та реєстрації даних використовується спеціальна група технічних засобів для оперативного формування вихідних даних, що визначають кількісні (кількість виготовленої продукції, її вартість), часові (час виготовлення деталі, агрегату, час простою обладнання) та якісні (стан обладнання, якість виготовленої продукції) характеристики виробничих процесів. За функціями і призначенням пристрої цієї групи можна розділити на засоби знімання даних, засоби збирання та реєстрації для оперативного контролю та управління на виробництві та засоби збирання, реєстрації та попередньої обробки інформації.

Під *збиранням* розуміється отримання даних (вимір, знімання, сприйняття) будь-якими пристроями від джерел інформації, а під *реєстрацією* - занесення отриманих даних на документ або машинний носій, їх представлення у необхідному для людини або машини вигляді.

Підсистема збирання, перетворення і введення даних є основною з'єднувальною ланкою між навколишнім середовищем і численними користувачами. Збирання даних може здійснюватися механічним способом (вимірювальним пристроєм, що перетворює фізичні величини у електричні, щупом, самописним приладом, що реєструє імпульсні сигнали, і т. д.) і людиною (шляхом спостереження певного явища, сприйняття акустичного і світлового сигналу, зняття показань лічильника і т. д.). Механічна реєстрація даних полягає у тому, що джерело інформації, тобто «подія» або «явище», виявляється у вигляді зміни деякого фізичного стану, і цей новий стан реєструється механічним способом. Спостереження, здійснюване людиною, із наступним відновленням результатів по пам'яті, називають «записом». Фактично мова йде про те, що людина фіксує інформацію, яка у певний момент закарбувалася у його пам'яті, і клітини його мозку з фіксованою інформацією по суті справи відіграють роль проміжного передавального документа.

При механізованому обліку час спрацьовування датчика і ступінь достовірності одержуваної інформації постійні і заздалегідь відомі. При спостереженні, яке здійснюється людиною, вноситься невизначеність, і час спрацьовування не може бути відомим з достатньою точністю. Зате у другому випадку відкриваються набагато більш широкі можливості, тому що

людина, володіючи здатністю до інтерпретації (деякою мірою ця здатність негативно впливає на точність інформації), може брати до уваги такі факти, що не фіксуються механічним способом. Акт збирання даних фактично складається з двох доповнюючих одна одну операцій: реєстрації і передачі. Основною операцією є реєстрація даних, і у більшості випадків її введення у автоматизовану інформаційну систему невіддільне від реєстрації.

Підсумком процесу збирання даних є забезпечення їхньої готовності до подальшого руху у системі й представлення їх у найрізноманітніших формах (кодовані сигнали, друкований текст і т. д.).

2.2.1. Засоби знімання даних.

Ці відносно нескладні механізми і пристосування застосовуються для організації і виконання первинного обліку, тобто для отримання необхідних відомостей про хід виробничого процесу. До них відносяться:

- датчики - виробляють сигнали, що характеризують виробництво продукції (датчики одиничних сигналів, наприклад, які фіксують вихід деталі з верстата), час роботи і простоїв устаткування;
- годинники - групові (для установки єдиного часу на підприємстві, у установі), табельні (для реєстрації часу приходу і відходу співробітників), отметочная (для визначення часу виготовлення деталі, виконання операції і т.п.), сигнальні та інші - дозволяють отримувати і фіксувати різні часові характеристики і показники;
- контрольно-вимірювальні і самописні прилади - забезпечують вимірювання і реєстрацію параметрів технологічних процесів, забезпечують визначення якості продукції;
- лічильники - працюють спільно з іншими засобами знімання даних, перш за все з датчиками, здійснюють рахунок, накопичення і візуальне відображення результатів (кількість виготовленої продукції, загальний час роботи обладнання, його простоїв).

У ряді автоматизованих інформаційних систем (вимірювальних, автоматизації наукових досліджень, управління технологічними процесами) використовуються також засоби безпосереднього введення інформації від джерел, що включають у себе аналого-цифрові та інші перетворювачі, блоки сполучення з комп’ютером.

Як уже відзначалося вище, формою представлення даних є сигнал, який виробляється датчиком при кожній зміні стану процесу стосовно деякого вихідного стану. Найбільш широко на практиці використовуються датчики з одним або двома стійкими станами.

У основу їхніх конструкцій можуть бути покладені різні принципи, у залежності від яких розрізняють наступні моделі (типи) датчиків: механічні, електромеханічні, оптичні, акустичні, випромінюючі та інші.

Контактні і ємнісні датчики

Розглянемо спочатку такі типи датчиків, зона дії яких не перевищує декількох сантиметрів. До них відносяться контактні і механічні датчики, що видають тільки двійкову інформацію про наявність або відсутність об'єкта.

Типовим представником цієї групи датчиків може служити кінцевий вимикач, що має область дії біля 0,05 мм. Така висока чутливість дозволяє використовувати його у системах, що забезпечують безпечне блокування. З їхньою допомогою виготовляються, наприклад, пристрої для запобігання зіткнень на деяких типах рухомих роботів.

Інший тип датчиків ґрунтується на ефекті Холла, що полягає у появі електричного поля, перпендикулярного до провідника зі струмом, який знаходиться у магнітному полі. Під дією невеликого постійного магніту у момент контакту відбувається замикання (або розмикання) електричного ланцюга у датчику Холла. Для приведення у дію обох типів датчиків треба прикласти механічне зусилля, для чого потрібен фізичний контакт між датчиком і досліджуваним предметом.

Один із варіантів безконтактних датчиків для виявлення металевих предметів ґрунтується на використанні струмів Фуко. Принцип його дії полягає у генеруванні електромагнітного поля коливальним контуром при подачі на нього електричної напруги і визначенні збурень цього поля струмами Фуко, наведеними у металевому предметі. Виміри зовнішнього поля відбивають форму зовнішньої поверхні металевого об'єкта за умови, що його розміри досить великі у порівнянні з розмірами самого датчика.

Такого типу датчики можуть застосовуватися для виявлення тріщин у металі, для дослідження якості зварних швів і т. п.

Широке застосування у багатьох галузях знайшли ємнісні датчики, за допомогою яких можна виявити об'єкт за зміною ємності між електродом датчика й об'єктом. За інших рівних умов ємність змінюється зі зміною відстані між електродом і об'єктом. Звичайно відстань *d* дуже невелика. Вона може бути обчислена за формулою, що зв'язує площу і ємність:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d},$$

де S — площа електрода; ε — діелектрична стала. Використання різницевої схеми (рис. 2.1) підвищує точність вимірів. Сигнал на виході операційного підсилювача пропорційний різниці між опорною ($C_{оп}$) і вимірюваною ($C_{вим}$) ємностями. Чутливість такого датчика має величину порядку 100 В/пф, а область дії — від 10 до 15 мм.

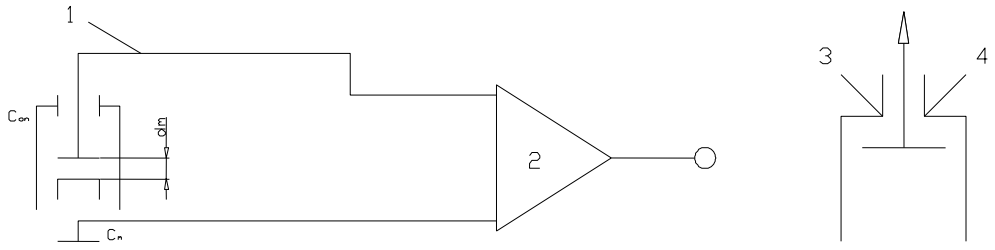


Рис. 2.1. Різницева схема з ємнісним датчиком: 1 — еталонний електрод; 2 — операційний підсилювач; 3 — кожух; 4 — провідник

Область дії датчиків може бути збільшена за допомогою об'єднання одиничних датчиків у вигляді решітки (матриці) (рис. 2.2) і мати порядок

декількох сантиметрів. їх суттєвою вадою є висока чутливість до вологості середовища, яка змінює значення діелектричної сталої міжелектродного простору.

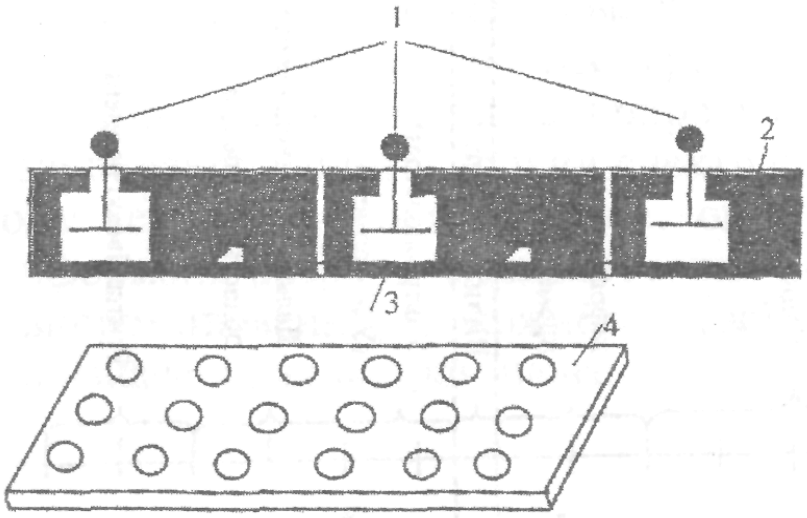


Рис. 2.2. Матриця із ємнісних датчиків: 1 — електроди; 2 — ізолятор; 3 — провідний шар; 4 — елементарний датчик

Оптичні датчики

Фізичну основу штучних джерел випромінювання становить процес випромінювання електромагнітних коливань речовиною, атоми якої, отримавши ззовні деяку кількість енергії, переходять із високих енергетичних рівнів на більш низькі, віддаючи при цьому частину отриманої енергії у вигляді світла. Методи збудження атомів речовини можуть бути різними. Один із найбільш широко вживаних методів — шляхом підведення теплової енергії. Теплове випромінювання твердих і рідких тіл має неперервний спектр завдяки численним взаємним зіткненням молекул нагрітого тіла. Довжини світлових хвиль обумовлені різницею енергетичних рівнів, звідси неперервність процесу зменшення привнесеної енергії обумовлює неперервність зміни довжини хвилі випромінюваного світла. Для генерування, наприклад, видимого або інфрачервоного світла звичайно використовуються тверді або рідкі речовини (наприклад, розплавлений метал), які нагріваються електричним струмом (ефект Джоуля-Ленца). Наприклад, джерелом світла може служити розжарена вольфрамова нитка, поміщена у балон з інертним газом (ксенон, криптон і т. п.). Якщо балон або його частина виготовлені з кварцевого скла, що пропускає інфрачервоні промені, то такий прилад служить джерелом інфрачервоного випромінювання.

Інший тип джерел світла ґрунтується на принципі розжарювання чи то сплаву оксидів, чи циліндра з карбіду кремнію. Використовуються й інші види енергії для збудження джерела, зокрема електричний розряд у газі або парах речовини. Характерним прикладом служить ртутна лампа. Основу її складає капілярна трубка з парами ртуті довжиною біля 1 см, яка поміщена

між двома вольфрамовими електродами і знаходиться усередині товстостінної кварцової колби. Інший приклад лампи, що служить джерелом інфрачервоних променів, — дугова лампа, наповнена парами цезію.

Квантові випромінювачі.

До джерел електромагнітного випромінювання відносяться широко розповсюджені рентгенівські трубки, у яких випромінювання виникає у результаті бомбардування електронами якогось матеріалу (найбільший ефект має місце при використанні металів). Довжини хвиль рентгенівського випромінювання лежать у межах від 0,1 $\overset{0}{A}$ до 2 $\overset{0}{A}$. Джерело являє собою рентгенівську трубку, схема якої показана на рис. 2.3.

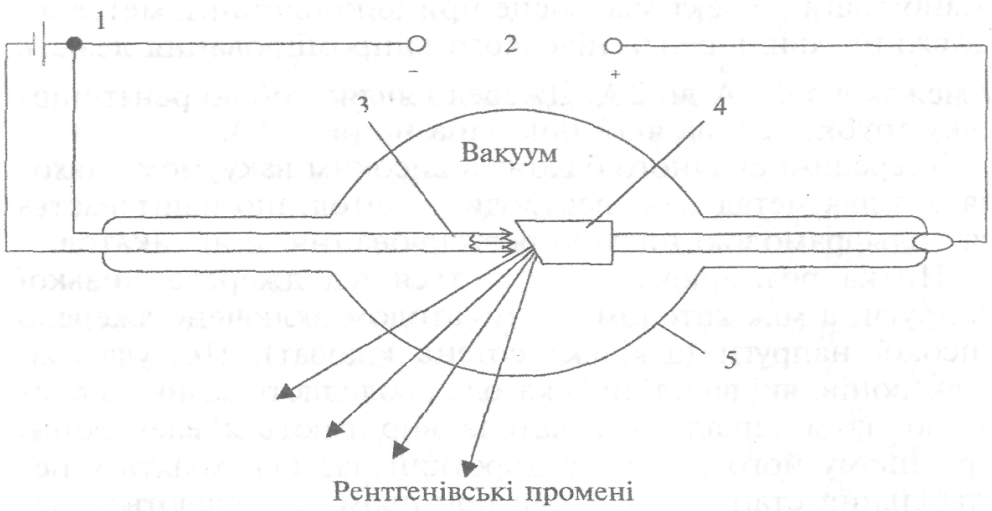


Рис. 2.3. Схема рентгенівської трубки:1 - джерело живлення нитки розжарювання (низька напруга); 2 - джерело високої напруги (кВ); 3 - катод;4 - антикатод; 5 – колба

Усередині скляного балона з високим вакуумом знаходяться два металевих електроди — катод, що підігрівається вольфрамовою ниткою розжарювання, й антикатод.

Нитка розжарювання живиться від джерела низької напруги, а між катодом і антикатодом включене джерело високої напруги (декілька сотень кіловат). Під ударами електронів, які вилетіли із катода і володіють великою енергією, із матеріалу антикатода вириваються електрони, при цьому його атоми на короткий час переходять у нестабільний стан, а дірки, що при цьому утворюються, заповнюються електронами, що знаходяться на більш низьких енергетичних рівнях.

Інтенсивність рентгенівського випромінювання, що при цьому виникає, залежить від різниці між значеннями енергії на вихідному і кінцевому рівнях. Ця різниця безпосередньо визначає довжину хвилі λ, яка для будь-якого матеріалу обернено пропорційна енергії падаючих електронів, котра залежить від різниці потенціалів ΔU, прикладених до катода й антикатода. Якщо ΔU виражена у вольтах, то $\lambda = \frac{12300}{\Delta U}$.

На рис. 2.4 зображено спектр рентгенівського випромінювання. Як

бачимо, він складається з двох частин — лінійчастої і неперервної. Остання відображає процес гальмування первинних електронів ядрами матеріалу, із якого виготовлений антикатод. Довжина хвилі залежить від обраного матеріалу і від величини прискорюючої напруги, у процесі роботи її можна регулювати. Нагрівання нитки катода визначає щільність потоку первинних електронів, від якого залежить, у свою чергу, щільність рентгенівського випромінювання.

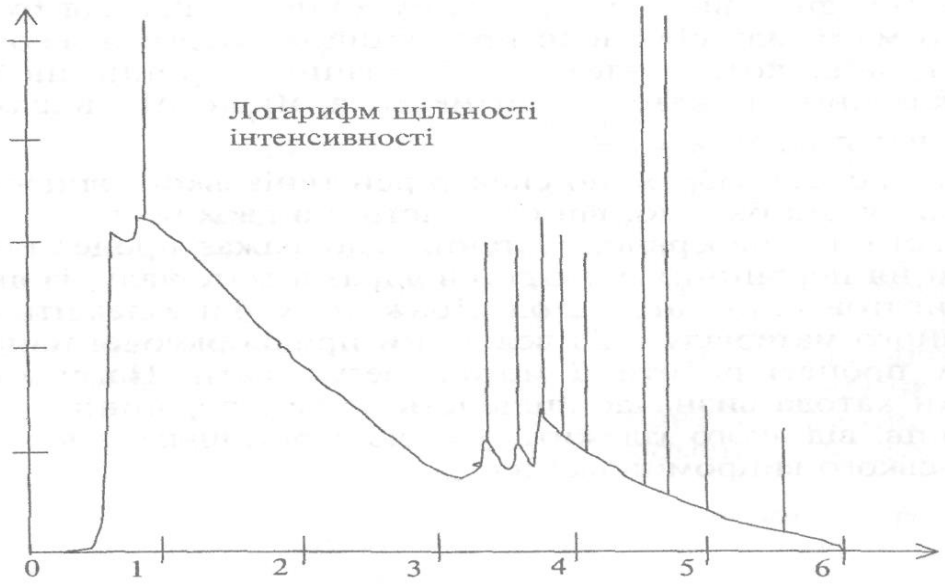


Рис. 2.4. Спектр рентгенівського випромінювання

Головною перевагою рентгенівських променів є спроможність проникати крізь тіла, непрозорі для видимого світла. Проходячи крізь матеріал, промені поглинаються згідно з експоненціальним законом. Для монохроматичного випромінювання щільність пучка I на виході тіла товщиною *x* (або на глибині *x)* буде:

$I = I_0 \exp(-\mu x)$

де I_0 — щільність випромінювання, що падає на дане тіло; μ — коефіцієнт поглинання матеріалу.

Опрацювання даних, поданих рентгенівськими зображеннями, має дуже широке застосування; Мова йде про застосування у медицині, рентгенодефектоскопії для контролю різних непрозорих об'єктів: зварних швів, великих заготовок і виробів, корпусів підводних човнів, конструктивних елементів літальних апаратів (особливо тих, що мають щільникову структуру) і багатьох інших.

Штучні приймачі оптичного випромінювання можуть бути виконані у різних конструктивних варіантах. Це, у першу чергу, одиничні елементи (осередки). Крім того, при необхідності осередки розташовують або у лінію, або у вигляді мозаїки. Можливі різні фізичні принципи, що лежать у основі роботи приймачів. Фотодетектори виявляють електромагнітну енергію

окремими квантами, реагуючи на кожний із них (тому їх називають квантовими детекторами). Інший тип детекторів — термодетектори — реагують підвищенням температури внаслідок поглинання падаючої на них енергії. Як і будь-який інший, оптичний датчик характеризується значенням чутливості *F*, що визначається як відношення вхідної потужності випромінювання P до вихідного сигналу *S* (звичайно вихідний сигнал — електричний):

$$F = \frac{S}{P}$$

Оскільки у багатьох випадках вихідний сигнал супроводжується шумами, то звичайно прагнуть не тільки до збільшення рівня вихідного сигналу, скільки до оптимізації відношення сигнал/шум. Введемо поняття еквівалентної потужності шуму як відношення величини шуму у до чутливості *F*.

$$P_B = \frac{B}{F}$$

Величину, обернену $P_в$, назвемо виявною здатністю датчика:

$$D = \frac{1}{P_B} = \frac{F}{B}$$

Ця величина залежить від спектрального складу випромінювання, геометричних розмірів, температури і характеристик системи опрацювання даних. Існує широка розмаїтість оптичних детекторів із різною виявною здатністю, які застосовуються у різних умовах. Розглянемо коротко фізичні принципи роботи їх основних типів.

Термодетектори.

Принцип роботи термодетекторів полягає у поглинанні тієї частини енергії, що потрапляє на нього і перетворюється у ньому у теплову енергію. При цьому, природно, температура детектора підвищується. Звичайно це нагрівання незначне, однак достатнє для того, щоб змінити деякі характеристики термодетектора. Зокрема, помітна зміна відбувається з розмірами матеріалу, що при нагріванні розширюється.

На рис. 2.5 наведено схему термодатчика, що ґрунтується на вимірюванні деформації мембрани, яка нагрівається, оптичним або електричним способом. У останньому випадку вимірюваною величиною є значення ємності конденсатора, обкладками якого слугують згадана мембрана і допоміжний електрод. Підвищення температури можна використати для одержання термо-ЕРС, якщо направити випромінювання на термопару, де у одній точці зварено два різнорідних матеріали, підібраних так, щоб їхній контакт забезпечував найбільше з можливих значень різниці потенціалів. Головне достоїнство даного приладу полягає у незалежності його чутливості від довжини хвилі випромінювання, а також у можливості роботи у широкому діапазоні температур.

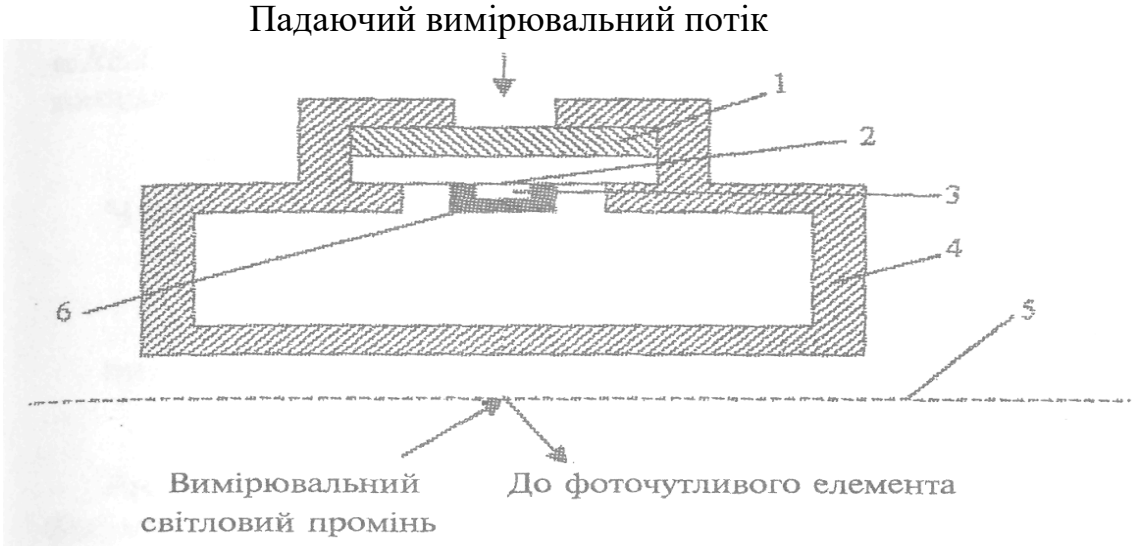


Рис. 2.5. Клітинка Голея.
1 — вікно, прозоре для інфрачервоних променів; 2 — зачорнена мембрана; 3 — замкнутий об'єм; 4 — скляний корпус; 5 — решітка; 6 — відображуюча мембрана

На рис. 2.6 подана схема детектора Шварца, у основі якого лежить принцип диференціальної термопари. У вакуумному балоні розміщені дві термопари, що знаходяться у однакових умовах, за винятком того, що вимірюване випромінювання потрапляє тільки на одну з них. У результаті на вихідних клемах приладу виникає термо-ЕРС.

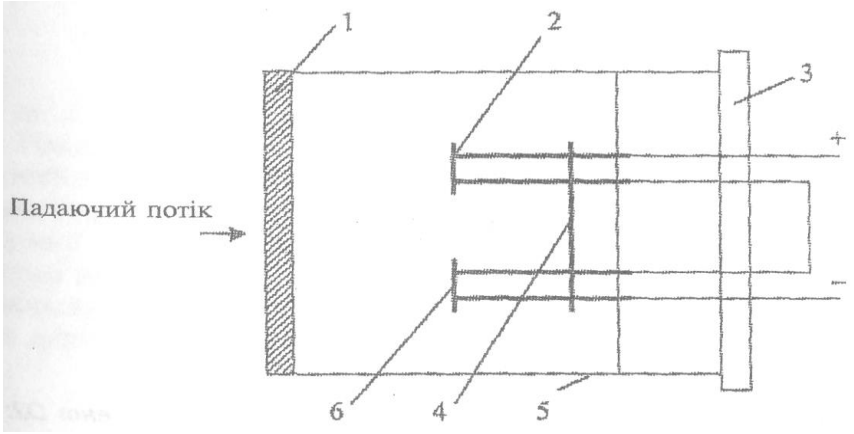
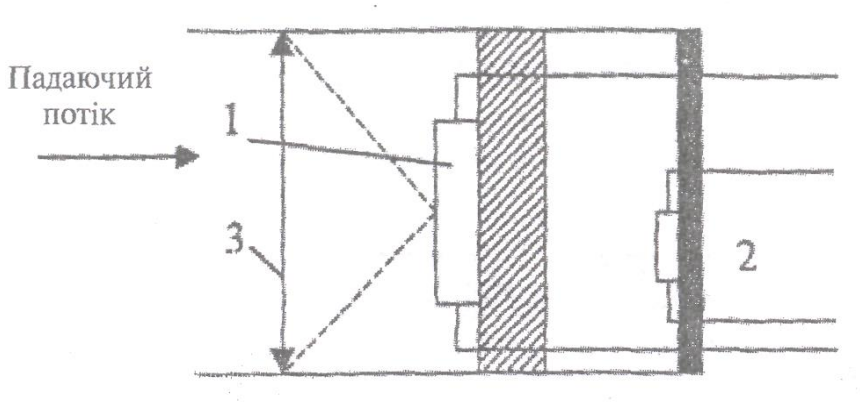
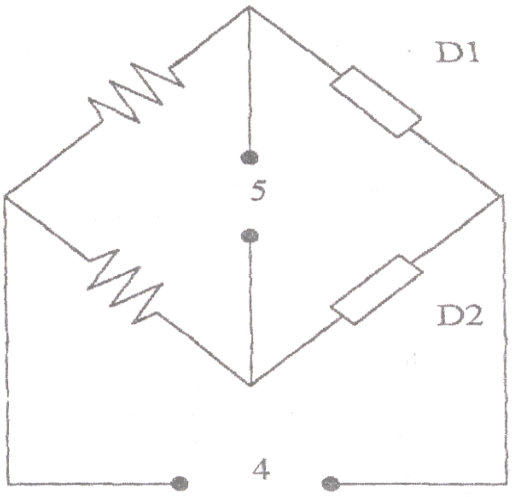


Рис. 2.6. Термодетектор Шварца. 1- вікно, що пропускає інфрачервоні промені; 2 - термопара; 3 -цоколь; 4 - слюдяний екран; 5 - корпус; 6 - мембрана

На рис. 2.7 показано принцип дії (а) і схема вмикання (б) болометра — приладу, що ґрунтується на ефекті зміни опору матеріалу, який поглинає теплову енергію. Діапазон його чутливості простягається аж до міліметрових хвиль. Чутливий і компенсуючий елементи болометра включаються до складу плечей мостової схеми (рис. 2.7 б).



а)



б)

Рис. 2.7. Схема болометра. 1 - чутливий елемент D1; 2 - компенсуючий елемент D2; 3 - фокусуючий об'єкт; 4 - джерело живлення; 5 - вимірювальний пристрій

Визначимо, наприклад, приведену виявну здатність такого датчика. Для оцінювання значення електричного опору через датчик необхідно пропустити електричний струм, що є туг джерелом перешкод внаслідок ефекту Джоуля. Нехай *R* — опір, I— сила струму, ΔT— перепад температур. Тоді тепловий імпеданс *Zтерм* буде:

$$Z_{\text{терм}} = \frac{\Delta T}{R_s^2}.$$

При малих перепадах температур збільшення опору прямо пропорційне збільшенню температури: ΔR = αRΔT, де α — температурний коефіцієнт опору. Застосувавши закон Ома, одержимо:

$\Delta U = i$ $\Delta R = \alpha Ri\Delta T$

Чутливість даного типу датчика

$$F = \frac{\Delta U}{P} = \frac{\alpha Ri\Delta T}{P}$$

виразивши її через величину термоопору, маємо:

$F = \alpha Ri Z_{терм}\Delta T$

Вважаючи, що шуми мають теплову природу, згідно з формулою Джонсона маємо:

$B^2 = 4kTR\Delta f$,

де k — стала Больцмана, а Δf— ширина смуги частот. Тоді приведена виявна здатність D* буде:

$$D = \frac{F}{B\sqrt{A\Delta f}} = \frac{a}{z}\sqrt{\backslash Zmepm}\backslash\sqrt{\Delta T/(kT)},$$

де *A* — площа контактів термоапарата.

Розмірність D* виражається у см*$Вт^{-1}$ ·$Гц^{1/2}$, а числові значення для датчиків інфрачервоних променів на основі термопари лежать у межах 3*108. Так, для болометра зі смужки платини з параметрами *A* = 1,5 $мм^2$ і *R* — 30 Ом маємо величину D*= 1,4-108. На рис. 2.8. показана залежність D* від частоти інфрачервоного випромінювання для декількох типів датчиків.

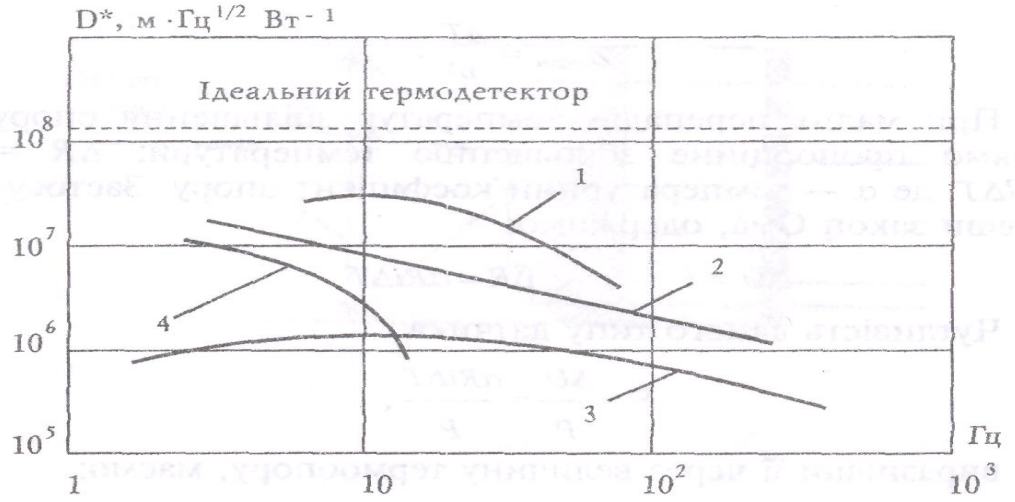


Рис. 2.8. Виявна здатність приймачів інфрачервоного випромінювання
1 - клітинка Голея; 2 - піроелектричний; 3 - термістерний; 4 - термоелемент

Квантові детектори.

Широке застосування у апаратурі, яка використовується для розпізнавання зорових образів, знайшли квантові детектори, принцип дії яких ґрунтується на фотоефекті. Світло потрапляє на фоточутливу поверхню фотоелемента (фотокатод) (рис. 2.9), перед яким розміщений позитивно заряджений електрод (анод). Електрони, що випромінюються фотокатодом під дією фотонів світла, збираються на аноді, створюючи фотострум *Іф* у зовнішньому ланцюзі, а вихідний сигнал змінюється з включеного у цей ланцюг навантажувального регістра *RH.*

Величина струму у ланцюзі фотоелемента досить мала, тому прагнуть підсилити його різними способами.

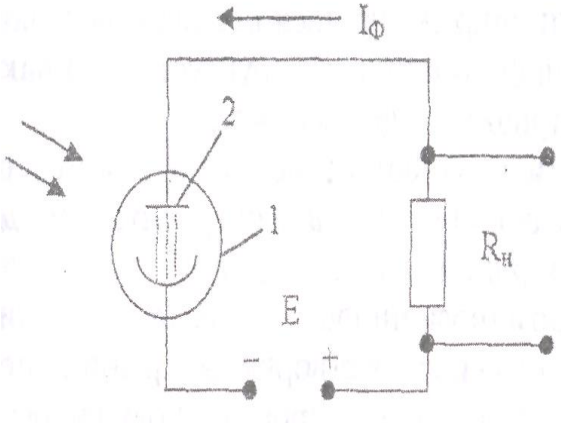
На рис. 2.9 б показана схема багатокаскадного фотоелектронного помножувача (ФЕП), що складається з фотокатода, анода і ряду катодів вторинних електронів (діодів), що дають можливість забезпечити внутрішнє

підсилення фотоструму за рахунок явища вторинної емісії електронів.

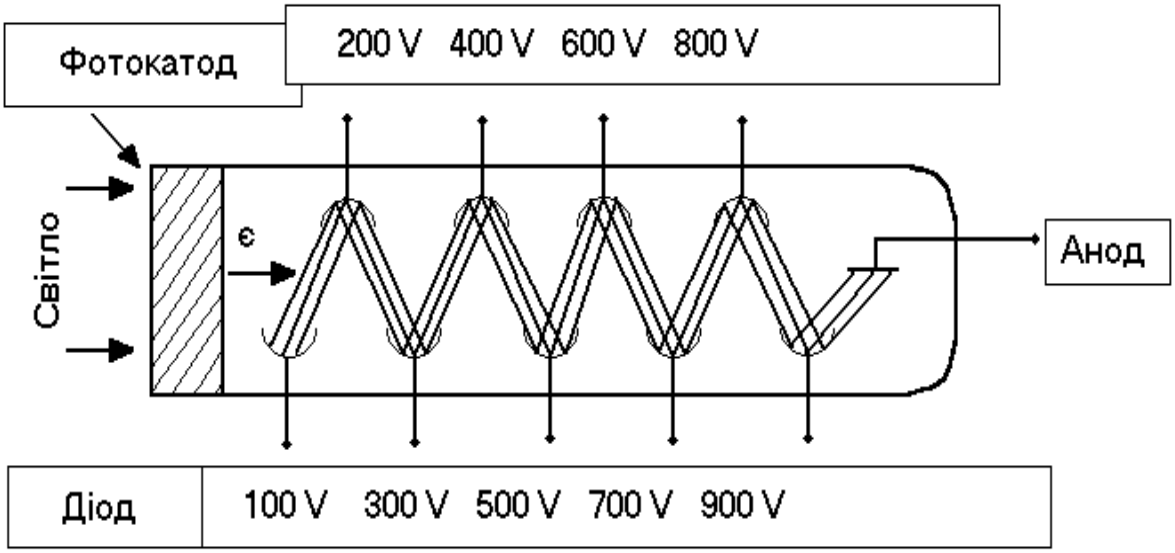
За принципом дії фотоелементи можна розділити на три основні групи:

• Фотоелементи з зовнішнім фотоефектом, у основу яких покладено вихід електронів із поверхні металу під дією енергії електромагнітного випромінювання.

• Фотоелементи з внутрішнім або фоторезистивним фотоефектом, у основу якого покладено зміну електричного опору напівпровідника під дією енергії електромагнітного випромінювання.



а)



б)

Рис. 2.9. Схеми фотоелемента і фотопомножувача 1 - фотокатод;2 -анод;

Фотоелементи з вентильним або фотогальванічним ефектом, у основу яких покладено виникнення електрорушійної сили між шарами напівпровідника з провідністю різного типу під дією електромагнітного випромінювання.

Останні дві групи приладів подані поряд з напівпровідниковими фотоелементами, умовні позначення яких подані на рис. 2.10.

Дамо коротку характеристику кожного з них:

• фоторезистори — це напівпровідникові прилади, де електричний опір змінюється під дією світлового потоку. Принцип дії фоторезисторів ґрунтується на використанні явища внутрішнього фотоефекту;

• у вентильних фотоелементах світлова енергія безпосередньо перетворюється у електричну, тому для них не потрібно сторонніх джерел струму.

При опромінюванні фотоелемента квантами світла на зовнішніх його виводах створюється різниця потенціалів, яка називається фотоелектрорушійною силою, під дією якої і виникає електричний струм.

— фотодіодом називається двоелектродний напівпровідниковий прилад, принцип дії якого подібний до вентильного фотоелемента. Фотодіоди і фоторезистори є пасивними перетворювачами променистої енергії, тобто не мають підсилювальних властивостей;

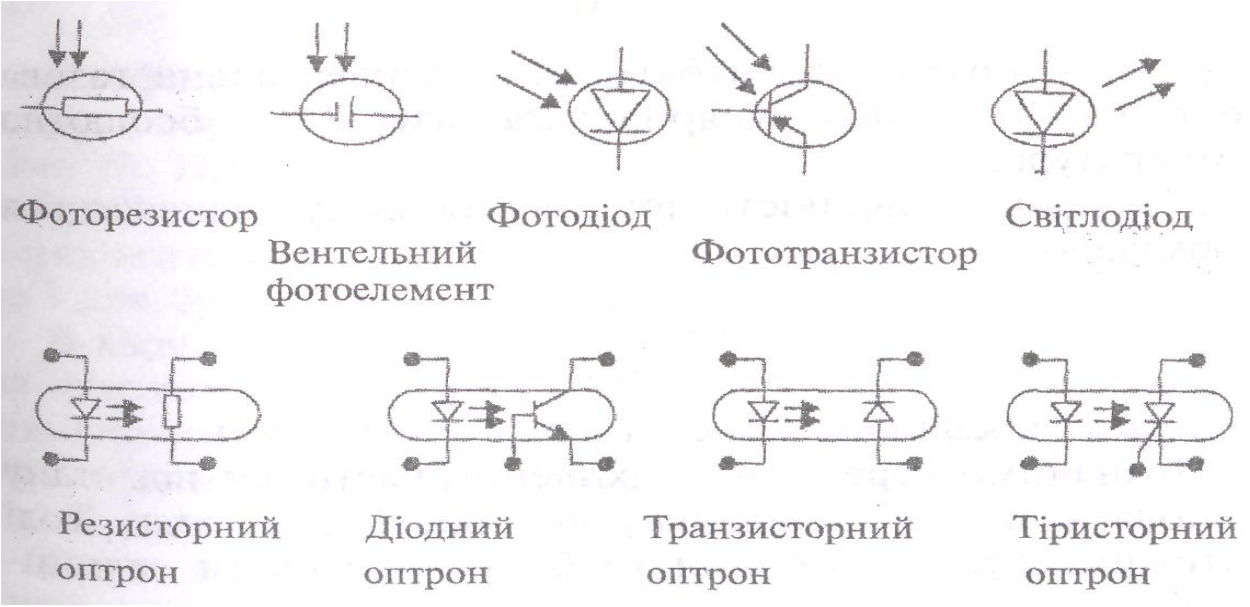
• фототранзистори є активними перетворювачами енергії випромінювання і мають підсилювальні властивості. Конструктивно фототранзистор складається з трьох електродів: емітора, колектора і бази, причому базова область піддається опромінюванню потоком світлової енергії;

• світлодіод являє собою напівпровідниковий діод,

але зі зворотною дією, й електрична енергія у ньому перетворюється у енергію світлового випромінювання (видимого або інфрачервоного). Вони знайшли широке застосування у індикаторних схемах у обчислювальній техніці, радіоелектроніці й автоматиці.

Світлодіоди були покладені у основу створення нового класу приладів, що одержали назву оптронів.

Оптрони (оптронні пари) складаються із джерела випромінювання — світлодіода і приймача випромінювання (фоторезистора, фотодіода, фототранзистора), зв'язаних оптичним середовищем і конструктивно об'єднаних у одному корпусі. Головним перевагою оптронів є те, що вхід і вихід у них електрично зв'язані. Оптичне середовище поширення сигналу від випромінювача до приймача може являти собою світловод, який є ниткою з прозорого діелектрика. Світловий промінь надходить у торець світловода, після багатократного віддзеркалювання від бічних стінок нитки він виходить з іншого кінця світловода. За допомогою волоконного (оптоволоконного) світловода приймач можна помістити на значній відстані від випромінювача, забезпечивши їх високу електричну ізоляцію при зберіганні стійкого до перешкод керування. Оптрони застосовуються у схемах швидкого переключення, генераторах для узгодження високовольтних і низьковольтних ланцюгів, комп'ютерно-телекомунікаційних мережах. Оптрони є елементною базою для нового напрямку електроніки — оптоелектроніки.



2.10. Умовні позначення напівпровідникових фотоелементів

Акустичні датчики

Акустичні датчики перетворюють звукові коливання, що поширюються у різних середовищах, у електричні сигнали.

В міру поширення у будь-якому середовищі коливання згасають. Зі збільшенням частоти величина згасання швидко зростає, тому при постійній потужності випромінювання дальність дії акустичних приладів із ростом частоти падає.

Отже, для ефективної обробки сигналів значення частоти доводиться вибирати, виходячи з умов компромісу між дозволяючою спроможністю і дальністю. Основними галузями застосування акустичних датчиків є: опрацювання мови; неруйнівний контроль виробів за допомогою ультразвуку; ультразвукове розпізнавання образів у медицині; технології морської георозвідки і морська навігаційна техніка.

Для розгляду прикладів акустичних датчиків можна виділити наступні їх типи, що знайшли широке застосування у технічних пристроях: електродинамічні датчики; електромагнітні випромінювачі; п'єзокерамічні датчики.

Основним видом електродинамічного випромінювача є електродинамічний програвач, який використовується у всіх звукопідсилюючих пристроях для відтворення музики і мови (радіомовлення, телебачення, звукозапис, звукове кіно та ін.).

Для вібровипробувань та інших цілей використовуються електродинамічні віброзбудники вібрацій, на основі яких можуть бути побудовані випромінювачі звуку у різні середовища (наприклад, у рідке середовище).

Основна схема електродинамічного віброзбудника дана на рис. 2.11. У кільцевому зазорі, утвореному між центральним стрижнем (керном) і круглим отвором у плоскій верхній частині горщикоподібного магнітопровода

2 обмотка підмагнічування 1 створює рівномірне постійне магнітне поле. У кільцевому зазорі уздовж нього вільно коливається котушка 3, підвішена за допомогою центруючих плоских пружин 4. Від платформи 5, жорстко скріпленої з рухомою котушкою, коливання передаються механічному навантаженню. З рис. 2.11 випливає, що власний механічний опір віброзбудника складається з маси рухомої котушки з платформою, гнучкої пружини підвісу і деякого опору втрат, що виникають через недосконалу пружність матеріалу пружини і тертя коливної рухомої системи об повітря. Для розглянутого типу віброзбудника діапазон робочих частот лежить у межах від 5 Гц до 10000 Гц.

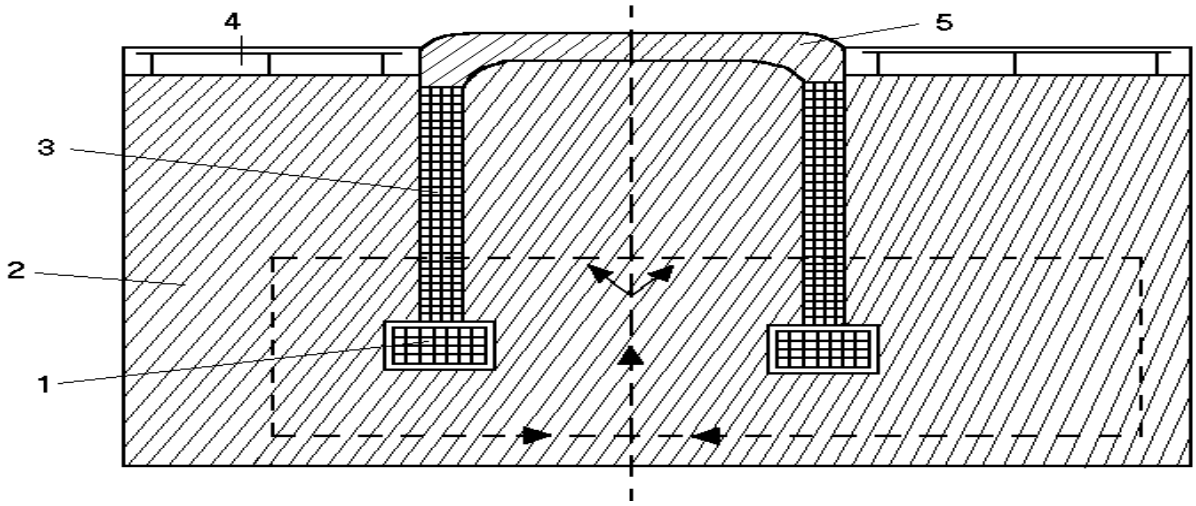


Рис. 2.11. Схема електродинамічного датчика; 1 - обмотка підмагнічування; 2 - магнітопровод; 3 - рухома катушка; 4 - пружини; 5 -— платформа

Електромагнітні випромінювачі можуть бути створені на основі електромагнітних віброзбудників, що використовуються головним чином при вібраційних випробуваннях машин і матеріалів. Конструкція випромінювача, подана на рис. 2.12, є симетричною: з обох боків циліндричного корпусу є однакові випромінюючі пластини, підвішені на гнучких комірах. Ярмо розрізане на дві однакові частини, кожна з них скріплюється з однією з випромінюючих пластин.

Зазор у магнітопроводі, що дозволяє пластинам коливатися, знаходиться у середній площині всієї конструкції. Принцип дії електромагнітного віброзбудника ґрунтується на пондеромоторних силах, що розвиваються між смугами магнітної системи із сердечника і якоря, між якими є невеликий повітряний зазор. Сила притягання між якорем і сердечником пропорційна квадрату потоку магнітної індукції. При живленні струмом обмотки електромагніта перетворювача виникають механічні коливання певної частоти. У конструкції віброзбудника (рис. 2.12) використовується розглянутий ефект, коли під дією пондеромоторних сил пластини одночасно сходяться і розходяться, створюючи синфазне випромінювання.

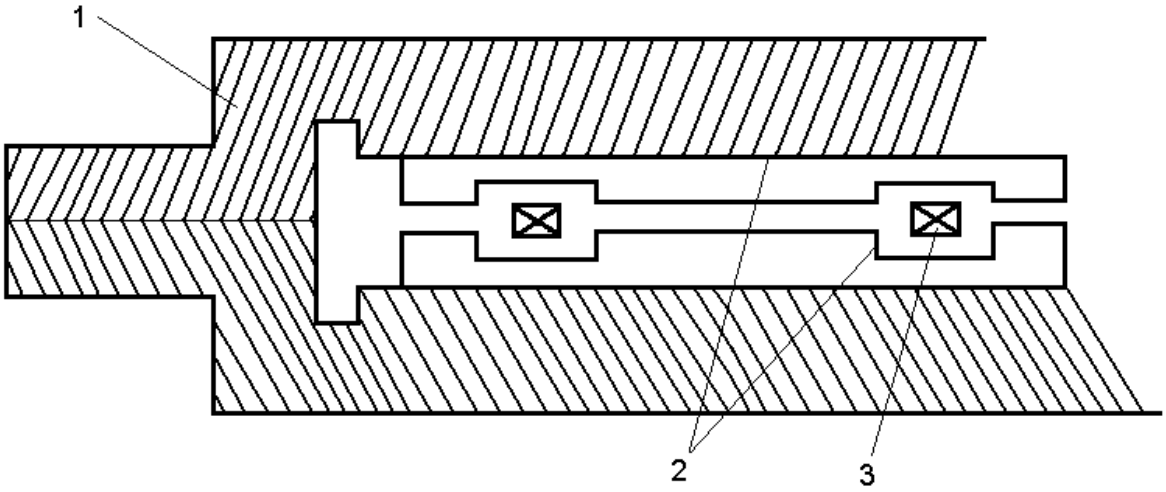


Рис. 2.12. Електромагнітний випромінювач;1 - корпус; 2 - випромінюючі пластини;3 - ферромагнітний якір.

П'єзоелектричні датчики будуються на основі використання активних п'єзокерамічних матеріалів. З даних матеріалів конструюються п'єзоелементи у вигляді пластин різної форми. У основі роботи п'єзоелектричних датчиків лежить п'єзоефект, суть якого полягає у тому, що при появі у п'єзокерамічних пластин механічних деформацій стискання-розтягування останні починають випромінювати коливання, На рис. 2.13 подані п'єзоелектричні датчики у вигляді циліндричного резонатора, у якого п'єзоактивний елемент складає бічну поверхню або є його днищем.

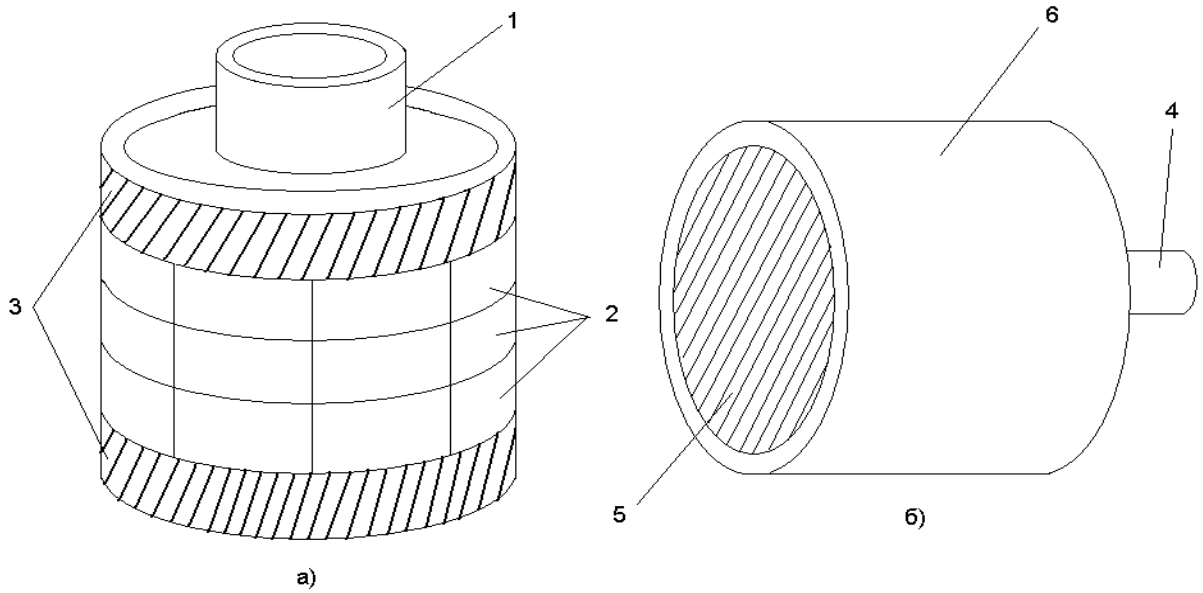


Рис. 2.13. П'єзокерамічний датчик. а) п'єзокерамічний елемент становить бокову поверхню резонатора; б) п'єзокерамічний елемент є днищем резонатора. 1 - горло; 2 - п'єзокерамічні сегменти, які складають бокову циліндричну частину випромінювача; 3 - кришки; 4 - горло; 5 - днище у вигляді п'єзокерамічного елемента; 6 - бокова циліндрична частина випромінювача

Внутрішня порожнина циліндра може через горло заповнюватися рідиною, наприклад, водою, що створює механічні деформації у п'єзоелементах, тим самим викликаючи коливання. П'єзокерамічні датчики знайшли широке застосування у так званій низькочастотній звуковій техніці, яка використовується для інтенсифікації процесів, що відбуваються у рідиннофазних середовищах: очищення нерудних копалин, освітлення забруднених вод тощо.

2.2.2. Засоби організації оперативного контролю.

Засоби знімання даних постачають вихідну інформацію для приладів, установок і систем, які формують і реєструють відомості, що дозволяють диспетчерським і іншим службам підприємств здійснювати оперативний контроль за ходом виробництва. На машинобудівних підприємствах прилади і установки використовуються для обліку загального часу роботи верстатів, реєстрації кількості виготовленої продукції, простоїв із зазначенням причин, для перенесення цих даних на машинний носій. Вони застосовуються у цеховому контурі управління, забезпечують передачу інформації на диспетчерський пульт і гучномовний зв'язок.

Більш широкими можливостями володіють системи, які формуються на основі комп’ютерів, пов'язаних з датчиками, приладами та установками, концентраторами інформації. Такі комплекси можуть використовуватися у межцеховом контурі управління і здійснювати підготовку документів - централізовану реєстрацію цифрових даних з приладів і установок, видавати змінні завдання по кожній одиниці обладнання, здійснювати зв'язок і сигналізацію для виклику служб, відповідальних за роботу обладнання, виконувати інші функції.

Реєстратори інформації виконуються на інтегральних схемах і будуються на основі функціонально закінчених модулів (блоків і пристроїв), які володіють інформаційною та конструктивною сумісністю, що мають стандартне сполучення. До таких модулів відносяться блоки введення різних видів інформації, запам'ятовуючі пристрої і блоки арифметичної обробки, вузли управління, блоки виведення (на машинні носії і друк), пристрої відображення і вузли індикації, блоки передавання даних і сполучення з каналами зв'язку. Набір зазначених модулів дозволяє створювати типові технічні засоби (базові моделі) і їх модифікації, що відрізняються від базових наявністю або відсутністю деяких модулів відповідно до вимог конкретного застосування.

Реєстратори інформації встановлюються у точках формування первинної інформації (ділянка, склад, відділ). Належна до збирання і реєстрації інформація поділяється на змінну, умовно-постійну (напівпостійну) і постійну.

Змінна інформація відображає кількісну сторону документа (кількість виготовленої продукції, встановленого обладнання і т.п.), вводиться з клавіатури.

Умовно-постійна інформація є незмінною для документів протягом певного проміжку часу (наприклад, дата складання документів) або

характерною для групи однорідних документів (наприклад, номер ділянки), вводиться з набраних органів (перемикачів).

Постійна інформація відображає знакову сторону документа (табельний номер працівника, шифр деталі і операції), вводиться з машинних носіїв.

Реєстратори інформації за принципом дії поділяються на програмні і непрограмні. Застосування реєстраторів інформації та пристроїв дистанційного збирання дозволяє створювати розвинені системи, що здійснюють збирання первинної інформації з робочих місць, її підготовку і попередню обробку, що істотно розвантажує комп’ютер.

2.3. Засоби підготовки даних

Основними носіями вихідної інформації у системах обробки є первинні документи. Вони придатні для використання тільки людиною і не можуть бути безпосередньо сприйняті комп’ютером. Тому дані, що підлягають машинній обробці попередньо представляються на проміжних машинних носіях. Цей етап інформаційної технології називають підготовкою даних. Використання даних на магнітних носіях забезпечує перехід до електронної (безпаперової) технології. Подальший розвиток електронна технологія знаходить у організації підготовки та введення інформації у комп’ютер безпосередньо з віддалених терміналів, об'єднаних у комп'ютерну мережу, що дозволяє виключити традиційний спосіб підготовки даних, скоротити технологічний цикл збирання і обробки, знизити вартість обробки інформації.

Будь-яка технологія підготовки даних пов'язана з виконанням двох процедур: набір і реєстрація (або введення) вихідних даних, контроль правильності зафіксованої (або введеної) інформації. Особлива увага приділяється процедурі і методам контролю.

При підготовці даних можливе виникнення помилок, пов'язаних, по-перше, з невірним набором і перенесенням даних з первинного документа і, по-друге, з наявністю помилок у самих первинних документах. Помилки першого типу виникають з вини оператора і зазвичай усуваються верифікацією даних, тобто шляхом повторного набору інформації, порівняння з первинним набором, виявлення та виправлення помилок. Для виявлення та усунення помилок другого типу (семантичних) використовуються програмні засоби, що виконують такі функції, як порівняння вихідних даних з контрольними значеннями, перевірка на горизонтальний або вертикальний баланс, моделювання діяльності фахівця у даній галузі (наприклад, бухгалтера) та ін.

У засобах масової підготовки даних особлива увага повинна приділятися надійності зберігання та відновлення інформації, перш за все, при виникненні аварійних (для інформації) ситуацій внаслідок помилок оператора, збоїв у роботі обладнання і інших причин. Для вирішення цього завдання використовуються засоби порятунку інформації. Найбільш поширений спосіб заснований на оперативному створенні і зберіганні на магнітному носії резервних копій інформаційних масивів. Однак такий спосіб не завжди ефективний або навіть неприйнятний, наприклад, у діалогових системах, що

відрізняються динамічним характером зміни інформації. У цьому випадку можливо компромісне рішення - створення копій раз на добу або після кожної зміни, а також прийняття відповідних заходів при появі збоїв з метою виявлення спотворених записів у масиві, їх виключення і відновлення шляхом введення і верифікації даних.

Застосовувані раніше спеціально розроблені для сполучення з великими комп’ютерами реєстратори інформації у наш час успішно витісняються персональними комп'ютерами, що встановлюються на індивідуальні робочі місця. Відповідно, змінилися і використовувані технічні засоби.

Наприклад повсюдно використовується сканер - пристрій для зчитування графічної інформації і перетворення її у якийсь із використовуваних форматів. За допомогою спеціального програмного забезпечення може здійснювати розпізнавання друкованого тексту.

Ефективним засобом діалогової взаємодії користувача і ПК є світлове перо. На його кінці розташований світлочутливий елемент, при суміщенні якого з елементом зображення на екрані визначаються координати даного елемента зображення (в момент його підсвічування електронним променем трубки). Ці координати використовуються для виконання дисплейної команди. У деяких дисплеях за допомогою світлового пера реалізується режим малювання (або стирання ліній і інших фрагментів зображення), при якому на екрані фіксується слід руху пера, а координати траєкторії запам'ятовуються у пам'яті дисплея. Подібні характеристики мають резистивні матриці сучасних моніторів

Для отримання документальної і художньої інформації використовуються цифрові фотокамери. У них зображення проектується на спеціальну матрицю і зберігається зазвичай у форматі JPG з різними коефіцієнтами стиснення.

2.3. Кодування даних

Дані у технічних засобах реалізації інформаційних процесів представляються і використовуються у процесах обробки і зберігання у кодованому вигляді. Для цього вхідні дані піддаються операції кодування, а вихідні - зворотній операції декодування.

Кодування - це представлення символів (букв) одного алфавіту засобами іншого алфавіту. У загальному вигляді під алфавітом розуміється всяка непорожня впорядкована кінцева множина символів, що називаються літерами і використовуються у писемності якої-небудь мови, у логічних висловлюваннях, у представленні чисел і т.д. Сукупність алфавіту і правил кодування називається кодом, кількість букв алфавіту - потужністю коду.

Найпростішим алфавітом для кодування будь-якого іншого (і широко використовуваного у обчислювальній техніці) є двійковий код (зазвичай говорять про двійкову систему числення).

Крім двійкової використовуються вісімкова і шістнадцяткова позиційні системи числення.

Кодування буквено-цифрових даних. Сучасні технічні засоби оперують не тільки з цифрами і числами, а й з символами іншої природи: буквами будь-якої мови, знаками пунктуації, математичними символами і т.п. Кодування подібних символів здійснюється за допомогою двійкових цифр і проводиться за таблицями кодування, що відображає відповідність між символами, з якими працює людина, і двійковими машинними еквівалентами. Найбільш поширеними є таблиці кодування ASCII, KOI-8 та ін.

Розділ 3. Методи, засоби і технології передавання інформації

3.1.Основні поняття систем передачі даних

Інформаційні процеси неможливі без засобів передавання інформації, оскільки найчастіше інформація потрібна у місці, територіально віддаленому від джерела її виникнення, і повинна бути представлена у вигляді символів, образів і сигналів, придатних для сприйняття споживачем.

У цьому сенсі важливо розрізняти три основні поняття: дані, сигнал і передача.

Дані - це те, за допомогою чого ми описуємо явище або об'єкт.

Сигнал – це форма представлення даних.

Передача - це процес взаємодії передавача і приймача з метою отримання приймачем сигналів від передавача.

Будь-який сигнал можна розглядати або як функцію часу, тобто те, як різні параметри сигналу змінюються з часом, або як функцію частоти. Останнє пов'язано з тим, що будь-який сигнал можна розглядати як композицію складових сигналів. Такі складові сигналу називають гармоніками різної частоти. Важливою характеристикою сигналу є ширина його смуги, яка покриває весь спектр частот гармонік, складових сигналу. Чим ширше ця смуга, тим більше інформаційна ємність сигналу.

Оскільки всі види інформації можуть бути представлені у вигляді електромагнітних імпульсів, то залежно від середовища передачі і організації у системах передачі даних (СПД) можуть застосовувати аналогові або цифрові сигнали.

Співвідношення між поняттями *аналоговий і цифровий* приблизно таке ж, як між поняттями безперервний і дискретний. Що стосується даних, то поняття аналоговий найпростіше проілюструвати на прикладі голосу.

Акустичні хвилі мають безперервний характер, тобто значення їх основних параметрів, наприклад, амплітуди, частоти, змінюються з часом безперервно. Інший приклад - відео дані. Яскравість зображення також має безперервний характер. Зовсім інша річ текст. Він представлений символами, які простіше представляти у вигляді кодів, наприклад, наборів з нулів і одиниць. Ці коди можуть бути легко представлені у дискретному або цифровому вигляді. Коди можуть мати досить складний устрій, наприклад, якщо ми хочемо виявляти або виправляти помилки при передачі.

Отже, дані можуть мати різну природу. Якщо інформація представлена у вигляді аудіо або відео даних, то ми говоримо про аналогові дані. Якщо вона представлена у вигляді тексту, то це цифрові дані. Це не означає, що, наприклад, аудіо дані не можна представити у цифровому вигляді.

Отже, сигнали можуть мати безперервну або дискретну форму. У першому випадку говорять про аналогові сигнали, у другому - про цифрові. Чим більше гармонік має сигнал, тим точніше форма сигналу, тому сигнал у цифровій формі вимагає великого числа гармонік, щоб форма сигналу мала дискретний вигляд.

Велике значення також має кількість рівнів, які може мати сигнал. Чим більше число рівнів сигналу, тим більше інформації можна передати за один перехід з рівня на рівень. Наприклад, якщо є тільки два рівня сигналу, що відповідають 0 і 1, то для передачі 8-розрядного коду символу, нам буде потрібно вісім сигналів. Якщо ж у нас є вісім рівнів сигналу, то буде потрібно тільки три сигнали, тобто три зміни рівня сигналів. При цьому, якщо швидкості зміни рівня сигналу при його передачі у першому і у другому випадках однакові, то швидкість передачі даних у другому випадку буде більш, ніж у два рази вище.

Процес передачі також може мати аналогову або цифрову форми. Аналогова передача передбачає безперервну зміну параметрів передачі. Цифрова - передбачає різку, дискретну зміну параметрів сигналу, що передається, або імпульсу.

Ясно, що сигнал у цифровій формі можна безпосередньо передавати за допомогою аналогової передачі або, як її ще називають, аналогової модуляції. У той час як цифрове кодування або цифрова передача дозволяє передавати обидва види сигналу. У разі аналогового сигналу і цифрового кодування відбувається попереднє оцифровування сигналу. Сенс процесу оцифровки полягає у тому, що з певною частотою вимірюється рівень сигналу. Результати виміру представляють у вигляді коду, який передається за допомогою цифрового кодування. Як ми побачимо пізніше, рівні і вид імпульсу при цифровому кодуванні мають велике значення для швидкості і надійності передачі.

При аналоговій і цифровій передачах фактори, які спотворюють передається сигнал, впливають по-різному. Оскільки при передачі завжди відбувається втрата енергії сигналу, то для передачі на великі відстані сигнал потрібно періодично посилювати. Однак при цьому буде посилюватися і шум, що домішується до основного сигналу при передачі. Після серії таких підсилень форма сигналу може змінитися до невпізнання. У разі цифрових сигналів це призведе до помилки передачі, а у разі аналогових сигналів - спотворення або просто втрати сигналу.

Отже, основну проблему побудови СПД представляє спотворення сигналу при передачі. Це відбувається під впливом декількох причин, основними з яких є загасання, нерівномірність загасання, спотворення форми, різні види шумів. Шуми виникають внаслідок ряду причин, наприклад таких, як термодинамічні властивості провідника, взаємні наведення гармонік, що складають сигнал, зовнішні електромагнітні впливи. У разі аналогового сигналу ці спотворення носять випадковий характер і призводять до втрати інформації. У разі цифрового сигналу вони призводять до помилок передачі.

Тому при створенні будь-якої СПД доводиться шукати компроміс між чотирма основними факторами: шириною смуги сигналу, швидкістю передачі сигналів, рівнем шумів і спотворень сигналу, допустимим рівнем помилок при передачі.

Інформаційний процес обміну передбачає обмін даними між процесами інформаційної технології і пов'язаний взаємними потоками даних з усіма

інформаційними процесами на рівні переробки даних.

Загалом, передача інформації здійснюється різними способами: доставка транспортними засобами, дистанційна передача по каналах зв'язку, за допомогою інших засобів комунікацій.

При дистанційній передачі по каналам зв'язку можна виділити два основних типи процедур. Це процедури передачі даних по каналах зв'язку і мережеві процедури, що дозволяють здійснити організацію обчислювальної мережі.

Процедури передачі даних реалізуються за допомогою операції кодування - декодування, модуляції - демодуляції, узгодження і посилення сигналів. Процедури організації мережі включають у себе у якості основних операції з комутації та маршрутизації потоків даних (трафіку) у обчислювальній мережі. Процес обміну дозволяє, з одного боку, передавати дані між джерелом і одержувачем інформації, а з іншого - об'єднувати інформацію багатьох її джерел.

Дистанційно може передаватися як первинна інформація з місць її виникнення, так і результатна у зворотному напрямку. у цьому випадку результатна інформація фіксується різними пристроями: дисплеями, табло, друкуючими пристроями. Надходження інформації по каналах зв'язку у центр обробки у основному здійснюється двома способами: на машинному носії або безпосередньо введенням у ЕОМ за допомогою спеціальних програмних і апаратних засобів. Дистанційна передача інформації за допомогою сучасних комунікаційних засобів постійно розвивається і вдосконалюється. Особливе значення цей спосіб передачі інформації має у багаторівневих міжгалузевих системах, де застосування дистанційної передачі значно прискорює проходження інформації з одного рівня управління на інший і скорочує загальний час обробки даних.

Модель обміну даними включає у себе формальний опис процедур, що виконуються у обчислювальній мережі: передачі, маршрутизації, комутації. Саме ці процедури і складають інформаційний процес обміну. Для якісної роботи мережі необхідні формальні угоди між її користувачами, що реалізується у вигляді протоколів мережевого обміну. У свою чергу, передача даних ґрунтується на моделях кодування, модуляції, каналів зв'язку. На основі моделей обміну проводиться синтез системи обміну даними, при якому оптимізуються топологія і структура обчислювальної мережі, метод комутації, протоколи і процедури доступу, адресації і маршрутизації.

У підсистему обміну даними входять комплекси програм і пристроїв, що дозволяють реалізувати обчислювальну мережу і здійснити по ній передачу і прийом повідомлень з необхідними швидкістю і якістю.

Фізичними компонентами підсистеми обміну слугують пристрої прийому - передачі (модеми, підсилювачі, комутатори, кабелі, спеціальні обчислювальні комплекси, які здійснюють комутацію, маршрутизацію і Доступ до мереж). Програмними компонентами підсистеми є програми мережевого обміну, реалізують мережеві протоколи, кодування - декодування повідомлень і ін.

Обмін даними відбувається у будь-якій обчислювальній системі.

Наприклад, у ПК через системну шину проводиться обмін даними, їх адресами і командами між оперативною пам'яттю і процесором. До цієї ж шині через контролери (узгоджувальні пристрої) підключені зовнішні пристрої (клавіатура, дисплей і т.д.), які обмінюються даними з оперативною пам'яттю. Процесом обміну даними у комп'ютері управляє операційна система спільно з прикладними програмами (додатками).

Технологічна природа обміну даними у сучасних ІТ така, що не може бути реалізована на одному спеціалізованому комп'ютері. Виділенню процесу обміну як базового у ІТ сприяє бурхливий розвиток обчислювальних мереж.

В результаті появи ПК з'явилися і утвердилися такі технології об'єднання комп'ютерів у мережу – Ethernet, Arcnet, Token Ring. ПК стали виступати не тільки як клієнтські комп'ютери, але і як центри зберігання і обробки даних, тобто мережевих серверів, потіснивши з цих звичних ролей міні комп'ютери і мейнфрейми.

Комп'ютерна (обчислювальна) мережа є системою комп'ютерів, об'єднаних лініями зв'язку та спеціальними пристроями, що дозволяють передавати без спотворення і перемикати між комп'ютерами потоки даних.

Під системою розуміється автономна сукупність, що складається з однієї або декількох комп'ютерів, програмного забезпечення, периферійного обладнання, терміналів, засобів передачі даних, фізичних процесів і операторів, спосіб здійснювати обробку інформації і виконувати функції взаємодії з іншими системами.

Для характеристики процесу обміну повідомленнями у обчислювальній мережі по каналах зв'язку використовуються наступні поняття: режим передачі, код передачі, тип синхронізації.

Існують три режими передачі: симплексний, напівдуплексний і дуплексний.

Симплексний режим - передача даних тільки у одному напрямку. Прикладом симплексного режиму передачі є система, у якій інформація, що збирається за допомогою датчиків, передається для обробки на ЕОМ. у обчислювальних мережах симплексна передача практично не використовується.

Напівдуплексний режим – почергова передача інформації, коли джерело і приймач послідовно міняються місцями. Яскравий приклад роботи у напівдуплексному режимі - розвідник, передає у Центр інформацію, а потім приймає інструкції з Центру.

Дуплексний режим - одночасні передача і прийом повідомлень. Цей режим є найбільш швидкісним режимом роботи і дозволяє ефективно використовувати обчислювальні можливості швидкодіючих ЕОМ у поєднанні з високою швидкістю передачі даних по каналах зв'язку. Приклад дуплексного режиму - телефонна розмова.

Для передачі інформації по каналах зв'язку використовуються спеціальні коди. Коди стандартизовані і визначені рекомендаціями ISO (International Organization for Standardization) - Міжнародної організації зі

стандартизації (МОС) або Міжнародного консультативного комітету з телефонії і телеграфії (МККТТ).

Найбільш поширеним кодом передачі по каналах зв'язку є код ASCII, прийнятий для обміну інформацією у всьому світі.

Сучасні засоби зв'язку здатні передавати інформацію у будь-якій формі: телефонні, телевізійні, телеграфні повідомлення, масиви даних, друковані матеріали, фотографії і т. д. У відповідності зі специфікою переданих повідомлень організується канал передачі інформації - сукупність технічних засобів, що забезпечують передачу сигналів від джерела до споживачеві.

Основна характеристика каналу передачі - швидкість передачі інформації, а її гранично допустиме значення називають ємністю каналу, яка обмежується шириною смуги каналу і шумом.

Канал зв'язку з'єднує передавач і приймач за допомогою лінії зв'язку, яка може бути провідний, кабельної, радіо, мікрохвильової, оптичній або супутникового. Прикладами ліній зв'язку є телефонні і обчислювальні мережі, мережі телевізійного і радіомовлення, мобільного зв'язку, супутникові технології передачі даних.

Синхронізація даних – процес узгодження різних процесів у часі. У системах передачі даних використовуються два способи передачі даних: синхронний і асинхронний.

Синхронними називаються процеси передачі або прийому інформації у обчислювальних мережах, які прив'язані до певних часових оцінок, тобто один з процесів може початися тільки після того, як отримає повністю дані від іншого процесу.

Асинхронними називаються процеси у яких немає часової прив'язки і вони можуть виконуватися незалежно від ступеня повноти переданих даних.

При синхронній передачі інформація передається блоками, які обрамляються спеціальними керуючими символами. До складу блоку входять також спеціальні синхросимволи, що забезпечують контроль стану фізичного передавального середовища, і символи, що дозволяють виявляти помилки при обміні інформацією. у кінці блоку даних при синхронній передачі у канал зв'язку видається контрольна послідовність, сформована за спеціальним алгоритмом. З цього ж алгоритму формується контрольна послідовність при прийомі інформації з каналу зв'язку. Якщо обидві послідовності збігаються - помилок немає. Блок даних прийнятий. Якщо ж послідовності не збігаються - помилка. Передача повторюється до позитивного результату перевірки. Якщо повторні передачі не дають позитивного результату, то фіксується стан аварії. у якості контрольної послідовності (код виявлення помилки) зазвичай використовується циклічний надлишковий код виявлення помилок (CRC) [сі ер сі].

CRC - застосовується у повідомленнях за допомогою виконання певних математичних обчислень з бітами, складовими послання. Результат обчислень передається разом з самим повідомленням. Приймаюча станція здійснює ті ж обчислення з прийнятими даними і порівнює результат з числом, отриманим

разом з повідомленням. Якщо ці величини не збігаються, адресат просить передавальну станцію повторити передачу.

Переваги синхронної передачі - висока швидкість і ефективність передачі даних; надійний вбудований механізм виявлення помилок, недоліки - частиною інтерфейсу обладнання більш складне і дороге.

При асинхронній передачі дані передаються у канал зв'язку як послідовність бітів, з якої при прийомі необхідно виділити байти для подальшої їх обробки. Для цього кожен байт обмежується стартовим і стоповим бітами, які і дозволяють зробити виділення їх з потоку передачі. Іноді у лініях зв'язку з низькою надійністю використовується кілька таких бітів. Додаткові стартові і степових біти кілька знижують ефективну швидкість передачі даних і відповідно пропускну здатність каналу зв'язку. Стартові біти попереджають приймач про початок передачі. Потім передається символ. Стоповий біт сигналізує про закінчення передачі. Для визначення достовірності передачі використовується біт парності (біт парності = 1, якщо кількість одиниць у символі непарній, і 0, у іншому випадку).

Переваги - нескладна відпрацьована система; недороге у частині інтерфейсу обладнання, недоліки - велика частина пропускної здатності використовується на передачу службових бітів; невисока швидкість передачі у порівнянні з синхронної; при множинної помилки за допомогою біта парності неможливо визначити достовірність отриманої інформації.

Асинхронна передача відповідає вимогам організації діалогу у обчислювальній мережі при взаємодії персональних комп’ютерів.

Основне призначення будь-якої комп'ютерної мережі - надання інформаційних та обчислювальних ресурсів підключеним до неї користувачам. З цієї точки зору локальну обчислювальну мережу можна розглядати як сукупність серверів і робочих станцій, що забезпечує:

- гарантію доставки пакетів;
- наявність механізмів контролю потоку даних;
- наявність системи управління трафіком;
- наявністю механізмів виявлення та запобігання перевантажень і т.д.

Технологія зближення мереж відбувається сьогодні на основі цифрової передачі інформації різного типу, методів комутації пакетів і програмування послуг. Телефонія вже давно зробила ряд кроків назустріч комп'ютерним мережам за рахунок представлення голосу у цифровій формі, що робить принципово можливим передачу телефонного та комп'ютерного трафіку по одним і тим же цифрових каналах. Телефонні мережі широко використовують комбінацію методів комутації каналів і пакетів. Так, для передачі службових повідомлень застосовуються протоколи комутації пакетів, аналогічні протоколах комп'ютерних мереж, а для передачі власне голоси між абонентами комутується традиційний складовою канал.

Додаткові послуги телефонних мереж, такі як переадресація виклику, конференц-зв'язок, телеголосування та ін., можуть створюватися за

допомогою так званої інтелектуальної мережі, за своєю суттю є комп'ютерною мережею з серверами, на яких програмується логіка послуг.

Мультисервісна мережа нового покоління може бути створена у результаті конвергенції, коли від кожної технології буде взято найкраще і з'єднане у деякий новий сплав, який дасть необхідну якість для підтримки існуючих та створення нових послуг.

3.2. Сигнали і системи передачі інформації

З точки зору функціонального призначення *сигнал* розглядається як засіб передачі інформації у просторі і у часі, як матеріальний носій інформації.

Розрізняють сигнали статичні і динамічні. *Статичні сигнали у* основному призначені для передачі інформації у часі, тобто для збереження інформації з наступним її використанням. *Динамічні сигнали* служать у основному для передачі інформації у просторі (наприклад, акустичні й електромагнітні хвилі).

Будь-який сигнал нерозривно зв'язаний з визначеною матеріальною системою, що називається *системою зв'язку* або *системою передачі інформації.* Система передачі інформації звичайно має вигляд представлений на рис. 3.1.

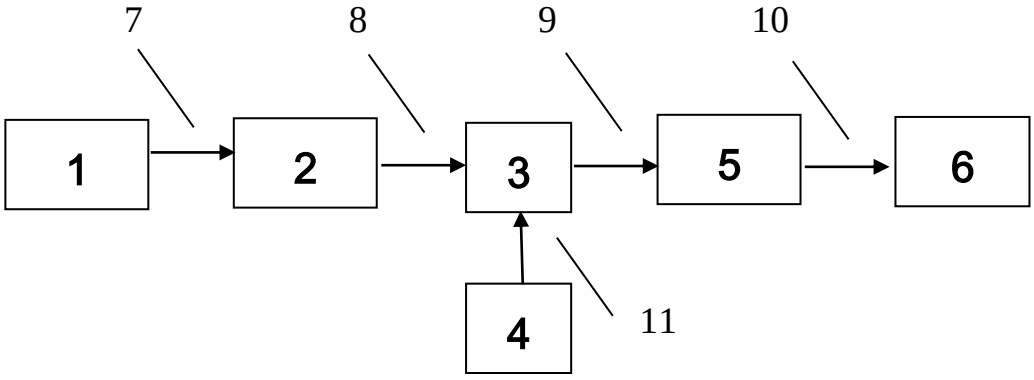


Рис.3.1. Схема системи передачі інформації.

Вона складається з джерела інформації 1, передавача 2, каналу зв'язку 3, приймача 5 і адресата 6.

Джерело інформації виробляє інформацію у формі повідомлень 7.

Будемо вважати, що з джерелом інформації зв'язана визначена множина повідомлень. Генерація деякого повідомлення полягає у випадковому виборі одного повідомлення з множини можливих. Яке це конкретно буде повідомлення, заздалегідь не відомо, принаймні тому, для кого воно призначається. Відомо лише, що повідомлення належить визначеній множині.

Множини можливих повідомлень бувають різних типів. Це, наприклад, кінцеві множини символів (у системах телеграфії і передачі даних), кінцеві набори детермінованих функцій часу, нескінченні множини, елементами яких є значення деякої фізичної величини або реалізації фізичного процесу, і т.п. Повідомлення, що належить кінцевій множині можливих повідомлень, називається *дискретним,* а повідомлення, обране з нескінченної множини — *безперервним.*

Передавач перетворює повідомлення у сигнал. У передавачі кожне з можливих повідомлень 7 на вході перетвориться у одне з можливих значень сигналу 8 на виході по строго встановленому правилу. Правила, по яких здійснюється перетворення повідомлення у сигнал, називаються по різному (модуляція, маніпуляція, кодування) у залежності від типів повідомлень і сигналів.

Приклад. У телефонії, наприклад, відповідність між можливими повідомленнями і значеннями сигналу встановлює мікрофон, що забезпечує приблизно лінійну залежність між акустичним тиском у зоні мембрани й електричним струмом або напругою у лінії зв'язку. У телеграфії кожному символу на вході передавача ставиться у відповідність визначений набір елементарних сигналів на його виході.

Як *канал зв'язку* можуть бути використані двопровідна електрична лінія зв'язку (телефонія, телеграфія, передача даних), повітряне або інше фізичне середовище (акустичний канал) і ін.

Фізичне середовище, по якому передаються сигнали, називається *лінією зв'язку.* Одна і та сама лінія зв'язку може служити одночасно для реалізації декількох каналів (багатоканальний зв'язок).

У будь-якому каналі зв'язку крім сигналу, згенерованого передавачем розглянутої системи зв'язку, діють і інші сигнали, подібні сигналу по своїй фізичній природі випадкові процеси. Ці сторонні сигнали і процеси *11* накладаються на корисний сигнал і спотворюють його. Тому прийнятий сигнал на виході каналу зв'язку відрізняється від вхідного сигналу. На схемі рис. 1 це відбито виділенням *джерела перешкод* у виді окремого блоку *4*.

Приймач, здійснює відновлення переданого джерелом інформації повідомлення по прийнятому сигналу *9*. Природно, що дана операція можлива, якщо відоме правило перетворення повідомлення у сигнал. На підставі цього виробляється правило зворотного перетворення сигналу у повідомлення (демодуляція, декодування), що дозволяє у кінцевому рахунку вибрати на прийомній стороні повідомлення *10* з відомої множини можливих повідомлень, у ідеальному випадку цілком співпадаючого з переданим повідомленням. Однак так буває не завжди. Внаслідок перекручувань прийнятого сигналу можлива *помилка* при відновленні повідомлення.

Адресат у системах зв'язку — це або безпосередньо людина або технічні засоби, зв'язані з людиною. У біологічних системах зв'язку адресатом є організм.

3.3. Неперервний канал зв'язку і його характеристики

Процес передачі інформації нерозривно зв'язаний із системою передачі інформації, узагальнена схема якої показана на рис. 3.1. Повідомлення у системі зв'язку передаються безперервними або дискретними сигналами; за цією ознакою канали зв'язку класифікуються на *безперервні* і *дискретні.* Відповідно системи передачі інформації розділяються на *системи з безперервним* і *дискретним каналом зв'язку.* Структура цих систем може бути представлена схемою, наведеною на рис. 3.1.

У випадку безперервного каналу зв'язку передавач *2* виконує роль пристрою узгодження джерела повідомлень *1* з безперервним каналом *3*. Передавач здійснює перетворення безперервного (або дискретного) повідомлення у неперервний по структурному параметру сигнал з такими характеристиками, що забезпечують його проходження по даному каналу зв'язку. Приймач 5 відновлює передане повідомлення у формі, зручній для адресата. Сигнал у неперервному каналі спотворюється перешкодою, згенерованою джерелом перешкод *4*.

У випадку системи з дискретним каналом зв'язку на виході передавача *2* і вході приймача 5 діє дискретний по структурному параметру сигнал. Комплекс технічних засобів, що забезпечують передачу дискретного сигналу, називають *дискретним каналом зв'язку.* На схемі дискретний канал представлений блоком *3*.

У багатьох типах систем передачі інформації дискретний канал включає Неперервний канал зв'язку, однак при аналізі дискретного каналу властивості безперервного каналу зв'язку і джерела перешкод враховуються побічно: вони виявляються у властивостях джерела помилок *4*.

У неперервному каналі зв'язку діє Неперервний по структурному параметру сигнал, що називається *аналоговим сигналом.* Часто Неперервний канал розглядається як лінійна система і, отже, може бути описаний *імпульсною характеристикою* $h(t)$ *або частотною характеристикою* $\mathbb{W}(jf)$. Особливістю лінійних систем є те, що для них справедливий *принцип суперпозиції (результуючий ефект складного процесу впливу, представляє собою суму ефектів, викликаних кожним впливом окремо)*.

Характеристикою реальних неперервних каналів є *смуга пропущення,* обумовлена як інтервал частот, у межах якого амплітудно-частотна характеристика не виходить за встановлені межі нерівномірності, наприклад залишається не меншою ніж $q|\mathbb{W}(jf)|$, де q – заздалегідь установлений коефіцієнт більше 1.

3.4. Фізичне кодування сигналів у каналі зв'язку

Існує безліч різних методик фізичного кодування і транспортування даних, але усі вони використовують електромагнітні хвилі у формі, що сумісна з використовуваним середовищем передачі. Ця форма не може бути єдиною, оскільки кожне середовище володіє своїми власними характеристиками.

Електромагнітна хвиля — це фізична форма енергії, що описується відповідним спектром електромагнітних коливань. Цей спектр починається з коливань нульової частини, проходить через діапазон частот, що чує людина (до 25000 коливань у секунду), через різні форми світла і, нарешті, через діапазон величезних чисел, що відповідає частоті рентгенівських і гамма-променів.

Електромагнітна хвиля у міру свого поширення безперервно коливається по деякій симетричній схемі від максимального значення до

мінімального. Для кодування даних використовуються саме ці зміни стану. З підвищенням частоти, можливості кодування даних розширюються. Це природно, оскільки на більш високих частотах відбувається більше змін стану середовища передачі, чим на низьких частотах.

При передачі даних (аналогових або цифрових) за допомогою електричних коливань серія вібрацій називається *сигналом.* Сигнали можуть передаватися на будь-якій частоті, хоча загальновизнано, що частоти нижче 300 МГц не можуть ефективно використовуватися електричними пристроями.

Сигнали більш низьких частот досить стійкі і можуть проникати крізь перешкоди без інтенсивного згасання. Однак у тій частині спектра, що відноситься до світлових хвиль, сигнали можуть цілком згасати у результаті проникнення через найменш щільні матеріали. Звичайно, у випадку використання сигналів з частотами за межами діапазону світлових хвиль (наприклад, рентгенівських променів) це твердження втрачає свою силу. Але при кодуванні і транспортуванні даних це загальне правило залишається справедливим.

Існує пропорційна залежність між довжинами хвиль і частотами. Чим довше хвиля, тим менше частота. Але, як уже відзначалося, чим нижче частота, тим менше можливостей для перенесення даних.

Передача сигналів визначається методом, з використанням якого інформація передається по фізичному середовищу. Цифровим сигналам властиві чіткі зміни фази у противагу плавним, природним змінам аналогових сигналів. Форма цифрового сигналу у порівнянні з аналоговим сигналом показана на рис. 3.2.

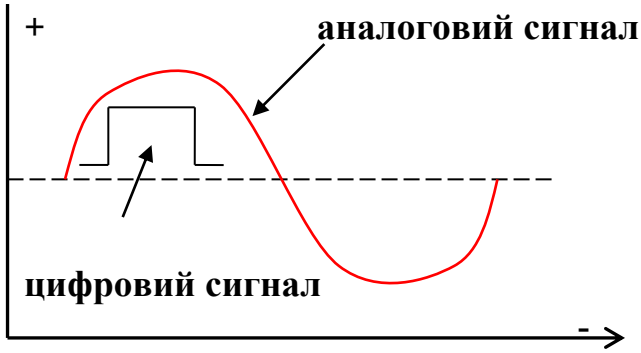


Рис. 3.2. Цифрові й аналогові сигнали

3.5. Типи модуляції у каналі зв'язку

Будь-яку послідовність імпульсів, звуків, сигналів або змінної напруги можна представити за допомогою суми синусоїд. Будь-який синусоїдальний сигнал характеризується амплітудою, частотою і фазою.

Амплітуда синусоїди — це відстань від максимального значення сигналу до осі. Частота синусоїди — це величина, зворотна інтервалу часу, після закінчення якого сигнал повторюється (періодові). Фаза синусоїди має значення тільки при порівнянні з іншим синусоїдальним сигналом тієї ж частоти й амплітуди. Зміна фази при модуляції звичайно відбувається на 90

градусів — сигнали зміщуються у часі відносно один одного на чверть періоду. На рис. 3.3. проілюстровані характеристики синусоїди.

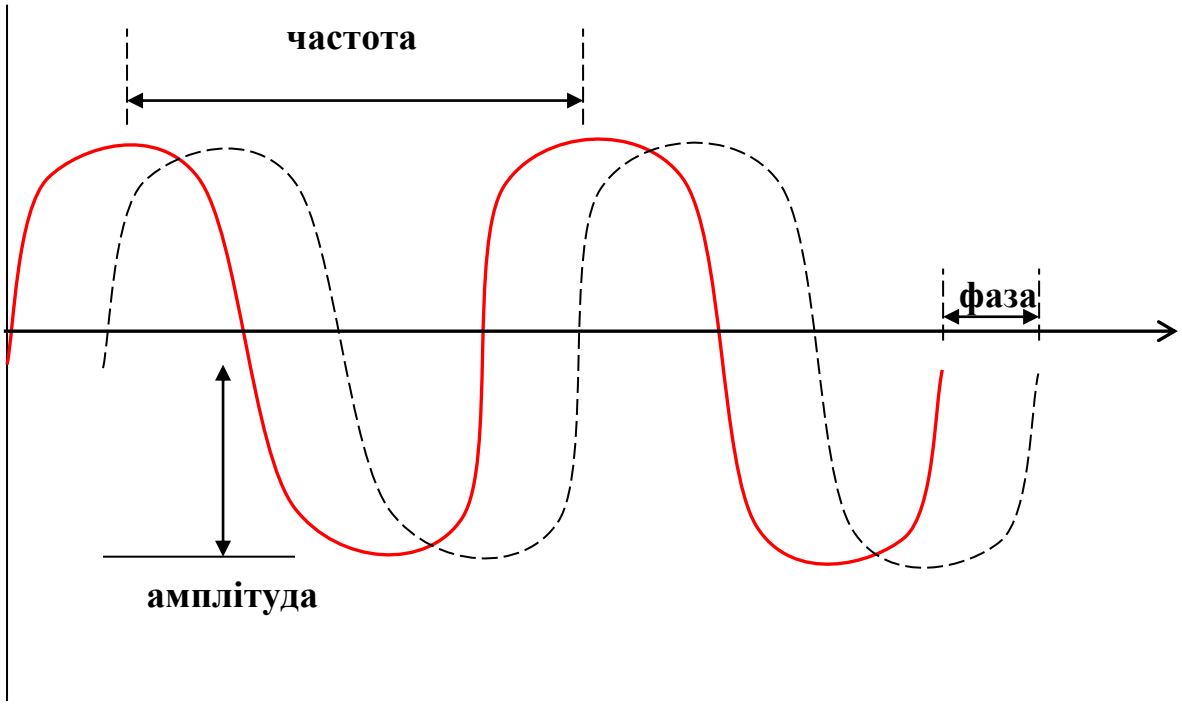


Рис. 3.3. Характеристики синусоїди

Процес використання несного сигналу (рис. 3.4.а) для передачі інформації між двома точками називається *модуляцією.* Зміна однієї з визначальних характеристик синусоїди у результаті модуляції несної лежить у основі процедури передачі інформації. Розрізняють три основних способи модуляції аналогового сигналу: амплітудна модуляція, частотна модуляція і фазова модуляція.

На рис. 3.4.б представлена амплітудна модуляція, при якій змінюється амплітуда сигналу, визначаючи тим самим, передається нульовий або одиничний біт інформації. Сигнал меншої амплітуди відповідає 0, більшої - 1.

Другий спосіб модуляції аналогового сигналу — частотна модуляція, де для позначення нульових і одиничних бітів використовуються різні частоти синусоїди. На рис. 3.4.в для представлення 0 використовується сигнал з частотою несної, а для представлення 1 — сигнал подвоєної частоти.

І останній спосіб — це фазова модуляція, відповідно до якої для позначення 0 і 1 використовується фаза сигналу щодо несної. На рис. 3.4. г вихідна синусоїда позначає нульовий біт, а зміщена — одиничний.

Для того, щоб канали зв’язку могли ефективно переносити цифрові дані, необхідно застосовувати методику модуляції, що змінює параметри сигналу відповідно до характеристик каналу. Логічно, що після такої адаптації підвищується якість передачі даних. Необхідно також використовувати таку методику модуляції, яка б збільшила обсяг переданих даних і знизила вплив шуму і перекручувань. Ряд всесвітньо визнаних методів і стандартизованих швидкостей передачі є основою для сучасних стандартів передачі даних.

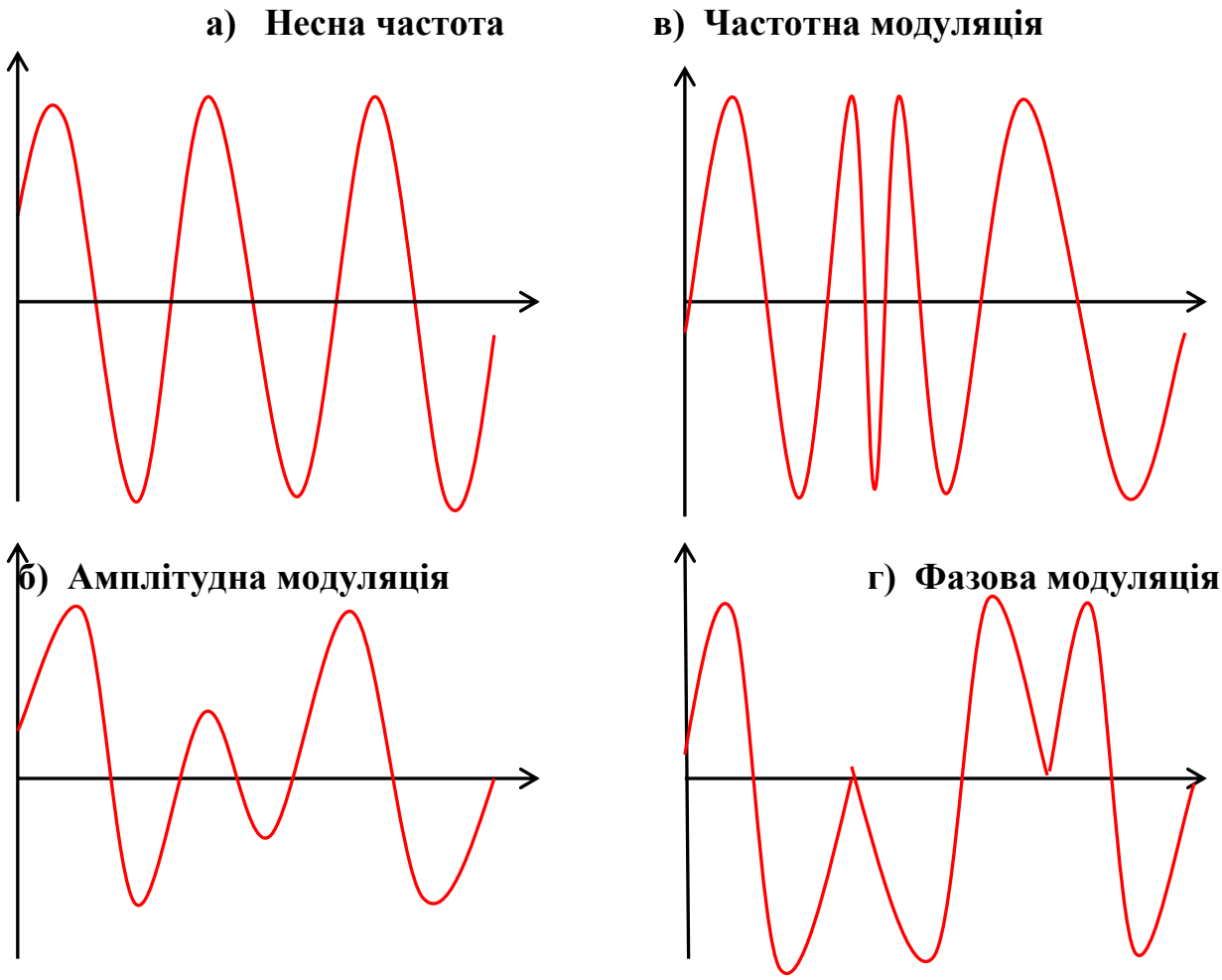


Рис. 3.4. Види модуляції аналогових сигналів

Різні схеми модуляції дозволяють установлювати відповідність між станами лінії і різноманітних сполучень двійкових даних. Застосування схеми модуляції, при якій чотири різні частоти відповідають комбінаціям бітів 00, 01, 10 і 11, дозволяє передавати дані зі швидкістю 1200 біт/с (хоча з формальної точки зору швидкість передачі у бодах буде дорівнює 600 бод/с). Більш високих швидкостей передачі можна досягти шляхом збільшення кількості станів лінії (або "символів") і відповідних їм бітових комбінацій.

Комбінації описаних способів модуляції дозволяють представляти більшу кількість символів і, отже, ще більше підвищити пропускну здатність. Квадратурно-амплітудна модуляція (Quadrature Amplitude Modulation - QAM), застосовуючи сполучення змін фази й амплітуди використовуються для представлення 16 різних станів, що у кінцевому рахунку дає можливість передавати 4 біти одним бодом. Якщо швидкість передачі у бодах дорівнює 2400, цілком можливо ефективно передавати 9600 біт/с (2400 змін стану за секунду х4 біти на одна зміну дорівнює 9600 біт/с).

Ще одним розповсюдженим способом модуляції є імпульсно-амплітудна модуляція (Pulse Amplitude Modulation — PAM).

Технологія PAM використовується для модуляції вхідних даних модемами з пропускною здатністю 56 Кбіт/с, без виконання первинного аналого-цифрового перетворення потоків даних. Ці модеми як і раніше використовують модуляцію QAM для передачі вихідних даних зі швидкістю до 33600 біт/с.

3.6. Технології передачі сигналів

Технології передачі сигналів можуть бути згруповані у дві основні категорії: *широкосмугова передача* (broadband) і *вузькосмугова передача* (baseband). Широкосмугова передача сигналів по своїй природі більше підходить аналоговим технологіям, тоді як вузькосмугова передача зорієнтована на цифрові сигнали.

При широкосмуговій передачі сигналу, доступна смуга частот розбивається на визначену кількість більш вузьких каналів. Кожен такий канал використовується для підтримки передачі окремих сигналів (рис. 3.5). Прикладом широкосмугової передачі є кабельне телебачення. Єдиний коаксіальний кабель надає смугу частот, що переносить окремі сигнали, хоча і використовує загальне середовище передачі з іншими каналами.

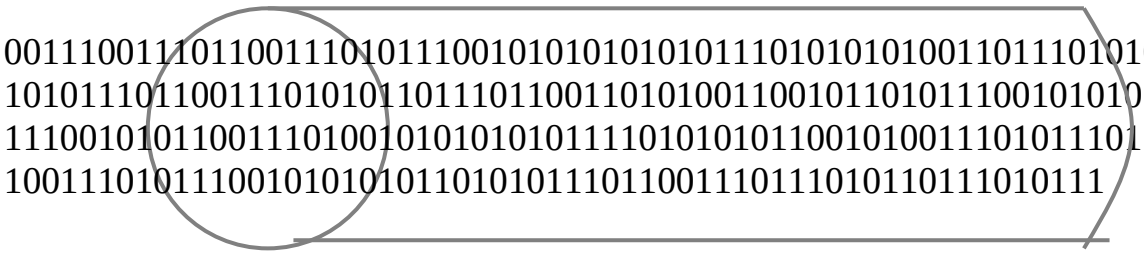


Рис. 3.5. Широкосмугова передача

Вузькосмугова або цифрова передача сигналів заснована на використанні дискретних станів каналу зв'язку для передачі по ньому інформації. Ці дискретні стани звичайно представлені як імпульси (як правило, напруги) і часто називаються прямокутною хвилею.

Вузькосмугова передача сигналів використовує всю доступну смугу частот як один канал: один і той же сигнал передається по всьому діапазону. Така передача показана на рис. 3.6 — двійковий потік цілком заповнює весь канал.

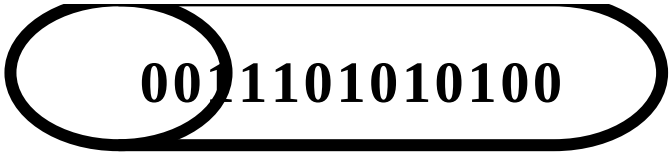


Рис. 3.6. Вузькосмугова передача

Одним із прикладів вузькосмугової передачі є Ethernet. Він використовує всю доступну смугу пропущення (10, 100 або більш Мбіт/с) як єдиний канал передачі.

Основний визначальний фактор при виборі схеми кодування сигналів для вузькосмугової передачі — це простота реалізації синхронізації і дотримання часових співвідношень, що забезпечуються технологією передачі сигналів

3.7. Бездротовий зв'язок

1. Частоти радіопередачі

Радіопередача може відбуватися з використанням різних смуг частот. На рис. показана приблизна схема розподілу спектра електромагнітних хвиль, використовуваного для передачі даних. Ця схема охоплює частоти від 300 Гц до 300 Тгц. Довжина хвилі λ безпосередньо зв'язана з частотою рівнянням

$$\lambda = c/f,$$

де $c = 3x10^8$ м/с (швидкість світла у вакуумі) і f — частота. У звичайних провідних мережах для передачі частот порядку декількох сотень кгц використовується мідна вита пара, а для частот порядку декількох сотень МГц - коаксіальний кабель (нові схеми кодування дозволяють працювати на частоті у кілька сотень МГц навіть при використанні мідної витої пари). Далі, для частот аж до декількох сотень ТГц, використовується волоконна оптика. У цьому випадку, однак, частіше говорять не про частоти, а про довжини хвиль, що рівні, наприклад, 1500 мкм, 1350 мкм і т.д. (інфрачервоний діапазон)

Радіопередача починається з діапазону **наднизьких частот** (ННЧ) — порядку декількох кгц. Це діапазон дуже довгих хвиль. Хвилі низьких частот можуть проникати через поверхню води і здатні огинати поверхню землі, тому використовуються для зв'язку з підвідними човнами. На цих частотах у діапазоні довгих хвиль (ДХ) дотепер працюють радиостанції (між 148,5 КГц і 283,5 КГц). Сотні радиостанций використовують діапазони **середніх частот** (СЧ) і **високих частот** (ВЧ) для радіомовлення з амплітудною модуляцією (АМ). Для цієї мети виділяються діапазон середніх хвиль (СХ — між частотами 520 кгц і 1605,5 кгц) і кілька діапазонів коротких хвиль (КХ — між частотами 5,9 Мгц і 26,1 Мгц). Крім того, у діапазоні від 87,5 Мгц до 108 Мгц ведуться радіопередачі з частотною модуляцією (FM). Частоти, що обмежують зазначені вище діапазони, звичайно фіксуються національними стандартами і можуть розрізнятися у різних країнах. Для (аматорських) радіопередач у світі найчастіше використовуються короткі хвилі. Це обумовлено тим, що вони відбиваються від іоносфери. Потужність передачі може досягати 500 квт, що дуже багато у порівнянні з 1 Вт для мобільного телефону.

Телевізійні станції працюють на більш високих частотах. Для передачі типових аналогових телевізійних сигналів використовуються діапазони 174—230 Мгц і 470— 790 Мгц, тобто смуги дуже високих частот (НВЧ) і ультрависоких частот (УВЧ). У цій області також працює система DAB (223—230 Мгц і 1452-1472 Мгц). Планується, що цей же діапазон буде використовувати цифрове телебачення (470—862 МГц), для якого виділять

деякі зі старих частот аналогового телебачення.

Крім того, частоти УВЧ використовуються для аналогового мобільного телефонного зв'язку (450—465 МГц), на них працюють цифрова система GSM (890-960 МГц, 1710-1880 МГц), цифрові бездротові телефонні системи стандарту DECT (1880-1900 МГц) і багато інших систем. Діапазони НВЧ і особливо УВЧ дозволяють використовувати у мобільних телефонах дуже невеликі антени і встановлювати при цьому відносно надійні з'єднання.

Надвисокі частоти (НВЧ) звичайно використовуються для створення спрямованих мікрохвильових каналів (приблизно 2—40 ГГц) і стаціонарних супутникових служб у С-смузі (4 і 6 ГГц), Q-смузі (Н і 14 ГГц) і К-смузі (19 і 29 ГГц). Розробляється кілька систем у області **надзвичайно високих частот** (НВЧ), близької до інфрачервоного діапазону. Щоб уникнути взаємних перешкод, використання всіх радіочастот регулюється на державному рівні. Регулювання охоплює частоти від 9 кгц до 275 ГГц.

Ще більш високі частоти застосовуються для організації оптичної передачі. Її можна використовувати не тільки у волоконних оптичних каналах, але і для бездротового зв'язку. **Інфрачервона** (IR) передача використовується для встановлення спрямованих з'єднань (наприклад, для організації зв'язку між різними будинками за допомогою лазерних каналів). Найпоширеніша IR-технологія, IrDA працює з довжинами хвиль близько 850—900 нм і застосовується для з'єднання переносних комп'ютерів, персональних цифрових помічників (PDA) і т.д.

Регулювання використання частот

Ресурси радіочастот досить обмежені, що ускладнює завдання загального всесвітнього регулювання використання частот. За всесвітню координацію дій у області телекомунікацій (провідних і бездротових) відповідає Міжнародний телекомунікаційний союз (ITU), що базується у Женеві. Союз ITU є підрозділом ООН. Сектор радіозв'язку ITU (ITU-R) (попередня назва цієї організації — Міжнародний консультативний комітет з радіомовлення (CCIR)) займається стандартизацією бездротового зв'язку, зокрема, плануванням використання частот.

Щоб досягти хоча б часткового успіху у всесвітній координації і відбити національні інтереси, світ був розділений комітетом ITU-R на три регіони. У **регіон 1** входять Європа, Ближній і Середній Схід, пострадянські держави й Африка. **Регіон** 2 охоплює Північну і Південну Америку, а також Гренландію. Далекий Схід, Австралія і Нова Зеландія були включені у **регіон** 3. Усередині цих регіонів за подальше регулювання використання частот відповідальні національні відомства. Наприклад, у США ці обов'язки закріплені за Федеральною комісією зв'язку (FCC), а у Європі кілька країн мають загальний орган — Європейську конференцію поштових і телекомунікаційних відомств (CEPT). Хоча CEPT і відповідає за загальне планування, багато задач були передані іншим відомствам (що робить процес регулювання досить заплутаним). Приміром, Європейський інститут стандартів по телекомунікаціях (ETSI) відповідає за стандартизацію і

поєднує національні органи стандартизації, державних постачальників, виробників, групи користувачів і дослідницькі інститути.

Комітет ITU-R періодично проводить конференції, на яких обговорюється і затверджується розподіл частот у всіх трьох регіонах. Досягнення повної гармонії у використанні частот — досить складна задача. Оскільки у багатьох країнах і регіонах уже розгорнуті визначені технології, такі країни змінюють сформований розподіл частот дуже неохоче. Але для використання супутникових комунікацій узгодження використання частотних діапазонів просто необхідно. Супутники, особливо нове покоління супутників на низьких орбітах, не "вважаються" з національними нормами і діють у всесвітньому масштабі.

У табл. наведено кілька прикладів частот, використовуваних для мобільного телефонного зв'язку (аналогового і цифрового), бездротових телефонів і бездротових ЛОС у всіх трьох регіонах. Більш старі системи, наприклад, Скандинавська мобільна телефонна система (NMT), діють не у всій Європі і можуть працювати на різних частотах у різних державах. Більш нові (цифрові) системи (стандартизовані інститутом ETSI) є сумісними у всій Європі.

Приклади розподілу частот

	Європа	США	Японія
Мобільні телефони	NMT 453-457 МГц, 463-467 МГц; GSM 890-915 МГц, 935-960 МГц; 1710-1785 МГц, 1805-1880 МГц	AMPS, TDMA, CDMA 824-849 МГц 869-894 МГц; GSM, TDMA, CDMA 1850-1910МГц, 1930-1990 МГц	PDC 810-826 МГц, 940-956 МГц, 1429-1465 МГц, 1477-1513 МГц
Бездротові телефони	CTl+ 885-887 МГц, 930-932 МГц; CT2 864-868 МГц; DECT 1880-1900 МГц	PACS 1850-1910МГц, 1930-1990МГц; PACS-UB 1910-1930 МГц	PHS 1895-1918МГц; JCT 254-380 МГц
Бездротові ЛОМ	IEEE802.1 l 2400-2483 МГц; HIPERLAN 1 5176-5270 МГц	IEEE 802.11 2400-2483 МГц	IEEE 802.11 2471-2497 МГц

Хоча більш старі аналогові мобільні телефонні системи (наприклад, система NMT або її похідні, що працюють на частоті 450 МГц) ще діють, у Європі панує цілком цифрова система GSM, що працює на частотах 900 Мгц і 1800 Мгц. Система GSM на частоті 1800 Мгц також відома за назвою DCS

1800 — цифрової стільникової системи. У США, на відміну від Європи, комісією FCC було дозволене використання декількох стільникових технологій у однакових смугах частот близько 850 Мгц. Це привело до співіснування декількох різних рішень. Спочатку на таких частотах діяла лише аналогова розширена мобільна телефонна система AMPS. Пізніше виникли мобільні телефонні системи, що працюють у дуальному режимі (стандарт IS-54), що підтримують цифрові послуги множинного доступу з часовим поділом (TDMA) і аналогову систему AMPS. Крім того, були розроблені стандарт IS-136 для цифрових систем TDMA (який також відомий як NA-TDMA або Північноамериканський TDMA) і стандарт IS-95 для телефонних систем множинного доступу з кодовим поділом каналів (CDMA). Таким чином, у США не прийняли на державному рівні загальної мобільної телефонної системи, а поклалися на ринкові механізми. Виникло багато різних систем і тому у США, на відміну від Європи, дотепер не забезпечується повне покриття. Довге обговорення різних достоїнств і недоліків систем CDMA і TDMA зрештою привело до всесвітнього успіху системи GSM. Зараз GSM використовують більш ніж у 120 країнах, причому користувачі можуть подорожувати з тим самим мобільним телефоном у Зімбабве, Узбекистані, Швеції, Сінгапуі, Тунісі, Росії, Італії, Греції, Німеччині, Китаї, Бельгії, Австрії і багатьох інших країнах.

У Японії була встановлена персональна цифрова стільникова система (PDC), відома раніш за назвою японської цифрової стільникової системи (JDC). Перші мобільні телефони, що охоплюють системи по усьому світу, з'явилися у 1999 році.

У світі існує багато різних стандартів бездротових телефонів. Однак, ця розмаїтість не приводить до такої кількості проблем, як різні стандарти мобільного телефонного зв'язку. Усе ще використовуються деякі старі аналогові системи, наприклад, CTl+. Крім того, для бездротових телефонів часто застосовуються і цифрові технології. Тут можна привести кілька прикладів. Першим цифровим стандартом бездротових телефонів був стандарт CT2, що з'явився у Великобританії. У Європі діє стандарт цифрових розширених бездротових телекомунікацій DECT, а у США — система зв'язку персонального доступу PACS (у неліцензованій смузі частот — PACS-UB). У Японії персональна система переносних телефонів PHS замінила аналогову японську систему бездротових телефонів JCT. У цих системах уже забезпечується взаємодія з мобільними телефонами, зокрема, зі стандартами DECT і GSM.

Стандарти для бездротових ЛВС (WLAN) становлять особливий інтерес для організації бездротового мобільного зв'язку між комп'ютерами у університетських містечках або будинках. Зараз розроблено кілька систем у вільній від ліцензування смузі ISM. Самі привабливі з них використовують частоту 2,4 Мгц і доступні для вільної від ліцензування діяльності у усім світі (хоча обмежуючі частоти, потужність передачі і т.п. можуть бути різними для різних держав). Тут найпоширенішим є стандарт IEEE802.11. Європейський стандарт бездротових ЛОС HIPERLAN 1 працює на частоті 5,2 Мгц, але

поки незрозуміло, де буде доступна ця смуга частот.

Багато смуг частот були закріплені за радіомагістралями (наприклад, трансєвропейська радіомагістраль TETRA, у залежності від держави, використовує смуги 380—400 Мгц, 410—430 Мгц, 450—470 Мгц), пейджинговими і супутниковими службами, льотною телефонною системою TFTS (1670—1675 Мгц і 1800—1805 Мгц) і т.д. Крім того, планується виділення нових частот у діапазонах 1885—2025 МГц і 2110—2200 МГц для організації універсальної системи мобільних телекомунікацій UTMS. Незважаючи на сильне екранування більш високих частот різними перешкодами, такі частоти становлять особливий інтерес для високошвидкісної передачі. У зв'язку з цим розглядаються вільні від ліцензування смуги частот близько 5,7 ГГц, 17,2 ГГц, 24 ГГц і навіть 61 ГГц.

Антени

Саме слово "бездротовий" указує на те, що цей режим передачі обходиться без проводів і передача сигналів здійснюється безпосередньо через простір. Для передачі електромагнітних хвиль не потрібно ніякого середовища (наприклад, ефіру). Однак, усе-таки необхідно якось зв'язати передавач із зовнішнім світом і, навпаки, зовнішній світ із приймачем. Це завдання вирішується за допомогою **антен.** Антени являють собою пристрої, що приймають і випромінюють енергію у вигляді електромагнітних хвиль. Приймач і передавач можуть бути зв'язані зі своїми антенами провідниками.

Теоретичною еталонною антеною є *ізотропний випромінювач* — точка у просторі, що випромінює однакову потужність у всіх напрямках. Інакше кажучи, усі точки переданої електромагнітної хвилі з однаковою потужністю випромінювання знаходяться на сфері, у центрі якої розміщена антена. Таким чином, *діаграма спрямованості* ізотропного випромінювача симетрична у усіх напрямках (рис. 3.7.).

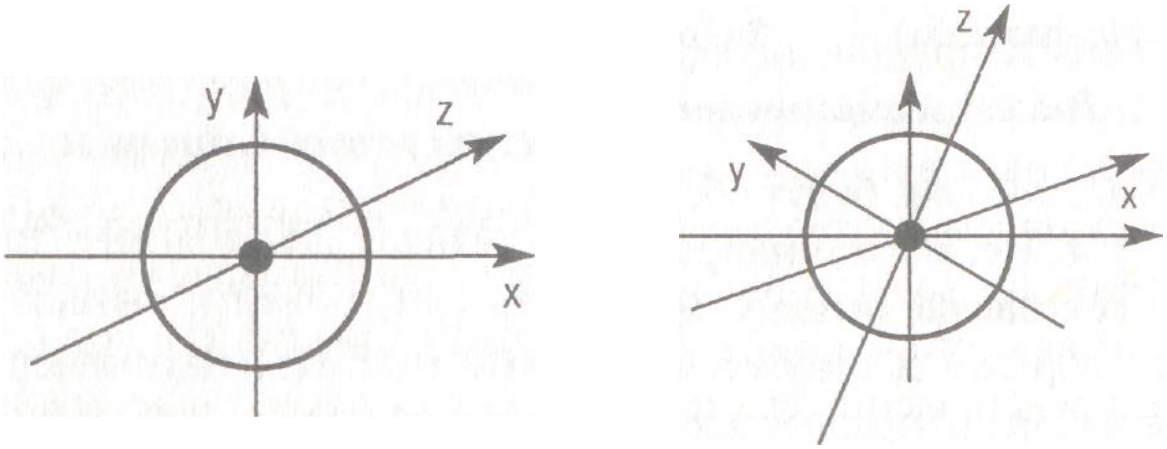


Рис. 3.7. Діаграма спрямованості ідеального ізотропного випромінювача

Однак, у дійсності такої антени не існує. У реальних антенах завжди присутні *ефекти спрямованості*, тобто інтенсивність випромінювання неоднакова у різних напрямках. Найпростішою антеною є тонкий симетричний *вібратор* (вібратор Герца), показаний на рис. 3.8. (праворуч). Для досягнення

ефективної передачі або прийому довжину вібратора не можна вибирати довільно. Наприклад, вона може дорівнювати половині довжини хвилі λ переданого сигналу. При цьому виходить дуже ефективний розподіл енергії випромінювання. У випадку, коли антена встановлюється на даху автомобіля, доцільно використовувати довжину вібратора, рівну λ/4.

Рис. 3.8. Прості антени

Вібратор довжиною λ/2 має однорідну діаграму спрямованості (діє як *ненаправлена* антена) у одній із площин (рис. 3.9, ліворуч). У двох площинах, що залишилися, діаграма спрямованості має форму вісімки (рис. 3.9, ліворуч і у центрі). При використанні антени цього типу подолання навколишніх перешкод досягається за рахунок збільшення потужності сигналу. Перешкодами можуть бути гори, долини, будинку і т.п.

Вид збоку (xy- площина) *Вид збоку (zy-площина)* *Вид зверху (xz-площина)*

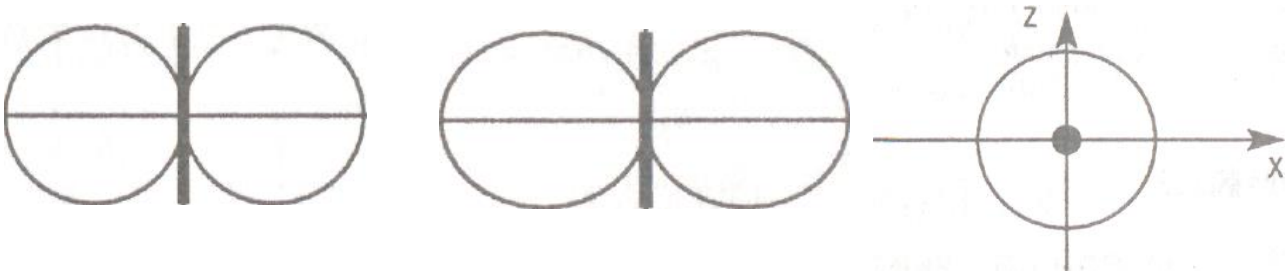


Рис. 3.9. Діаграма спрямованості простого вібратора

Коли антена розміщена, наприклад, у долині або між будинками, однорідна діаграма спрямованості виявляється малоефективною. У подібних випадках частіше використовуються спрямовані антени з виділеними напрямками передачі і прийому. На рис. 3.10. приведена діаграма спрямованості спрямованої антени з головним пелюстком у напрямку осі X. Яскравим прикладом спрямованих антен є супутникові антени (тарілки).

Вид збоку (xy- площина) Вид збоку (zy-площина) Вид зверху (xz-площина)

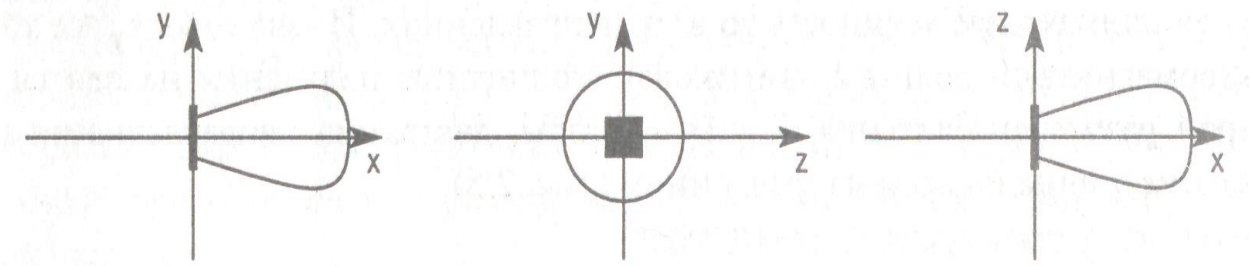


Рис. 3.10. Діаграма спрямованості спрямованої антени

У стільникових системах, звичайно застосовуються саме спрямовані антени. Кілька спрямованих антен, об'єднаних у одній точці простору, утворять секторну антену. Осередок можна розбити, наприклад, на три або шість секторів. Подібним чином досягається можливість багаторазового використання частот. Діаграми спрямованості таких секторних антен приведені на рис. 3.11.

Вид зверху, 3 сектора *Вид зверху, 6 секторів*

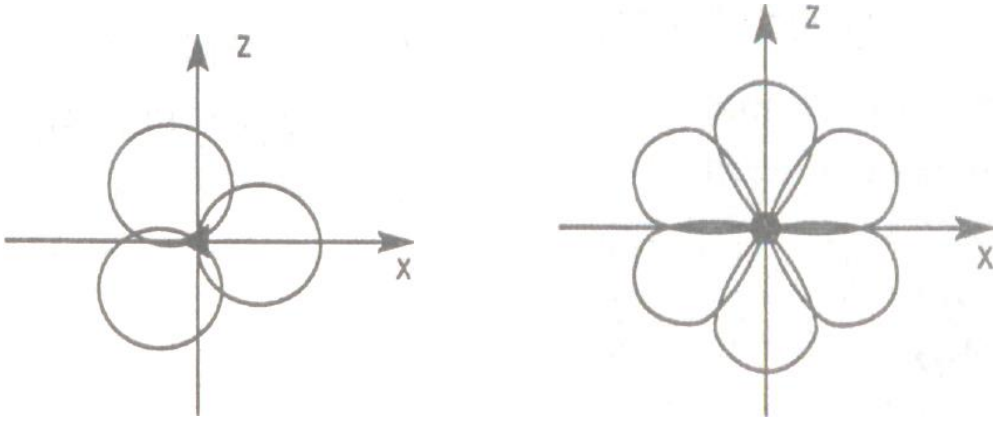


Рис. 3.11. Діаграми спрямованості секторних антен

Для поліпшення прийому і зниження впливу негативних ефектів багатопроменевого поширення також можна об'єднати кілька антен, Такі антени називають **багатоелементними антенними гратами.** Цей підхід дозволяє використовувати різні схеми рознесення. Однією з таких схем є **рознесення з комутацією або рознесення з автовибором,** коли приймач завжди використовує антенний елемент із найбільшою вихідною потужністю. Для збільшення коефіцієнта спрямованої дії антени застосовується **додавання рознесених сигналів.** При цьому, щоб уникнути взаємного придушення, необхідно зробити корекцію фаз сигналів. Існують різні схеми рознесених антен. Дві з них показані на рис. 3.12. Перша схема (ліворуч) складається з відбивача і розміщених на ньому двох антен довжиною λ/4. Відстань між антенами дорівнює λ/2. Друга схема (праворуч) поєднує три вібратори довжиною λ/2, що знаходяться на відстанях λ/2 один від одного. У загальному випадку ці інтервали повинні бути кратними λ/2.

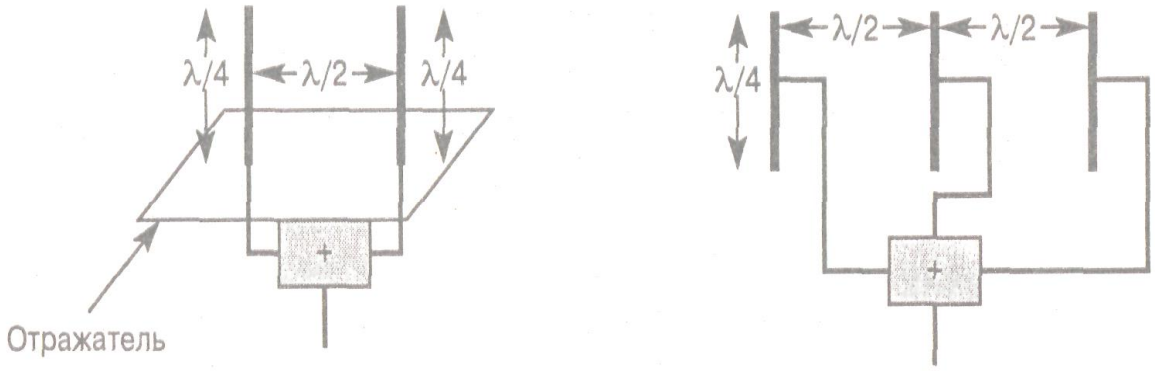


Рис. 3.12. Рознесені антенні системи

Більш ефективним рішенням є **інтелектуальні антени,** у яких використання декількох антенних елементів комбінується зі спеціальною обробкою сигналу. Це дозволяє оптимізувати діаграми спрямованості випромінювання/прийому у залежності від реакції навколишнього середовища на сигнал. Такі антени здатні пристосовуватися до змін у потужності прийому/передачі, а також до різних умов поширення сигналів.

Поширення сигналів

Як і у звичайних провідних ланцюгах, у бездротових комунікаційних мережах завжди є передавачі і приймачі сигналів. Однак, між цими двома типами мереж є істотні розходження у відношенні поширення сигналів. У той час як у провідних мережах сигнал може поширюватися тільки по проводах (це може бути мідна вита пара, коаксіальний кабель, оптоволоконний кабель і т.д.), у бездротових мережах немає кабелів, що визначають напрямок поширення сигналу. Якщо провід не ушкоджений, він у більшості випадків має однакові характеристики у будь-якій своїй точці. Тому поводження сигналу, що поширюється по цьому проводу, (наприклад, залежність прийнятої потужності від довжини кабелю) можна точно вирахувати. У випадку безпроводової передачі таке передбачення можливе лише у вакуумі, тобто коли між передавачем і приймачем немає ніякої речовини. У цьому випадку ситуація виглядає так, як показано на рис. 3.13.

Зона передачі. У межах деякого радіуса можлива передача, тобто прийом сигналу здійснюється з малою кількістю помилок. Приймач здатний установити зв'язок з передавачем, а також сам може працювати як передавач.

Зона детектування. У межах радіуса можливо детектування передачі, тобто передана потужність досить велика (виділяється з фонового шуму). Однак, для встановлення зв'язку кількість помилок виявляється великою.

Зона перешкод. Усередині третього, ще більшого, радіуса передавач фактично перешкоджає іншим передачам, створюючи фоновий шум. Приймач не може детектувати сигнали, що посилаються, тому вони лише створюють перешкоди іншим сигналам.

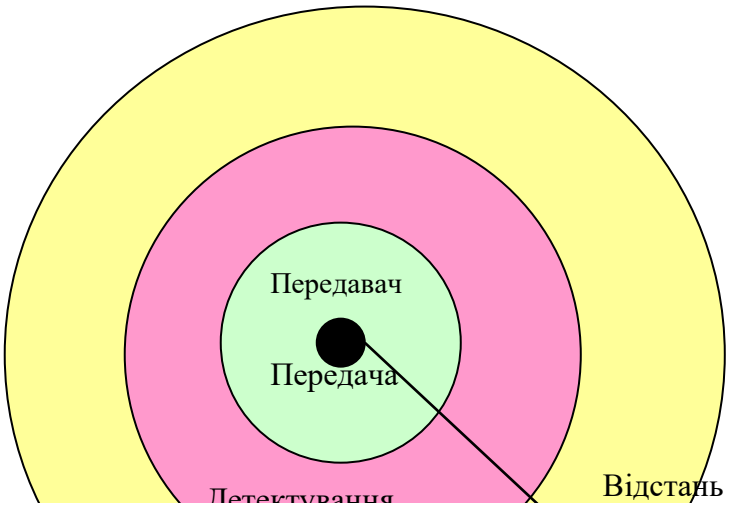


Рис. 3.13. Зони передачі, детектування і перешкод

Така спрощена ідеальна схема ілюструє представлення про окремі **осередки, що** утворяться навколо передавача. Однак, реальне життя відбувається не у вакуумі, і при радіопередачі необхідно враховувати наявність атмосфери, гір, будинків, можливе переміщення передавачів і приймачів і т.д. Три описаних вище кола на практиці перетворюються у багатокутники, форма яких змінюється і залежить від частоти передачі.

Втрати на шляху поширення

У вільному просторі радіосигнали поширюються так само, як і світло (незалежно від частоти), тобто по прямій лінії (без врахування гравітаційних ефектів). Якщо між передавачем і приймачем можна провести подібну лінію, то її називають **лінією прямої видимості (ЛПВ).** Однак навіть коли між передавачем і приймачем немає ніякої речовини (вакуум), потужність сигналу все рівно піддана **втратам у вільному просторі.** Якщо позначити відстань між передавачем і приймачем через *d*, то прийнята потужність P_n буде пропорційна $1/d^2$ **(закон зворотних квадратів).** Причина цього явища дуже проста. Представимо, що передавач— це точка у просторі. Після випромінювання передавачем сигналу з визначеною енергією, сигнал поширюється у просторі зі швидкістю світла як хвиля сферичної форми. Якщо немає ніяких перешкод, то радіус сфери постійно зростає, і енергія сигналу рівномірно розподіляється по її поверхні. Площа ж поверхні сфери *S* зростає зі збільшенням радіуса *d*

відповідно до рівняння $S = 4\pi d^2$.

Навіть коли між передавачем і приймачем немає ніякої речовини, все одно необхідно враховувати деякі додаткові параметри. Зокрема, прийнята приймачем потужність залежить від довжини хвилі і коефіцієнтів спрямованої дії антен передавача і приймача. Коли ж між передавачем і приймачем з'являється речовина, ситуація ще більш ускладнюється. Більшість радіопередач ведеться через атмосферу, тому сигнали поширюються через повітря, дощ, сніг, туман, пил і т.п. Хоча на невеликих відстанях (наприклад, для ЛОС) такі **втрати на шляху поширення** або **згасання** не приводять до значних ускладнень, передача на великі відстані (наприклад, супутникова передача) сильно залежить від впливу атмосфери. Погодні умови, наприклад, сильний дощ, можуть впливати навіть на звичайний мобільний телефонний зв'язок. Дощ поглинає велику частину випромінюваною антеною енергії (схожий ефект використовується для приготування їжі у мікрохвильових печах), і це може привести до фактичного припинення функціонування каналів зв'язку.

Радіохвилі здатні частково проходити крізь різні об'єкти. Звичайно, чим нижче частота передачі, тим вище ступінь проникнення. Довгі хвилі поширюються на великі відстані навіть у воді — цей ефект використовується для зв'язку з підвідними човнами. У той же час для екранування радіохвиль високої частоти може виявитися досить навіть одного дерева. Чим вище частота, тим більше поводження радіохвиль нагадує поводження світла. Це явище легко зрозуміти за допомогою спектра частот, зображеного на рис. 3.13.

Додатковий вплив умов на поширення сигналів

У вільному просторі радіосигнали, як і світло, завжди поширюються по прямій *лінії.* У дійсності між передавачем і приймачем радіосигналів майже ніколи не буває лінії прямої видимості. Мобільні телефони використовуються у великих містах із хмарочосами, у горах, усередині будинків, автомобілів, і т.д. Таким чином, крім загасання через відстань, на поширенні сигналів між передавачем і приймачем позначається ще кілька ефектів, що сильно залежать від частоти.

Крайньою формою загасання є **блокування** або **екранування** радіосигналів великими перешкодами (див. рис., 3.14 ліворуч). Чим вище частота сигналу, тим більше його поводження подібне поширенню світла. Тому навіть невеликі об'єкти, наприклад, звичайна стіна, вантажівка на вулиці або дерево, здатні блокувати такі сигнали. Ще один важливий ефект, а саме, **відбиття** сигналів, показаний на рис. 3.14 праворуч. Якщо об'єкт досить великий у порівнянні з довжиною хвилі передачі (сюди можна віднести, наприклад, великі будинки, гори або поверхню землі), сигнал буде від нього відбивається. При цьому деяка частина потужності сигналу завжди поглинається об'єктом, при відбитті відбувається ослаблення сигналу. Відбиття дозволяє передавати сигнали навіть при відсутності лінії прямої видимості. Це типовий випадок для передачі у містах або гірських районах. Сигнали передавача можуть кілька разів відбитися від стін будинків, перш ніж

досягнуть приймача. Чим більше разів відіб'ється сигнал, тим слабкішим він стає.

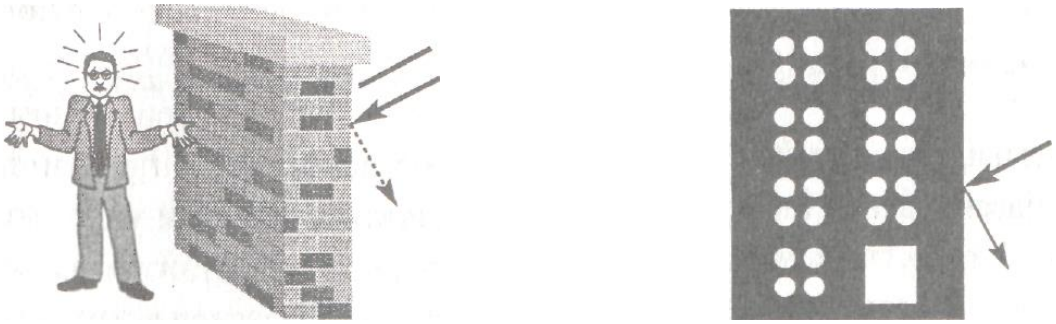


Рис. 3.14. Блокування (екранування) і відбиття радіохвиль

Екранування і відбиття обумовлені об'єктами, розміри яких набагато перевищують довжину хвилі сигналу (у цьому випадку радіохвилі поводяться як "частки хвилі"). У той же час існують ефекти, що підкреслюють "хвильовий" характер радіосигналів. Якщо перешкода має розміри порядку довжини хвилі або менше, радіохвилі можуть **розсіюватися** на ньому (див. рис. , ліворуч). При розсіюванні сигнал, що надходить, розділяється на більш слабкі вихідні сигнали. Експериментально це явище звичайно спостерігають за допомогою лазера і маленького отвору або перешкоди. У нашому випадку, однак, потрібно врахувати, що довжини хвиль радіопередачі, наприклад, системах GSM і AMPS, складають кілька десятків сантиметрів. Тому джерелами розсіювання сигналів може бути безліч предметів нашого звичайного оточення. Ще одним ефектом є дифракція хвиль. Цей ефект досить схожий на розсіювання (рис. 3.15, праворуч). На вершині гори радіохвилі відхиляються від прямої лінії і поширюються у різних напрямках. Загальним результатом процесів розсіювання і дифракції є зміна потужності сигналу у залежності від місцезнаходження приймача.

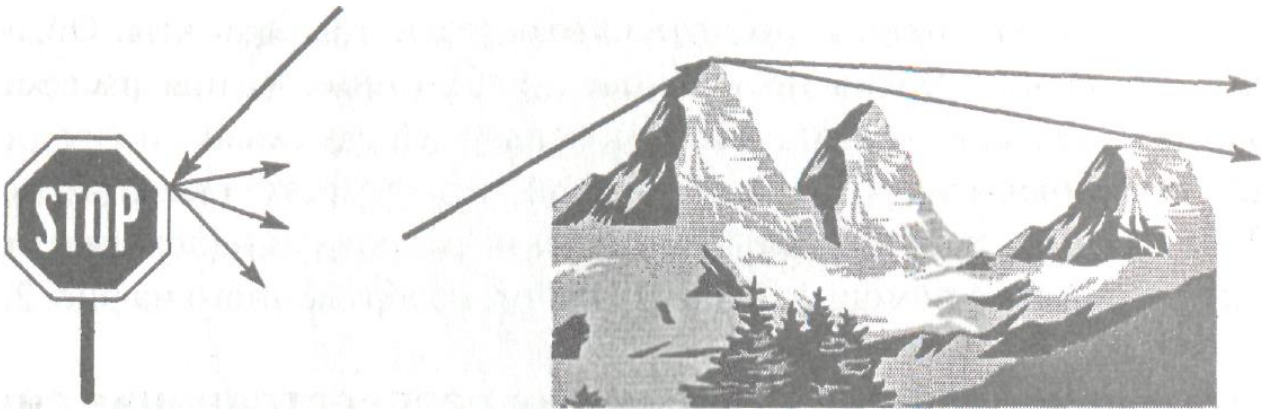


Рис. 3.15. Розсіювання і дифракція хвиль

Багатопроменеве поширення

Пряму передачу радіосигналів від передавача до приймача завжди супроводжують ефекти поширення, що є причиною одного із самих

неприємних ускладнень радіозв'язку - виникнення багатопроменевого поширення.

Радіохвилі, що випускаються передавачем, можуть поширюватися по прямій лінії, відбиватись від великого будинку або розсіюватися на менших перешкодах. На цьому спрощеному малюнку приведено лише три можливих шляхи поширення сигналу. У дійсності їх може бути набагато більше. Через кінечну швидкість світла сигнали, що поширюються по різних шляхах, досягнуть антени приймача у різний час. Цей ефект (зумовлюваний багатопроменевим поширення) називається **розширенням внаслідок запізнювання:** початковий сигнал розширюється через запізнювання надходження окремих його елементів. Розширення через запізнювання є звичайним ефектом радіопередачі. Тут немає проводів, що направляють хвилі по єдиному шляху. Проте, схоже явище — дисперсія — відбувається і при високошвидкісній оптичній передачі сигналів по багатомодовому оптоволокну. Розширення сигналу внаслідок запізнювання не залежить від руху передавача або приймача. У містах типове значення розширення сигналу внаслідок запізнювання складає порядку 3 мкс. Система GSM, наприклад, допускає розширення сигналу внаслідок запізнювання до 16 мкс, тобто більш ніж трикілометрову різницю ходу окремих променів.

Як же впливає розширення затримки на сигнали, що представляють дані? По-перше, короткий імпульс може розмиватися. При цьому він перетворюється у більш широкий імпульс або навіть у трохи більш слабкі імпульси. На рис. показано тільки три шляхи, тому імпульс передавача при прийомі буде виглядати як три менших імпульси. У реальній ситуації існують сотні різних шляхів, відповідно, окремий імпульс при прийомі виглядає як багато більш слабким імпульсом. Кожному шляхові відповідає своє значення загасання, тому прийняті імпульси мають різну потужність. Деякі з прийнятих імпульсів занадто слабкі навіть для детектування (тобто проявляются у вигляді шуму).

З погляду передавача обидва імпульси рознесені. При прийомі ці два імпульси інтерферують, тобто перекриваються у часі. Тепер представимо, що кожен імпульс відповідає символові, а один або кілька символів відповідають бітові. Тоді енергія, призначена для одного символу, може перетікати до сусіднього символу. Цей ефект називається **міжсимвольною інтерференцією** (InterSimbol Interference, ISI). Чим вище необхідна швидкість передачі, тим гіршими будуть наслідки міжсимвольної інтерференції, тому що початкові символи будуть розташовуватися все ближче і ближче один до одного. Міжсимвольна інтерференція обмежує пропускну здатність радіоканалу з багатопроменевим поширенням (а воно спостерігається у більшості випадків). Через ці перешкоди, що представляють різні символи, сигнали можуть гасити один одного, що веде до неправильної інтерпретації при прийомі і, як наслідок, до помилок при передачі сигналу.

У таких випадках велику користь приносить знання характеристик каналу. Якщо приймачеві відомі затримки різних шляхів (або, принаймні, головних шляхів поширення сигналу), він може компенсувати перекручування, внесені каналом. Можна, наприклад, спочатку передати

послідовність сигналів, відому приймачеві. Потім у приймачі відбувається порівняння прийнятого сигналу з вихідною послідовністю і корекція перекручувань за допомогою пристрою компенсації - еквалайзера.

Міжсимвольна інтерференція і розширення сигналів унаслідок запізнювання мають місце навіть у випадку нерухомих радіопередавачів і приймачів. Ситуація ще більш погіршується, якщо передавач і/або приймач знаходяться у русі. При цьому постійно змінюються і характеристики каналу, і шляхи поширення сигналів. Подібний ефект часто спостерігається при прослуховуванні звичайних аналогових радіоприймачів у автомобілях. Під час їзди потужність прийнятого сигналу може довільним чином різко змінюватися. Такі швидкі зміни прийнятої потужності у часі називаються **короткостроковим загасанням.** Причина у тому, що через наявність різних шляхів поширення сигнали можуть приходити з різним фазовим зсувом і навіть взаємно гаситися, як показано на рис. . Приймачеві необхідно постійно пристосовуватися до змін характеристик каналу, наприклад, змінюючи параметри еквалайзера. Однак, якщо подібні зміни відбуваються занадто швидко (як, наприклад, на автомагістралі у місті), приймач не встигає до них пристосовуватися, і число помилок передачі різко зростає.

На рис. 3.16 представлений ще один ефект - **довгострокове загасання** прийнятого сигналу. Довгострокове загасання показане тут на прикладі потужності, усередненої за часом. Воно обумовлено зміною відстані між передавачем і більш віддаленими перешкодами. У більшості випадків передавачі можуть компенсувати довгострокове загасання, збільшуючи або зменшуючи потужність передачі так, щоб прийнятий сигнал не виходив за визначені межі.

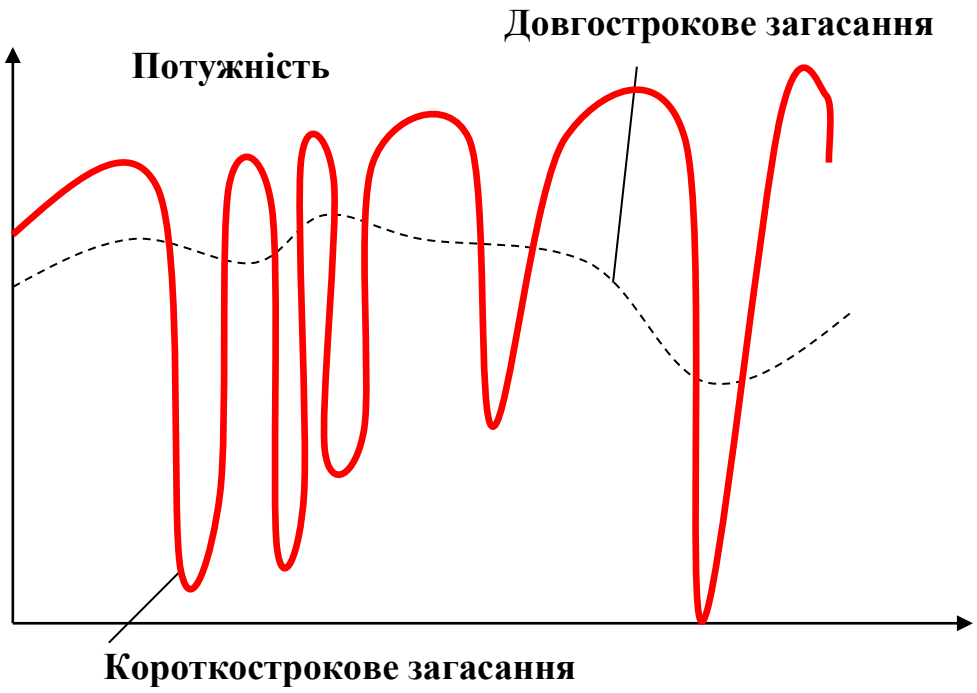


Рис. 3.16. Короткострокове і довгострокове загасання

Існує багато інших ефектів, що роблять вплив на радіопередачу. До них можна віднести, наприклад, доплерівський зсув частоти, обумовлений рухом приймача або передавача. У випадку звукових хвиль його легко можна спостерігати навіть при відносно низькій швидкості, однак, у випадку радіохвиль для досягнення цього ефекту передавач або приймач повинні рухатися дуже швидко. Прикладами таких пристроїв можуть служити супутники. Тут доплерівський ефект приводить до випадкових зрушень частоти. Отже, багатопроменеве поширення обмежує пропускну здатність каналів (через міжсимвольну інтерференцію), а рух передавачів і приймачів приводить до додаткових проблем, обумовленим швидкими змінами характеристик каналів.

3.8. Ущільнення сигналів у каналах зв'язку

Ущільнення є фундаментальним механізмом не тільки у системах зв'язку, але й у практиці повсякденного життя. Ущільнення дозволяє декільком користувачам спільно використовувати деяке середовище, зводячи взаємні перешкоди до мінімуму. Як приклад з повсякденного життя можна розглянути автомагістраль з кількома смугами руху. Багато користувачів (водіїв автомобілів) використовують те саме середовище (автомагістраль) майже без перешкод (аварій). Це виявляється можливим завдяки створенню кількох смуг руху (ущільненню з просторовим поділом). Крім того, різні автомобілі можуть використовувати те саме середовище (смугу) у різні моменти часу (ущільнення з часовим поділом).

У випадку безпроводових комунікацій ущільнення може проводитися у чотирьох вимірах: у просторі, у часі, по частоті і по коду. Завдання ущільнення — виділити кожному каналу зв'язку простір, час, частоту і код з мінімумом взаємних перешкод і одночасно з максимальним використанням середовища. Термін "канал зв'язку" означає тут лише сполучення передавача і приймача, яким необхідно обмінюватися даними між собою. Характеристики каналів зв'язку (наприклад, пропускна здатність, кількість помилок і т.д.) можуть обговорюватися лише при розгляді конкретних технологій. Механізми, що керують ущільненням і розподілом середовища між користувачами (правила дорожнього руху), розглядаються методами керування доступом до середовища.

3.8.1. Ущільнення з просторовим поділом

На рис. 3.17 показано шість каналів k_1, і тримірна система координат. Осі цієї системи відповідають кодові *c,* часу *t* і частоті *f*. Тривимірні просторові області S_n відповідають розмірам кіл, що обмежують зони перешкод. Ця схема описує перший тип ущільнення — ущільнення з просторовим поділом (Space Division Multiplexing, SDM).

Канали k_1, k_2 і k_3 відображаються на три "області" S_1, S_2 і S_3, що розділяють канали між собою і запобігають перекриттю їх зон перешкод. Простір між зонами перешкод називають **захисним інтервалом.** Подібні захисні інтервали необхідні у всіх схемах ущільнення.

Для каналів, що *залишилися, (*k_4, k_5, k_6) необхідно ще три додаткові області. У прикладі з автомагістраллю це означає, що кожен водій отримує свою смугу руху, що приводить до неекономного використання простору. Однак, саме цей принцип використовувався у старій аналоговій телефонній системі: кожен абонент був зв'язаний з місцевою телефонною станцією окремою парою проводів.

Канали k

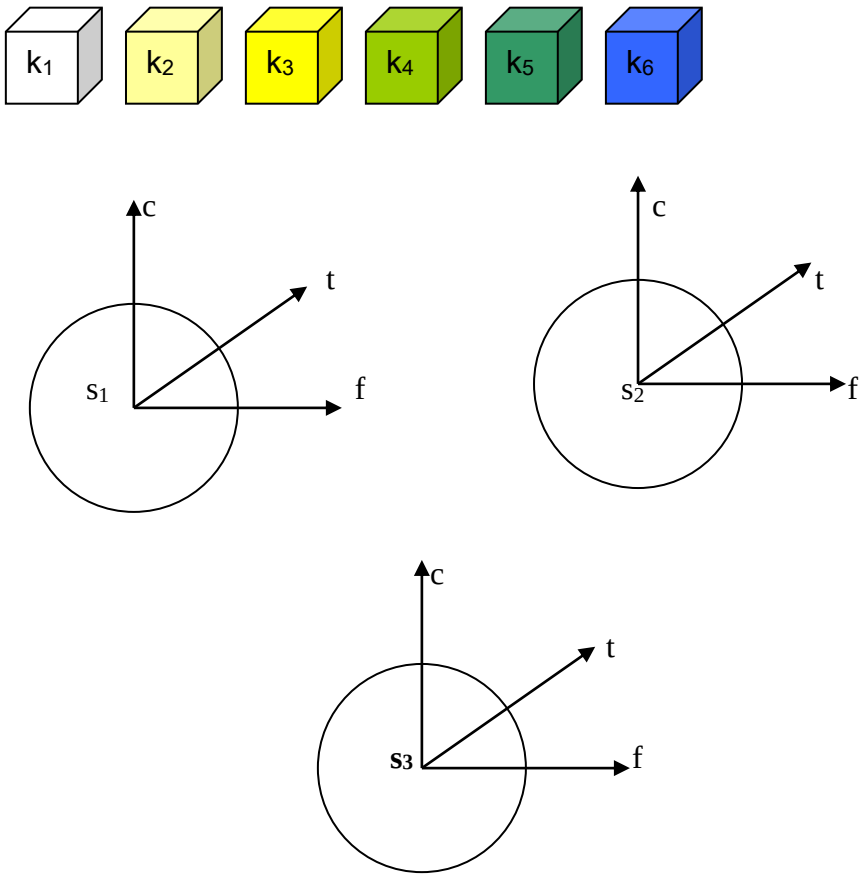


Рис. 3.17. Ущільнення з просторовим поділом (SDM)

У випадку безпроводової передачі схема SDM використовує окремі передавачі для кожного каналу зв'язку при досить великих відстанях між ними (наприклад, для радіостанцій FM-діапазону, у яких зона передачі обмежена одним регіоном, що дозволяє працювати на одній і тій же частоті без взаємних перешкод). Проблеми при використанні схеми SDM виникають при спробі встановити у одній області простору відразу кілька каналів (наприклад, при роботі кількох радіостанцій у одному місті на однаковій частоті). У таких випадках необхідно використовувати одну з інших схем ущільнення (частотне ущільнення, часове ущільнення або ущільнення з кодовим поділом).

3.8.2. Ущільнення з частотним поділом

У схемах ущільнення з частотним поділом (Frequency Division Multiplexing, FDM) вісь частот розбивається на кілька смуг частот, після чого кожному каналові *k*, виділяється власна смуга (рис. 3.18). Передавачі, що працюють у

визначеній смузі частот, можуть використовувати її безперервно. Кожному користувачеві надається окремий канал (при використанні повнодуплексного методу — два канали), на частоту якого настроюються приймач і передавач. Для запобігання перекриття смуг частот (перешкод сусідніх каналів) необхідні захисні інтервали. Подібна схема використовується радіостанціями, що працюють одному регіоні (кожна станція має власну частоту).

Однак і ця схема має недоліки. Радіостанції працюють цілодобово, а мобільний зв'язок зазвичай використовується лише кілька хвилин на добу. Тому виділення окремої частоти для кожного з можливих напрямків зв'язку є зовсім невиправданою витратою частотних ресурсів. Крім того, призначення постійних частот передавачам обмежує їх число і робить схему поділу дуже жорсткою.

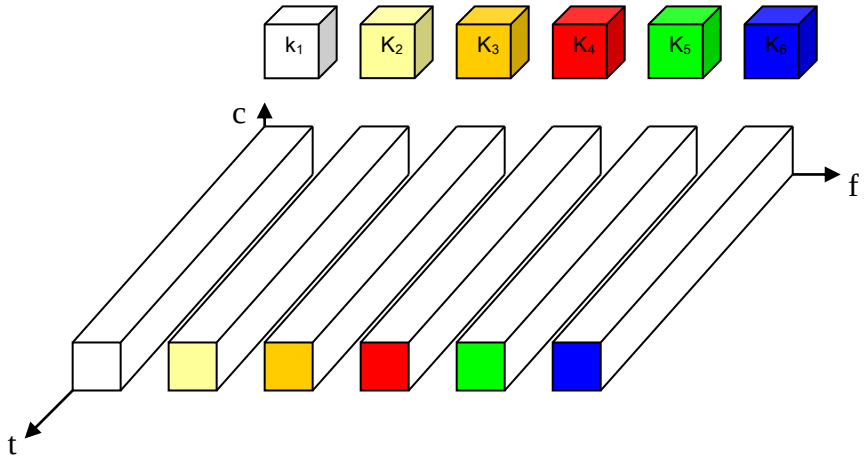


Рис. 3.18. Ущільнення з частотним поділом (FDM)

3.8.3. Ущільнення з часовим поділом

Схема ущільнення з часовим поділом (Time Division Multiplexing, TDM) надає каналові k_i, на визначений час всю смугу частот (всі передавачі використовують однакову частоту, але у різні проміжки часу, що розділені захисними інтервалами (рис. 3.19). У прикладі з автомагістраллю часові захисні інтервали відповідають проміжкам між сусідніми автомобілями. Перекриття двох передач у часі називається перешкодами сполученого каналу (для автомагістралі подібні "перешкоди" означають автомобільну аварію). Щоб виключити такі перешкоди, необхідна точна синхронізація різних передавачів, що є недоліком даної схеми, тому що у даному випадку потрібно або забезпечити всі передавачі точним годинником, або знайти спосіб передавати їм сигнал синхронізації (окрім настроювання частоти, приймачеві необхідно піймати правильний проміжок часу). Перевагою цієї схеми є можливість виділення більшої кількості часу передавачам з більшим навантаженням і меншою кількістю часу — менш завантаженим передавачам.

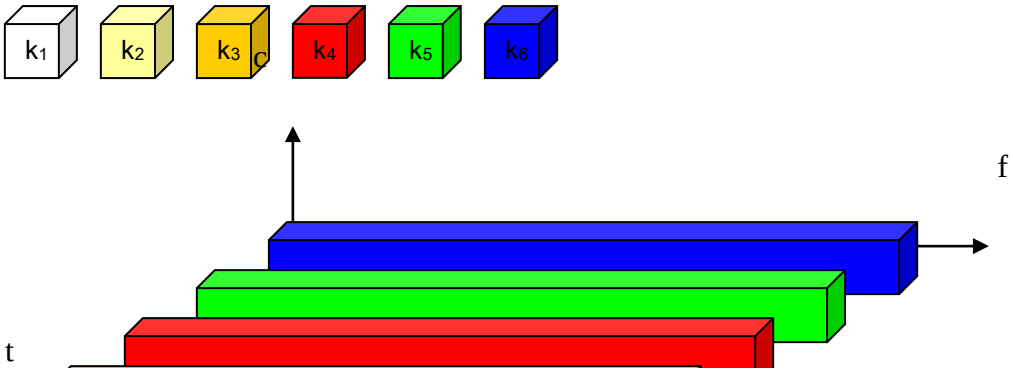


Рис. 3.19. Ущільнення з часовим поділом (TDM)

Схеми ущільнення з частотним і часовим поділом можна об'єднати. У цьому випадку каналу k_i виділяється визначена смуга частот на деякий проміжок часу (рис. 3.20).

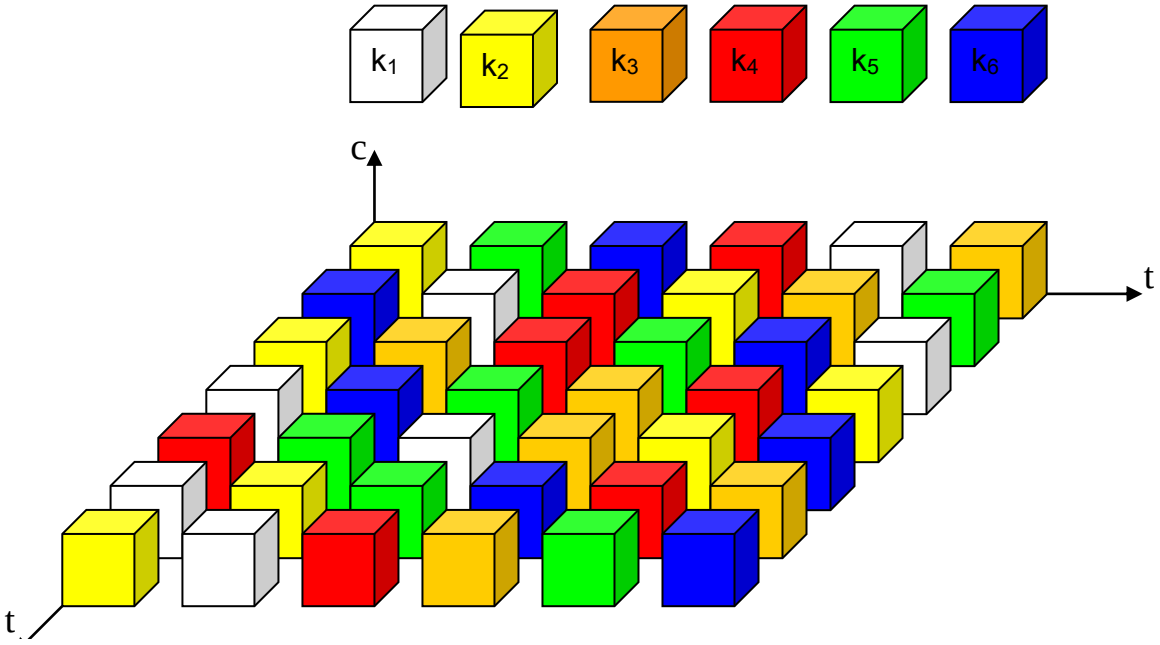


Рис. 3.20. Об'єднання частотного і часового ущільнення у єдину схему

Тут захисні інтервали необхідні і у часовому, і у частотному вимірах. Така схема більш стійка до частотно-виборчих перешкод, тобто до перешкод у деякій вузькій смузі частот. Ця смуга може використовуватися каналом тільки протягом короткого часу. Крім того, така схема забезпечує деякий захист від перехоплення, тому що для прослуховування необхідно знати послідовність частот, використовувану передавачем. У мобільному телефонному стандарті GSM об'єднання частотного і часового ущільнення застосовується для

здійснення передач між мобільним телефоном і базовою станцією.

Недоліком цієї схеми є необхідність узгодження роботи різних передавачів. Тут потрібно одночасно керувати і послідовністю частот, і моментами часу, у які відбувається зміна цих частот. Якщо для двох передавачів однакова частота буде обрана у один і той же час, вони будуть заважати один одному. Однак, якщо зміна частоти (перескок частоти) відбувається досить швидко, проміжки взаємних перешкод будуть невеликими. При цьому, у залежності від використовуваної схеми кодування даних у сигнали, приймач зможе відновити вихідні дані.

3.8.4. Ущільнення з кодовим поділом

Завдяки властивій схемі ущільнення з кодовим поділом (Code Division Multiplexing, CDM) високій безпеці, спочатку вона використовувалася тільки у військових цілях (разом з технологією розширеного спектра). Як показано на рис. 3.21, усі канали k_i використовують для передачі однакову частоту у один і той же час.

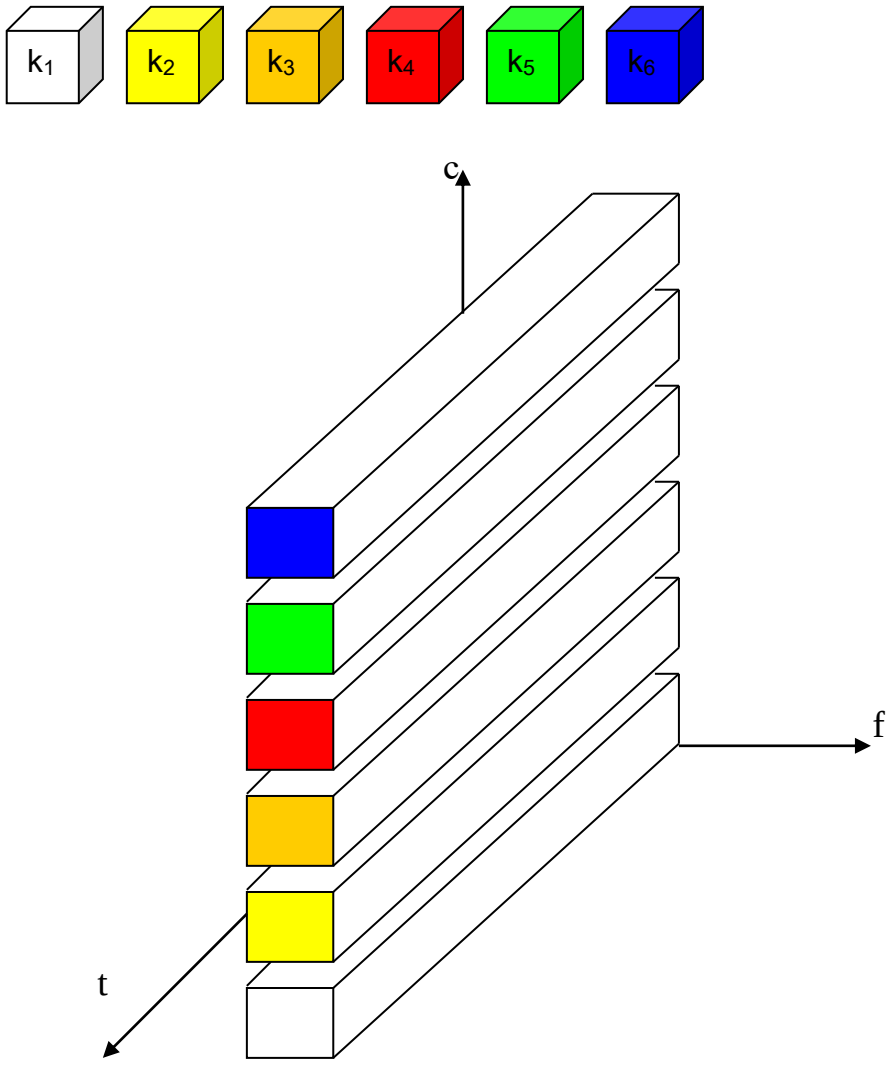


Рис. 3.21. Ущільнення з кодовим поділом (CDM)

Поділ тут досягається за допомогою присвоєння кожному каналові деякого "коду". Для забезпечення захисних інтервалів використовуються коди, що знаходяться у кодовому просторі на визначеній "відстані" між собою, наприклад, ортогональні коди.

Як приклад схеми CDM з повсякденного життя можна узяти вечірку, на якій зібралися люди з різних країн. Учасники вечірки встановлюють канали зв'язку, тобто розмовляють один з одним, використовуючи однаковий діапазон частот (у залежності від голосу, це може бути 300—6000 Гц) у один і той же час. Коли усі розмовляють на одній мові, необхідно просторовий поділ (тобто розбивка на групи, що розмовляють з "обмеженою потужністю передачі"). Однак, якщо використовувати інший код, тобто іншу мову, людина може "настроїтися" на неї і відрізнити розмову на цій мові від усіх інших розмов (які будуть виявлятися у виді фонового шуму). Цей приклад пояснює, чому захищеність передачі є невід'ємною рисою технології кодового поділу: сигнали можна одержувати, але вони будуть марними, якщо невідомо мову. З використанням секретного коду (мови) установлення безпечного каналу можливо і у "ворожому" оточенні. (На звичайній вечірці це може привести до непорозумінь.) У нашому прикладі також можуть знадобитися визначені захисні інтервали. Зокрема, одночасне використання російської і української мов може не спрацювати, тому що вони занадто близькі між собою. Однак, наприклад, українська і фінська мови настільки "ортогональні" (спрямовані у різному напрямку, несхожі), що подібні канали зв'язку легко можна буде розділити.

Головною перевагою схеми CDM, важливим для безпроводової передачі, є високий ступінь захисту від перешкод і прослуховування. Хоча окремим каналам необхідно присвоювати різні коди, проте, кодовий простір просто величезний у порівнянні з частотним простором. Тому присвоєння індивідуального коду кожному передавачеві зазвичай не приводить до проблем. Головний недолік цієї схеми — відносно висока складність приймачів. Приймач повинен знати код і відокремлювати канал з потрібними даними від фонового шуму, що складається з інших сигналів і шуму навколишнього середовища. Крім того, для правильного декодування необхідна точна синхронізація передавача і приймача.

3.9. Цифрова передача сигналу

Головною темою даного розділу є цифрова модуляція, при якій цифрові дані (0 і 1) переводяться у аналоговий сигнал (модулюючий сигнал). Цифрова модуляція сигналу необхідна у тих випадках, коли потрібно передавати дані через середовище, що допускає тільки аналогову передачу. Як приклад з області провідних мереж можна привести аналогову телефонну систему — для підключення до цієї системи комп'ютера потрібен модем. Модем перетворює цифрові дані у аналогові сигнали і навпаки, аналогові сигнали у цифрові дані.

Цифрова передача використовується, наприклад, у провідних локальних мережах і усередині самих комп'ютерів. Однак, у безпроводових мережах безпосереднє застосування цифрової передачі неможливо. У цьому випадку

потік бітів спочатку необхідно перетворити у аналоговий сигнал. Трьома основними способами такого перетворення є **амплітудна маніпуляція** (Amplitude Shift Keying, ASK), **частотна маніпуляція** (Frequency Shift Keying, FSK) і **фазова маніпуляція** (Phase Shift Keying, PSK).

Крім перетворення цифрових даних у аналогові сигнали, безпроводова передача має потребу у додатковій, **аналоговій модуляції.** Вона переносить на несну радіочастоту центральну частоту модулюючого аналогового сигналу, отриманого після цифрової модуляції. Для аналогової модуляції, як і для цифрової, існують три основні схеми: **амплітудна модуляція** (AM), **частотна модуляція** (FM) і **фазова модуляція** (PM).

Приклад. Цифрова модуляція перетворює потік бітів, переданих зі швидкістю 1 Мбіт/с, у вузькосмуговий сигнал з частотою 1 Мгц. У безпроводовій системі цей аналоговий сигнал не можна передавати безпосередньо з кількох причин.

- ***Антени.*** *Для ефективної роботи антени її розміри повинні мати той же порядок, що і довжина хвилі сигналу. У прикладі модулюючого сигналу з частотою 1 Мгц висота антени складала б кілька сотень метрів, а для частоти 1 ГГц - кілька сантиметрів.*
- ***Ущільнення з частотним поділом.*** *Схему частотного ущільнення не можна застосувати до немодульованої передачі. Для частотного ущільнення необхідно за допомогою аналогової модуляції перевести модулюючі сигнали на різні несні частоти. Чим вище несна частота, тим ширше смуга частот, доступна для модулюючих сигналів.*
- ***Характеристики середовища.*** *Ефекти загасання, проникнення крізь перешкоди, відбиття, розсіювання і дифракція залежать від довжини хвилі сигналу. Тому у кожному випадку необхідно вибирати такі несні частоти, які б краще підходили для даного застосування: довгі хвилі — для підвідних човнів, короткі хвилі — для переносних пристроїв, дуже короткі хвилі — для спрямованої мікрохвильової передачі і т.д.*

Структурна схема радіопередавача цифрових даних показана на рис. 3.22.

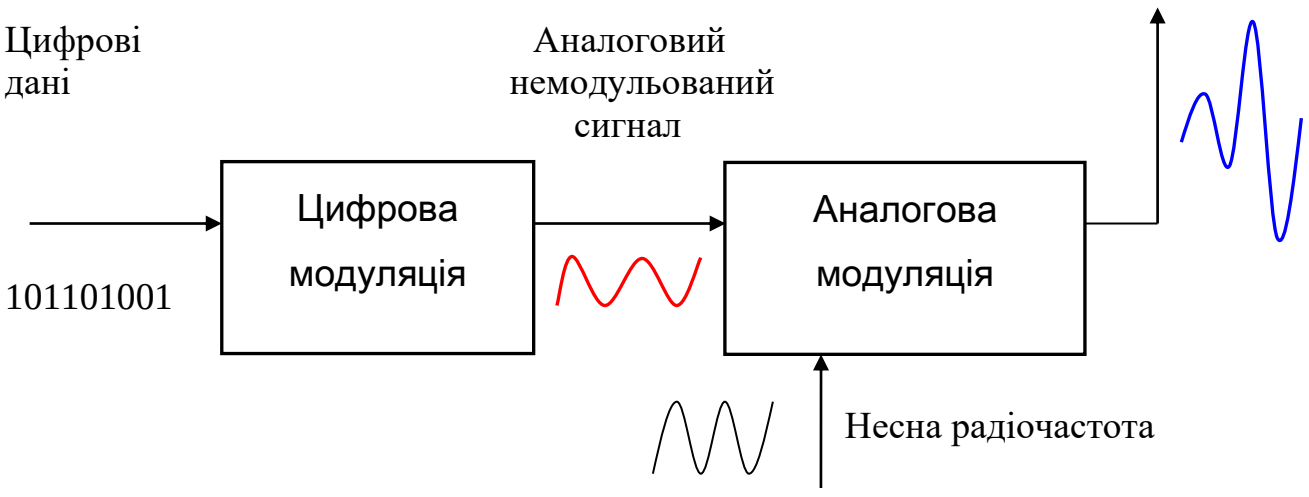


Рис. 3.22. Модуляція у передавачі

На першому етапі виконується цифрова модуляція. Тут відбувається перетворення цифрових даних у модулюючий аналоговий сигнал. Потім центральна частота отриманого аналогового сигналу за допомогою механізму аналогової модуляції переноситься на несну радіочастоту. Далі модульований сигнал передається на антену.

Приймач (рис. 3.23) за допомогою своєї антени приймає сигнал і перетворює (демодулює) його у аналоговий вузькосмуговий сигнал (для цього йому повинна бути відома несна частота).

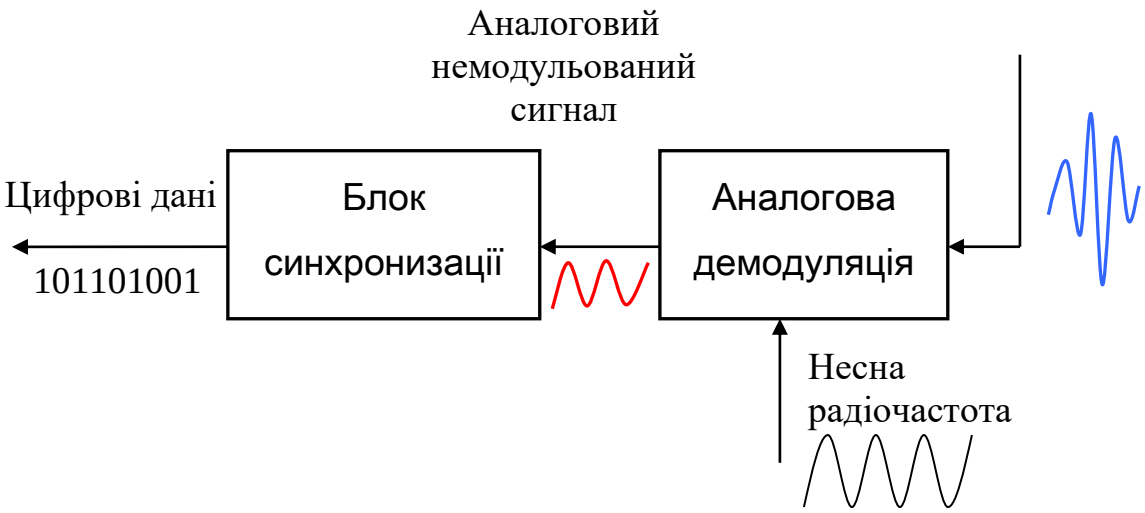


Рис. 3.23. Демодуляція і відновлення даних у приймачі

Для аналогового радіоприймача, налаштованого на прослуховування радіостанції, цього було б цілком достатньо, бо музика складається з аналогових немодульованих сигналів. Для одержання цифрових даних потрібен ще один крок — детектування бітів або кадрів, і у цьому випадку приймач і передавач необхідно синхронізувати між собою. Спосіб синхронізації залежить від використовуваної схеми цифрової модуляції. Після виконання синхронізації приймається рішення про те, що ж являє собою даний сигнал — 1 або 0, після чого відновлюються вихідні дані.

Схеми цифрової модуляції відрізняються у багатьох аспектах. Серед них можна назвати **спектральну ефективність** (тобто наскільки ефективно використовується доступний спектр частот), **енергетичну ефективність** (тобто скільки енергії необхідно для передачі бітів — це питання дуже важливе для портативних пристроїв, що працюють на батареях) і **стійкість** до ефектів багатопроменевого поширення, шумам і перешкодам.

3.9.1. Амплітудна маніпуляція

Амплітудну маніпуляцію (Amplitude Shift Keying, ASK), найпростішу з існуючих схем цифрової модуляції, ілюструє рис. 3.24. Два двійкових значення, 0 і 1, представляються різними рівнями амплітуди сигналу. У наведеному прикладі двійковому нулеві відповідає нульова амплітуда. Для

цієї простої схеми досить вузької смуги частот, але вона досить сприйнятлива до перешкод. Ефекти багатопроменевого поширення, шум, загасання сильно впливають на амплітуду сигналу. Тому у безпроводовому середовищі не вдається забезпечити її сталість. З цієї причини схему ASK зазвичай не використовують для безпроводової радіопередачі. Однак, у системі провідної передачі, що володіє найвищими характеристиками (при оптичній передачі), застосовується саме амплітудна маніпуляція. У цьому випадку надходження світлового імпульсу відповідає одиниці, а відсутність світла — нулеві. Несна частота оптичних систем складає кілька сотень ТГц. Схема ASK також застосовується у безпроводовій інфрачервоній передачі, що використовує спрямований пучок променів або розсіяне інфрачервоне світло.

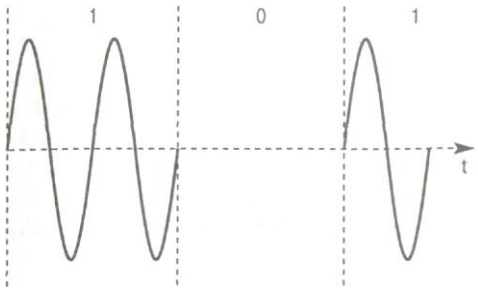


Рис. 3.24. Амплітудна маніпуляція (FSK)

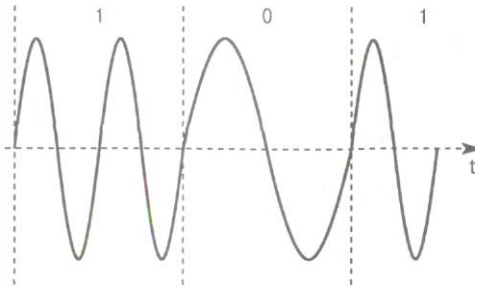


Рис. 3.25. Частотна маніпуляція (ASK)

.

3.9.2. Частотна маніпуляція

Для безпроводової передачі часто використовується частотна маніпуляція (Frequency Shift Keying, FSK) (рис. 3.25). У найпростішій зі схем FSK (бінарній FSK), двійковій одиниці присвоюється частота f_1, а двійковому нулеві — частота f_2. Бінарну частотну маніпуляцію легко реалізувати за допомогою переключення між двома генераторами з частотами f_1 і f_2. Щоб уникнути різких змін у фазі сигналу використовуються спеціальні частотні модулятори з **модуляцією без розриву фази** (Continuous Phase Modulation, CPM). Демодуляцію найпростіше здійснити за допомогою двох смугових фільтрів, один із яких пропускає частоту f_1, а інший — f_2. Потім у компараторі порівнюються вихідні сигнали фільтрів і визначається більш сильний з них. Для схеми FSK необхідна більш широка смуга частот, чим для схеми ASK, але вона менш сприйнятлива до перешкод.

3.9.3. Фазова маніпуляція

При фазовій маніпуляції (Phase Shift Keying, PSK) для представлення даних використовуються зсув фази сигналу. Коли у цифровому сигналі за одиницею іде нуль, у аналоговому модулюючому сигналі відбувається зсув фази на 180° або величину пі (рис. 3.26). Те ж саме відбувається, коли за нулем іде одиниця. Така проста схема, у якій фаза зсувається на 180° кожен раз, коли змінюються

дані, називається **бінарною фазовою маніпуляцією** (BPSK). У найпростішому модуляторі BPSK частота *f* збільшується на +1, якщо двійковими даними є одиниця, і на -1, якщо двійкові дані являють собою нуль.

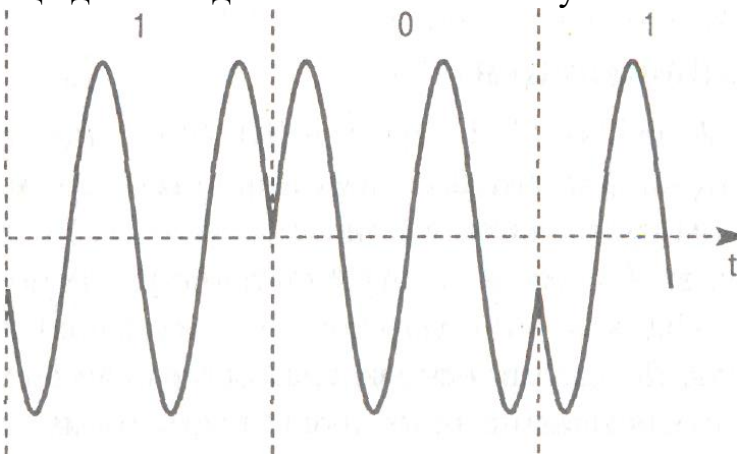


Рис. 3.26. Фазова маніпуляція (PSK)

Для правильного прийому переданого сигналу передавач і приймач необхідно синхронізувати по частоті і фазі. Це можна здійснити за допомогою контуру фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Фазова маніпуляція, у порівнянні з частотноїю менш піддана перешкодам, але її передавачі і приймачі мають більш складну конструкцію.

3.9.4. Поліпшена частотна маніпуляція

У багатьох безпроводових системах використовується **маніпуляція з мінімальним зсувом** (Minimum Shift Keying, MSK) — одна з найбільш відомих схем BFSK. у основу схеми MSK покладена двійкова частотна маніпуляція без різких змін фази, тобто MSK відноситься до схем модуляції без розриву фази. На рис. 2.26 наведений приклад реалізації схеми MSK.

На першому етапі інформаційні біти розділяються на парні і непарні біти з подвоєною тривалістю. Ця схема використовує дві частоти — нижню f_1 і верхню $f_2 = 2f_1$.

При генерації сигналу у схемі MSK нижні або верхня (інвертовані або неінвертовані) частоти вибираються за наступними правилами.

- Якщо парний і непарний біти дорівнюють нулеві, то використовується інвертована верхня частота f_2 (тобто частота f_2 використовується зі зсувом на 180°).
- Коли парний біт дорівнює одиниці, а непарний — нулеві, то інвертується нижня частота f_1. На рис. 3.27 цей випадок ілюструють 5-й і 7-й стовпці.
- Якщо парний біт дорівнює нулеві, а непарний — одиниці, як для стовпців 1-3, то застосовується частота f_1, без зміни фази.
- Нарешті, якщо обидва біти дорівнюють одиниці, вибирається вихідна частота f_2.

Отже, коли парний і непарний біти рівні, завжди вибирається верхня

частота. Якщо непарний біт дорівнює нулеві, сигнал інвертується. Це дозволяє уникнути будь-яких зрушень фази у кінцевому сигналі схеми MSK.

При додаванні у схему фільтра нижніх частот (фільтра гауса) схема MSK перетворюється у **гаусову маніпуляцію з мінімальним зсувм** (GMSK). Ця схема цифрової модуляції застосовується у багатьох європейських безпроводових стандартах, зокрема, у стандартах GSM, DECT, HIPERLAN. Фільтр звужує занадто широкий спектр частот, необхідний для роботи схеми MSK.

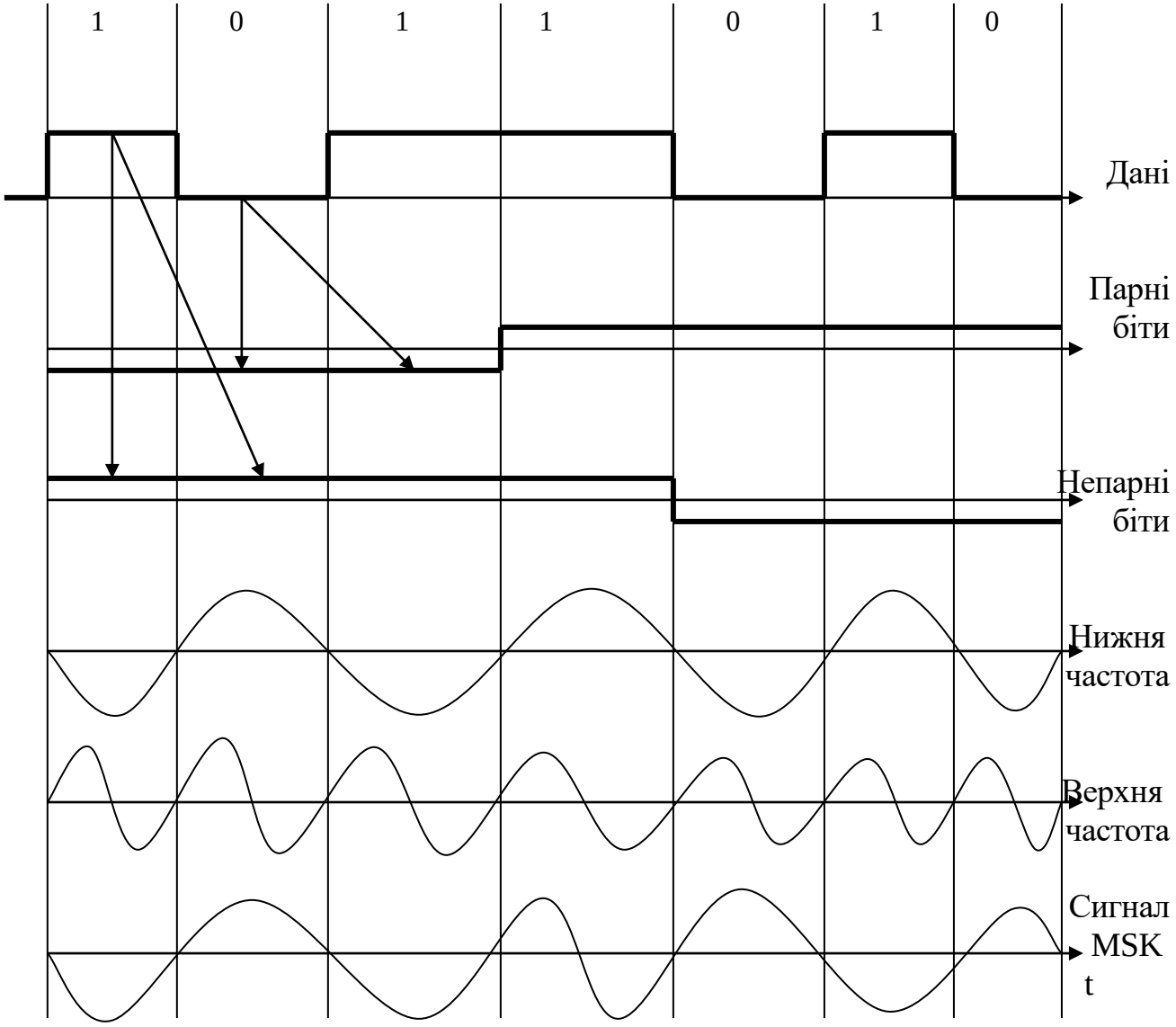


Рис. 3.27. Маніпуляція з мінімальним зсувом (MSK)

3.9.5. Поліпшена фазова маніпуляція

Існує кілька способів поліпшення простої схеми PSK. у основній схемі BPSK використовується лише одне можливе значення зсуву фази - 180°. На рис. 2.28-а ліворуч схема BPSK показана на фазовій діаграмі (звичайно таке представлення виявляється більш зручним, чим представлення на часовій діаграмі, наведене на рис. 3.28-б). Праворуч представлена **квадратурна схема PSK** (QPSK) - одна з найпоширеніших схем фазової маніпуляції. Вона забезпечує більш високу швидкість передачі при використанні тієї ж смуги

частот за рахунок кодування двох бітів у одному зсуві фази. З іншого боку, у цій схемі можна зменшити смугу частот і одержати таку ж швидкість передачі, як і для схеми BPSK.

Схему QPSK (як і інші схеми фазової маніпуляції) можна реалізувати двома способами. Зсув фази здійснюється щодо **опорного сигналу** (тієї ж самої частоти). При використанні цієї схеми нульовий зсув фази означає, що сигнал знаходиться у фазі з опорним сигналом. Комбінації бітів 11 у схемі QPSK відповідає фазовий зсув 45°, комбінаціям 10, 00 і 01 — 135°, 225° і 315° відповідно. Усі зсуви фази розглядаються щодо опорного сигналу.

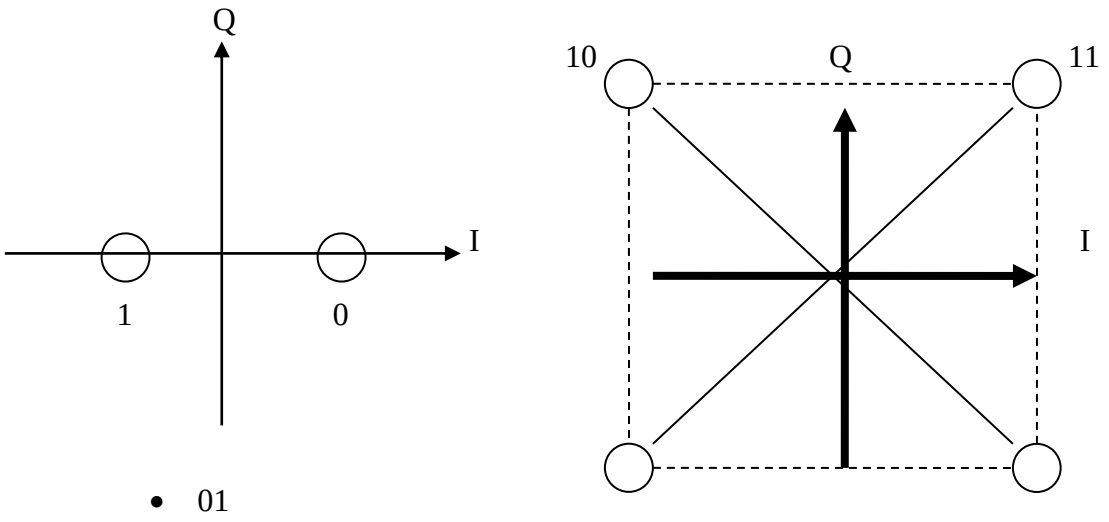


Рис.3.28-а. Схеми BPSK та QPSK представлені на фазовій діаграмі

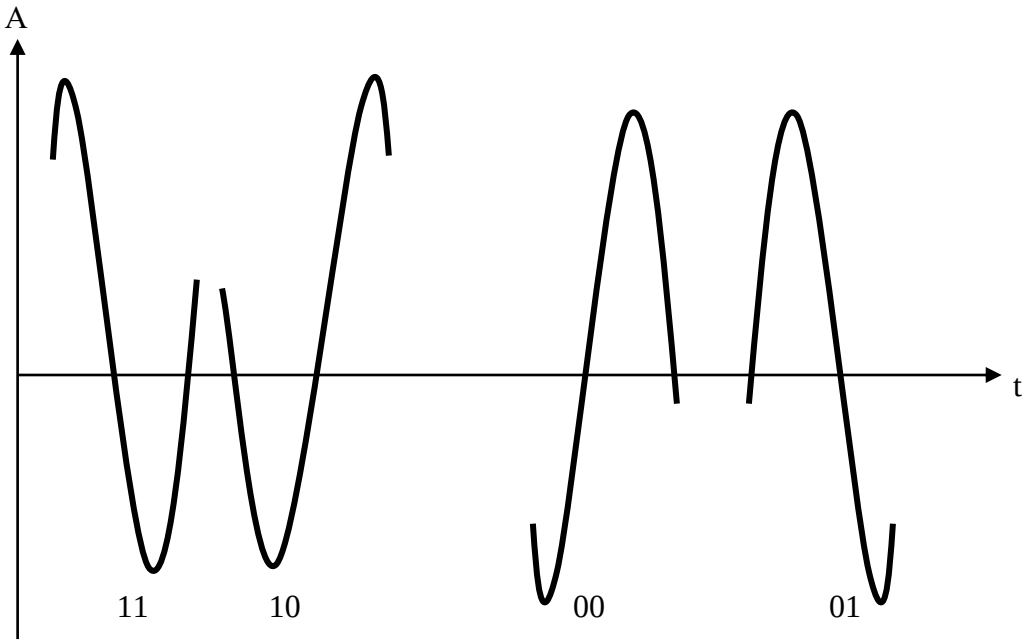


Рис. 3.28-б. Схема QPSK у часовій області

Частини сигналу "вибираються" і поєднуються передавачем, як показано на рис. 3.29. Для відновлення даних при прийомі потрібно порівняти сигнал з опорним. Одним з недоліків цієї схеми є необхідність формування опорного

сигналу у приймачі. Передавач і приймач потрібно часто синхронізувати, застосовуючи, наприклад, спеціальні синхронізуючі комбінації перед приходом даних користувача або використовуючи у якості опорної, частоту пілотного сигналу.

Цих проблем можна уникнути за допомогою **диференціальної схеми QPSK** (DQPSK). Тут зсув відбувається щодо фази двох попередніх бітів, а не щодо опорного сигналу. У цьому випадку у приймачі для відновлення даних порівнюються два сигнали даних, а опорний сигнал не потрібний. Схема DQPSK застосовується у американських безпроводових технологіях IS-136 і PACS, а також у японській системі PHS.

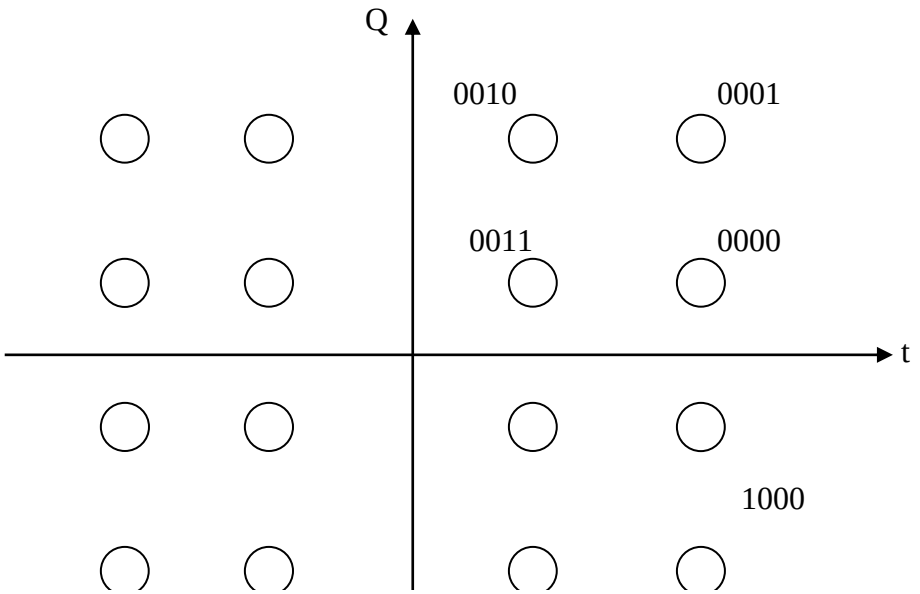


Рис. 3.29. Квадратурна амплітудна модуляція

Для поліпшення запропонованих схем можна використовувати і багато інших кутів зсув фази. Наприклад, при використанні восьми фазових кутів у одному фазовому зсуві можна закодувати три біти. Крім того, можна об'єднати схеми фазової й амплітудної маніпуляції. Цей підхід застосовується, зокрема, у схемі квадратурної амплітудної модуляції (QAM) (рис. 3.29). Тут об'єднані три різних амплітуди і 12 кутів. При цьому у одній зміні фази/амплітуди кодується 4 біти.

3.9.6. Модуляція з декількома несними

Для схем модуляції з декількома несними (Multi Carrier Modulation, MCM), або ортогональним ущільненням з частотним поділом (OFDM), або кодованим частотним ущільненням (COFDM) характерна висока стійкість до міжсимвольної інтерференції.

Відомо, що міжсимвольній інтерференції більш піддані системи з високою швидкістю передачі даних. При модуляції з декількома несними високошвидкісний потік даних розбивається на кілька потоків з меншою швидкістю, кожний з яких використовує незалежну несну частоту. Наприклад,

необхідно передати *n* символів у секунду. Якщо є *c* піднесних частот, то на кожній з них буде передаватися *n/c* символів у секунду. Крім того, при використанні схеми QPSK кожен символ буде представляти два біти. У системі DAB, наприклад, використовується від 192 до 1 536 піднесних частот.

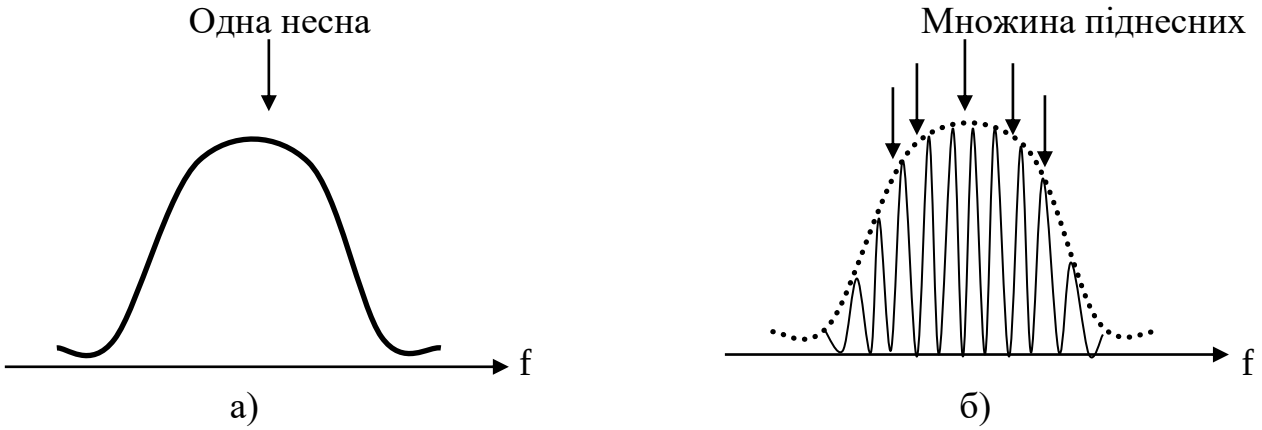


Рис. 3.30. Спектр радіосигнала з однією несною (а) і OFDM (б)

Ще одним перевагою схеми MCM є те, що при її використанні частотне виборче загасання впливає тільки на деякі піднесні частоти, а не на весь сигнал. У більшості випадків при застосуванні модуляції з декількома несними передача даних відбувається з захисними інтервалами між символами або групами символів. Це дозволяє приймачеві боротися з небажаними ефектами багатопроменевого поширення.

3.10. Розширення спектра

В технології **розширеного спектра** застосовується розширення смуги частот, що використовується для передачі даних. Розширення смуги частот має кілька переваг. Головною перевагою цієї технології є стійкість до **вузькосмугових перешкод.** На діаграмі *а* (рис. 3.31) показаний ідеалізований вузькосмуговий сигнал вихідних користувальницьких даних (графік зміни потужності передачі *P* у залежності від частоти f). На діаграмі *б* передавач розширює спектр переданого сигналу, тобто перетворює вузькосмуговий сигнал у широкосмуговий. Енергія, необхідна для передачі сигналу (площа діаграми), залишається постійною, але поширюється на більший діапазон частот. Тому рівень потужності переданого сигналу може бути значно нижче рівня потужності вихідного вузькосмугового сигналу. Даний рівень потужності буває важко відрізнити навіть від фонового шуму. Усе це утруднює відділення корисного сигналу від шуму і, отже, ускладнює його детектування.

У процесі передачі сигналу на нього накладаються вузькосмугові і широкосмугові перешкоди, як показано на діаграмі *в.* У приймачі здійснюється звуження спектра, тобто перетворення розширеного корисного сигналу назад у вузькосмуговий сигнал. При цьому спектр вузькосмугових перешкод розширюється, а спектр широкосмугових перешкод залишається без змін.

Потім перетворений сигнал пропускається через смуговий фільтр, що обрізає частоти ліворуч і праворуч від вихідного спектра вузькосмугового сигналу (діаграма *д)*. Тепер приймач легко може відновити вихідні дані, тому що рівень потужності корисного сигналу досить високий — інакше кажучи, корисний сигнал значно що потужніший від перешкод.

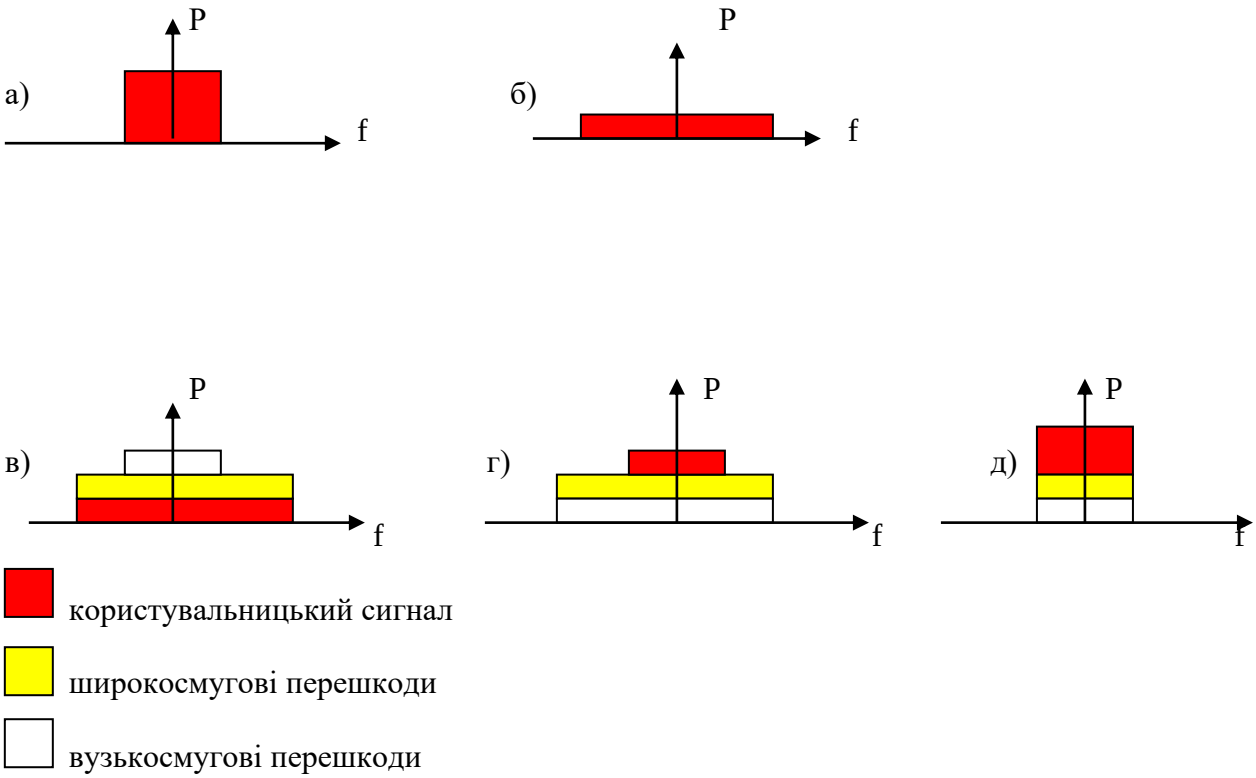


Рис. 3.31. Технологія розширеного спектра: розширення і звуження спектра сигналу

Таким чином, застосування технології розширеного спектра дозволяє послабити вузькосмугові перешкоди у окремому каналі. Не менш успішно цю технологію можна використовувати і для декількох каналів. Розглянемо ситуацію, зображену на рис. 3.32. Шість різних каналів використовують частотне ущільнення. Це значить, що кожному каналу для передачі виділяється окрема вузька смуга частот. Щоб уникнути появи перешкод сусідніх каналів виділені смуги частот розділені захисними інтервалами. Додатково на рис. 2.31 показана якість передачі у кожному каналі. Якість передачі у каналі залежить від його частоти і є загальною мірою перешкод, що присутні на даній частоті. Якість каналу залежить також від часу — на діаграмі показана лише моментальний "знімок". У залежності від характеристик приймача можливий випадок, коли для стійкого прийому підходять лише 1, 2, 5 і 6 канали, а якість передачі у 3 і 4 каналах настільки низька, що відновлення переданих даних виявляється неможливим. Передача у 3 і 4 каналах порушується через наявність вузькосмугових перешкод. Однак, подібна ситуація спостерігається тільки у визначений момент часу, а у наступний момент ситуація може виявитися зовсім іншою. У загальному випадку використання подібних вузькосмугових сигналів

часто приводить до серйозних утруднень у встановленні зв'язку.

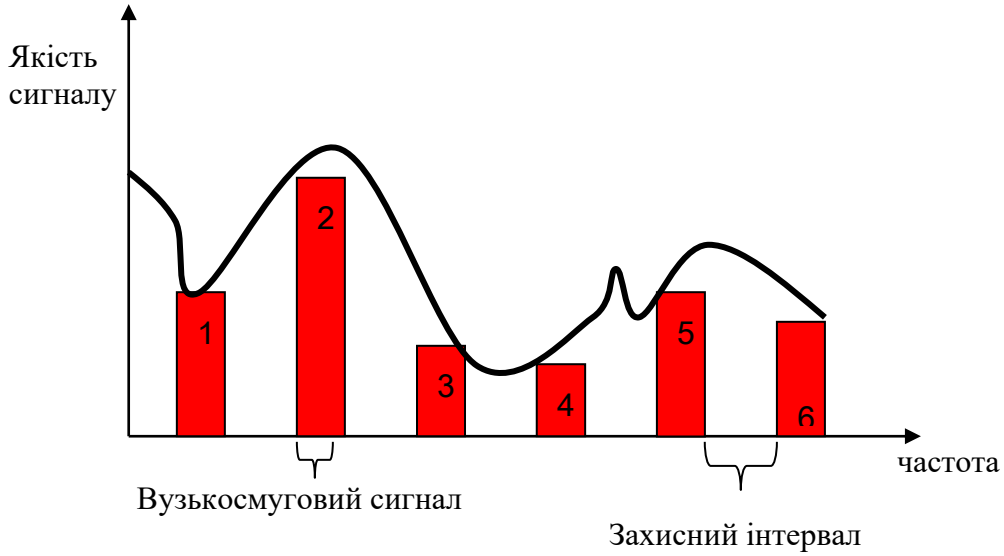


Рис. 3.32. Вузькосмугові перешкоди без використання технології розширеного спектра

Як у цій ситуації може допомогти застосування технології розширеного спектра? Вище було показано, що розширення спектра сигналу збільшує його стійкість до вузькосмуговим перешкод. Дану технологію можна застосувати одночасно до всіх вузькосмугових сигналів.

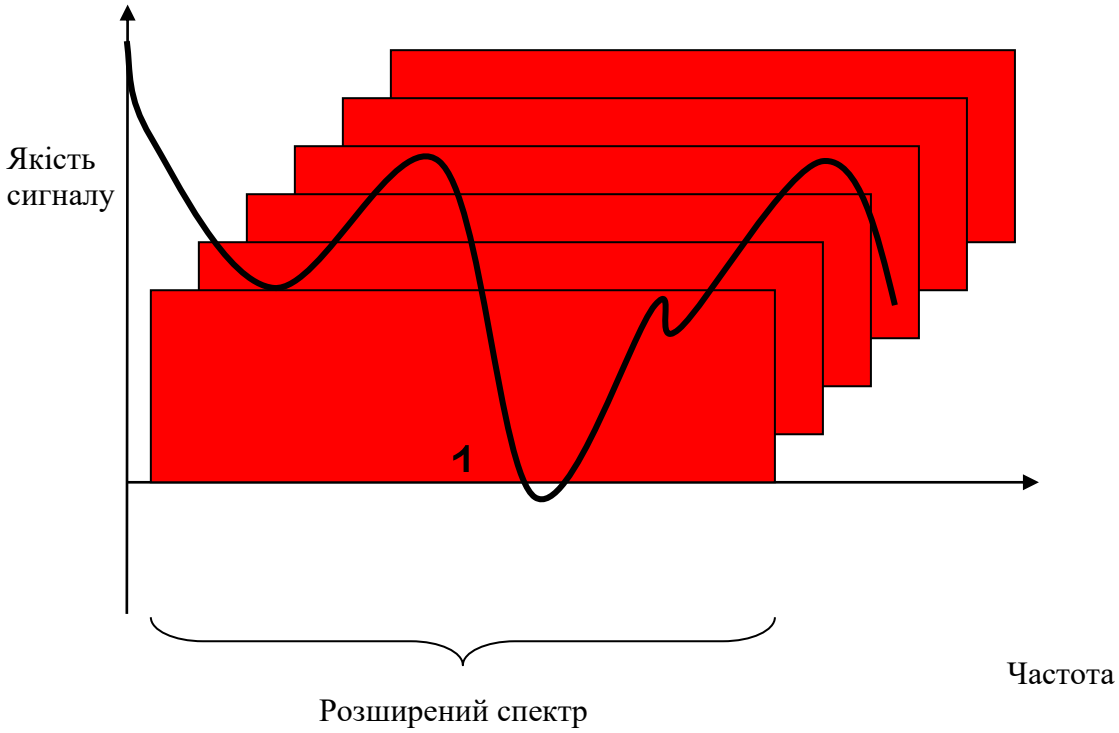


Рис. 3.33. Ослаблення вузькосмугових перешкод за допомогою розширення спектра сигналу

На рис. 3.33 показано, як всі вузькосмугові сигнали піддаються

розширенню з перетворенням у широкосмугові сигнали, що використовують той самий діапазон частот.

Тепер уже не буде потрібно розподіляти частоти (при наших спрощених допущеннях), тому що всі передавачі використовують ту саму смугу частот. Але як же приймачам відновити потрібний сигнал?

Для організації поділу каналів у цьому випадку замість частотного ущільнення використовується ущільнення з кодовим поділом. Подібний підхід демонструє тісний зв'язок між технологією розширення спектра і схемою CDM. Розширення вузькосмугового сигналу досягається за рахунок застосування спеціального коду. Кожному каналові виділяється власний код, який необхідно використовувати при прийомі для відновлення даних. Без знання коду сигнал відновити не можна, він поводиться як фоновий шум. Використання секретного коду для розширення забезпечує високу захищеність передачі за технологією розширеного спектра. Співіснування декількох сигналів без координації (якщо не враховувати те, що коди повинні мати визначені властивості), стійкість до вузькосмугових перешкод, відносно висока безпека і характеристики, подібні до фонового шуму, роблять комбінацію розширеного спектра і схеми CDM досить привабливими для військового використання.

В наш час об'єднання технології розширення спектра зі схемою CDM стає усе більш доцільним для використання не тільки у військових, але й у цивільних додатках. Як уже згадувалося вище, світові ресурси частот досить обмежені. Застосування технології розширеного спектра дозволяє вводити нові технології передачі на тих же смугах частот, де вже працюють сучасні вузькосмугові системи. Цей підхід використовується у мобільних телефонних системах. Смуга частот близько 850 Мгц була вже зайнята системами, що працюють по схемах TDM і FDM (системи AMPS і IS-54). Проте, у тому ж діапазоні виявилося можливим упровадження нової системи з кодовим поділом (IS-95).

Технологія розширеного спектра має і визначені недоліки. Одним з них є підвищена складність приймачів, що повинні виконувати звуження спектра і розшифровку сигналу. Проте, у наш час, завдяки поширенню цифрової обробки сигналів, звуження спектра можна здійснити і при високошвидкісній передачі даних. Інша проблема виникає через те, що у технології розширення спектра сигналу використовується більш широка смуга частот. Незважаючи на те, що розширені сигнали поводяться майже як звичайний шум, вони все-таки перевищують рівень фонового шуму і здатні впливати на інші передачі, якщо не прийняти спеціальних запобіжних заходів.

Розширення спектра можна здійснити двома різними способами, що визначають спосіб використання фізичного середовища передачі даних: стрибкоподібна перебудова частоти і пряма послідовність.

Стрибкоподібна перебудова частоти

Стрибкоподібна перебудова частоти - це методика, що застосовується тільки у сполученні з системами радіопередачі з розподілом спектра частот. Розподіл спектра надає нерегульований діапазон радіочастот. Стрибкоподібну

перебудову частоти можна назвати золотою серединою між односмуговою і широкосмуговою передачею сигналів.

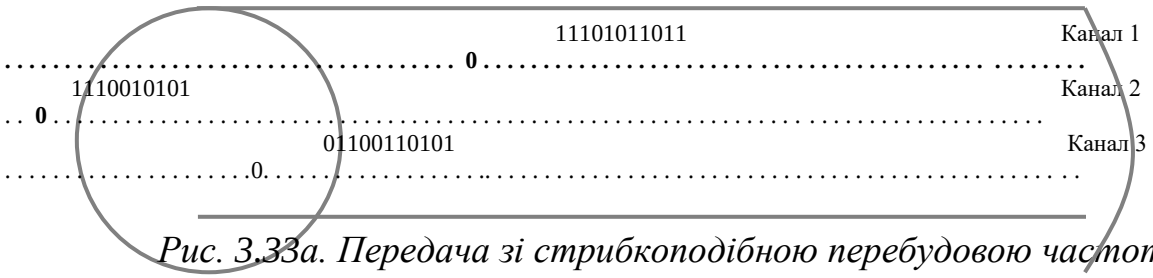


Рис. 3.33а. Передача зі стрибкоподібною перебудовою частоти.

Стрибкоподібна перебудова частоти має декілька переваг. По-перше, вона допомагає мінімізувати вплив взаємних перешкод сигналів. Перешкоди, зокрема радіоперешкоди (RFI) і електромагнітні перешкоди (EMI), можуть спотворити сигнал при його передачі. Звичайно перешкоди від якого-небудь конкретного джерела обмежені визначеною частотою. Таким чином, зміна кількох доступних частот усуває значну частину можливих наслідків радіоперешкод і електромагнітних перешкод.

Пряма послідовність

На відміну від передачі зі стрибкоподібною перебудовою частоти, у якій перехід між частотами виконується у псевдовипадковій послідовності, у методиці прямої послідовності всі доступні канали перебираються послідовно. Таким чином, ступінь безпеки у системах з розподілом спектра частот із прямою послідовністю нижче, ніж у системах зі стрибкоподібною перебудовою частоти, оскільки алгоритм перебору каналів набагато простіший. Принцип такої передачі проілюстрований на малюнку 3.33б.

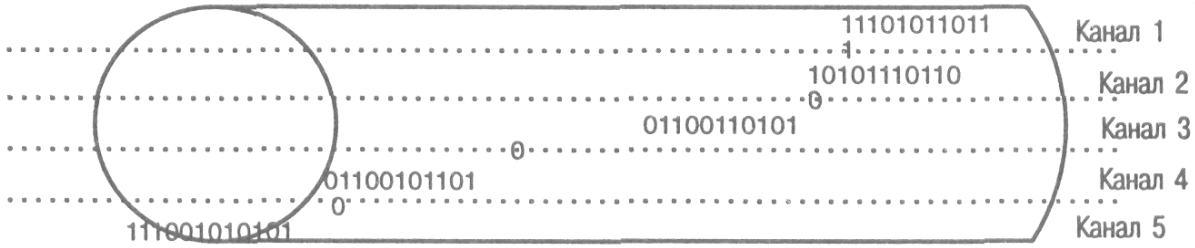


Рис. 3.33б. Передача з прямою послідовністю.

3.10.1. Розширення спектра методом прямої послідовності

У системах розширення спектра методом прямої послідовності (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) до потоку переданих даних застосовується логічна операція АБО (XOR) з сигналом так званої чіпової послідовності, У прикладі, приведеному на рис. 3.34, у результаті цієї операції виходить або послідовність (0110101), або двійкове доповнення до неї. У той час як кожен біт корисного сигналу має тривалість t_b, чіпова послідовність складається з більш коротких імпульсів, званих чіпами, з тривалістю t_c. При коректній генерації чіпова послідовність повинна виглядати як випадковий шум, тому іноді її також називають псевдошумовою послідовністю. Коефіцієнт розширення $S = t_1/t_c$,

визначає смугу частот, що займає результуючий сигнал. Якщо вихідному сигналові необхідна смуга шириною w, то після розширення ширина смуги частот результуючого сигналу буде дорівнює s * w. Хоча у нашому простому прикладі коефіцієнт розширення дорівнює усього лише 7 (а чіпова послідовність 0110101 не зовсім випадкова), у цивільних додатках коефіцієнти розширення звичайно складають від 10 до 100, а для військових додатків ця цифра може досягати навіть 10 000. У безпроводових ЛОС, сумісних зі стандартом IEEE802.11 і використовуючих технологію DSSS, застосовується послідовність 10110111000 — так званий код Баркера.

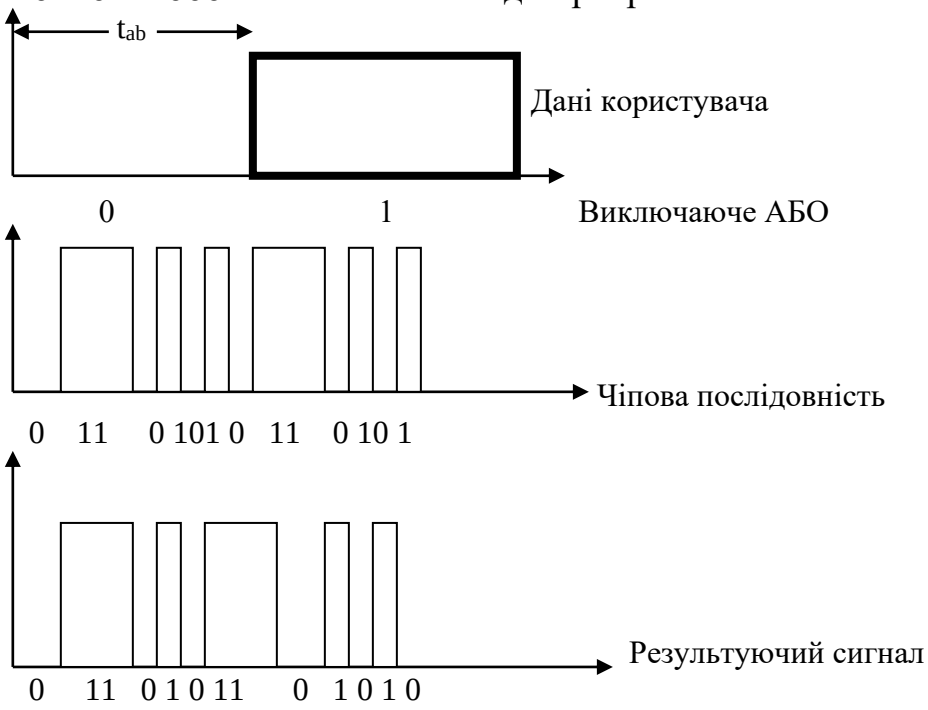


Рис. 3.34. Розширення спектра за технологією DSSS

Дотепер обговорювалося тільки розширення сигналу. Однак передавачам і приймачам, що використовують технологію DSSS, необхідні і деякі додаткові компоненти, показані на рис. 3.35 і 3.36.

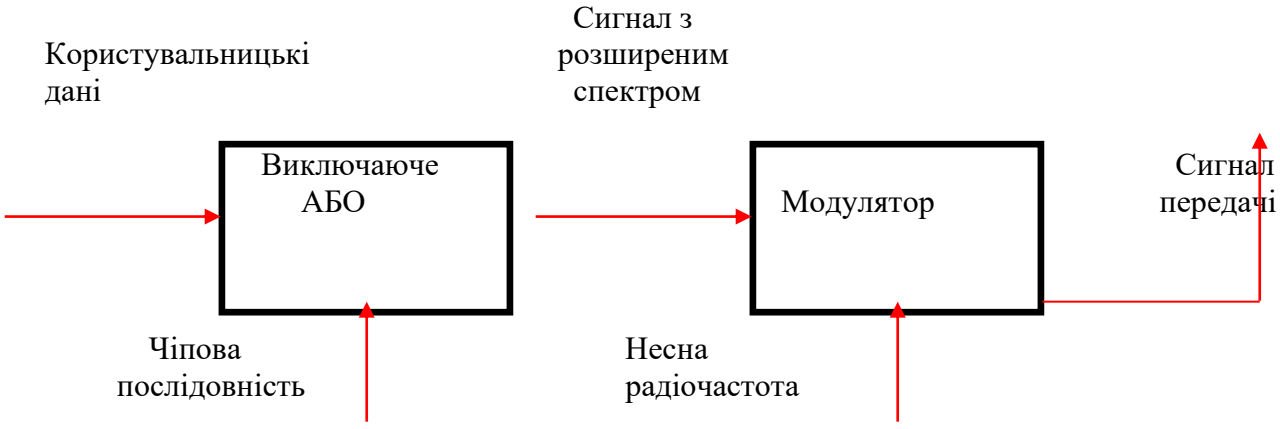


Рис. 3.35. Структурна схема передавача, що використовує технологію DSSS

На першому етапі у передавачі DSSS (рис. 3.35) відбувається розширення переданих даних за допомогою деякої чіпової послідовності (цифрова модуляція). Потім розширений сигнал модулює несну радіочастоту (радіомодуляція).

Припустимо, що корисний сигнал з частотою 1 Мгц після розширення за допомогою коду Баркера буде мати частоту 11 Мгц. Далі цей сигнал накладається на несну радіочастоту (наприклад, 2,4 ГГц для смуги ISM) і передається.

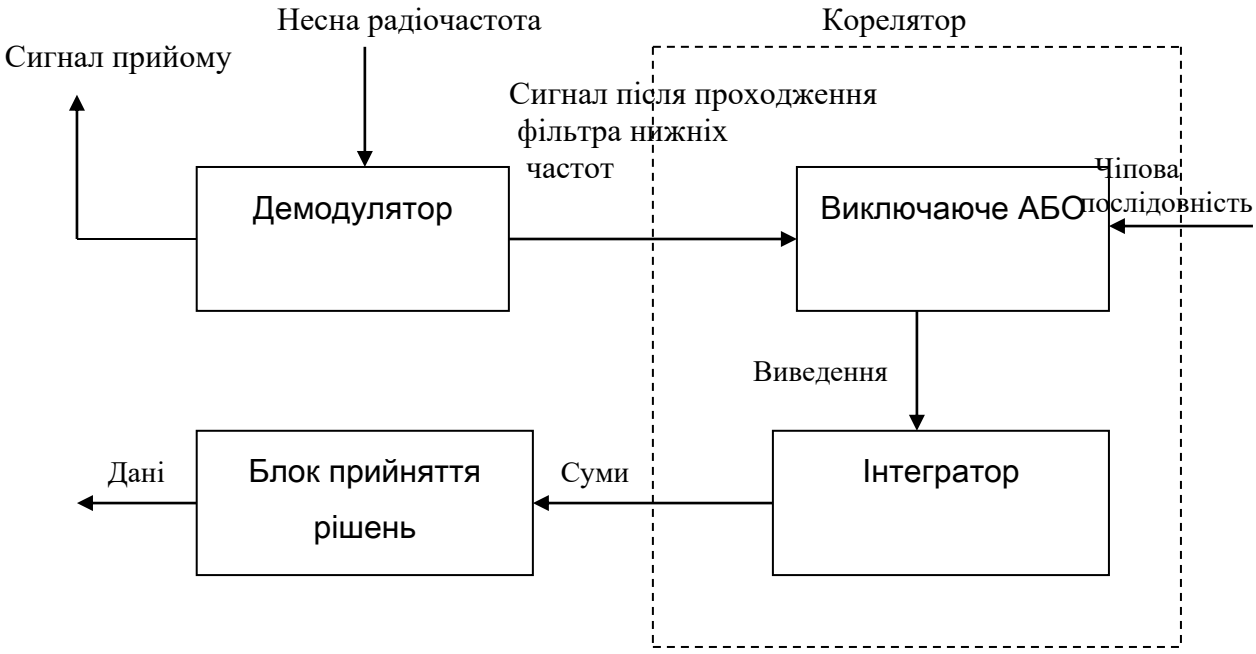


Рис. 3.36. Структурна схема приймача, що використовує технологію DSSS

Приймач, що використовує технологію DSSS, влаштований складніше, ніж передавач. Приймач повинен виконувати функції, зворотні двом етапам модуляції, що виконуються у передавачі. Однак, через шуми і багатопроменеве поширення для відновлення даних необхідні деякі додаткові механізми. На першому етапі у приймачі здійснюється демодуляція прийнятого сигналу. Для цього використовується така ж несна частота, як у передавача, що придушує радіочастотну складову вхідного сигналу. У результаті виходить сигнал приблизно з такою же смугою частот, як і вихідний корисний сигнал з розширеним спектром. Для виділення цього сигналу іноді застосовується додаткова фільтрація.

Подібна схема демодуляції широко використовується у звичайних радіоприймачах. Однак, цей етап обробки сигналу складає серйозну проблему для приймачів, що працюють за технологією DSSS, і сильно ускладнює їхню конструкцію. По-перше, приймачеві повинна бути відома вихідна чіпова послідовність, тобто приймач повинен генерувати точно таку ж псевдовипадкову чіпову послідовність, як і передавач. По-друге, послідовності

передавача і приймача повинні бути точно синхронізовані, тому що у приймачі відбувається логічне множення імпульсів чіпового сигналу і сигналу, що надходить з антени. Це передбачає виконання ще однієї операції АБО і наявність механізму доступу до середовища, побудованого за цією схемою. Протягом бітового сигналу, тривалість якого також визначається за допомогою синхронізації, **інтегратор** складає всі обчислені добутки. Множення чіпових імпульсів і сигналів, що надійшли, і додавання добутків у інтеграторі називається кореляцією, а відповідний пристрій **називається корелятором.** Нарешті, **блок прийняття рішень** обробляє сформовані інтегратором суми і визначає, що представляє кожна з цих сум — двійкову одиницю або двійковий нуль.

Якщо передавач і приймач цілком синхронізовані, а сигнал не занадто перекручений шумами і багатопроменевим поширенням, то технологія DSSS відмінно працює по описаній вище спрощеній схемі. При передачі корисного сигналу, рівного 01, і застосуванні коду Баркера формується розширений сигнал 10110111000010010000111. У приймачі, після демодуляції несної, до цього сигналу побітіво застосовується операція АБО, що використовує у якості чіпової послідовності код Баркера. У результаті виходять дві суми логічних добутків: 0 для першого біта і 1 — для другого. У блоці прийняття рішень першій сумі ставиться у відповідність двійковий нуль, другій сумі — двійкова одиниця, і, таким чином, вихідний корисний сигнал віднвлюється.

У дійсності, однак, ситуація часто виявляється істотно складніше. Припустимо, що демодульований сигнал перекручений і має вигляд 101001010000110100000111. У результаті для першого біта сума добутків дорівнює 2, для другого — 10. Проте, блок прийняття рішень зможе виконати коректне перетворення, якщо буде ставити у відповідність усім сумам, меншим 4, двійковий нуль, і всім сумам, більшим 7, — двійкову одиницю. Однак, у даній ситуації дуже важливо підтримувати синхронізацію з передавачем сигналу. Але що ж відбувається при наявності багатопроменевого поширення? Між передавачем і приймачем існують кілька шляхів з різними затримками, причому різні шляхи можуть характеризуватися різними коефіцієнтами загасання. У цьому випадку можливим рішенням є так звані **приймачі Рейка** (Rake receiver). В такому приймачі для *n* самих головних шляхів поширення використовується *n* кореляторів. Кожен корелятор синхронізований з передавачем і враховує затримку на окремому шляху. Як тільки приймач виявляє новий, більш "потужний" шлях, він присвоює його корелятору із самим "слабким" шляхом поширення. Потім вихідні сигнали кореляторів поєднуються і направляються у блок прийняття рішень. Таким чином, приймачі Рейка використовують переваги багатопроменевого поширення, конструктивно поєднуючи різні шляхи.

3.10.2. Розширений спектр із перескоком частоти

У системах **розширення спектра методом перескоку частоти** (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) доступна смуга частот розбивається на багато каналів з меншими смугами, розділеними захисними інтервалами. Передавач і

приймач використовують один з цих каналів протягом деякого часу, а потім перескакують на інший канал. Таким чином, у цій системі застосовується комбінація схем FDM і TDM. Схема використання окремих каналів називається **послідовністю перескоків.** Час, протягом якого використовується канал з визначеною частотою, називається **часом перебування.** Системи FHSS бувають двох типів — з повільним і швидким перескоком (див. рис. 3.37).

При повільному перескоку передавач використовує ту саму частоту для передачі декількох бітів. На рис. 3.37 показано п'ять бітів корисних даних, кожен тривалістю t_b. Працюючи за схемою з повільним перескоком, передавач використовує частоту f_2 протягом часу перебування t_d, необхідного для передачі перших трьох бітів. Потім передавач перескакує на наступну частоту f_3. Системи з повільним перескоком звичайно дешевше і менш вимогливі, чим системи зі швидким перескоком, але вони більш піддані вузькосмуговим перешкодам. Повільний перескок частоти може застосовуватися, зокрема, у системі GSM.

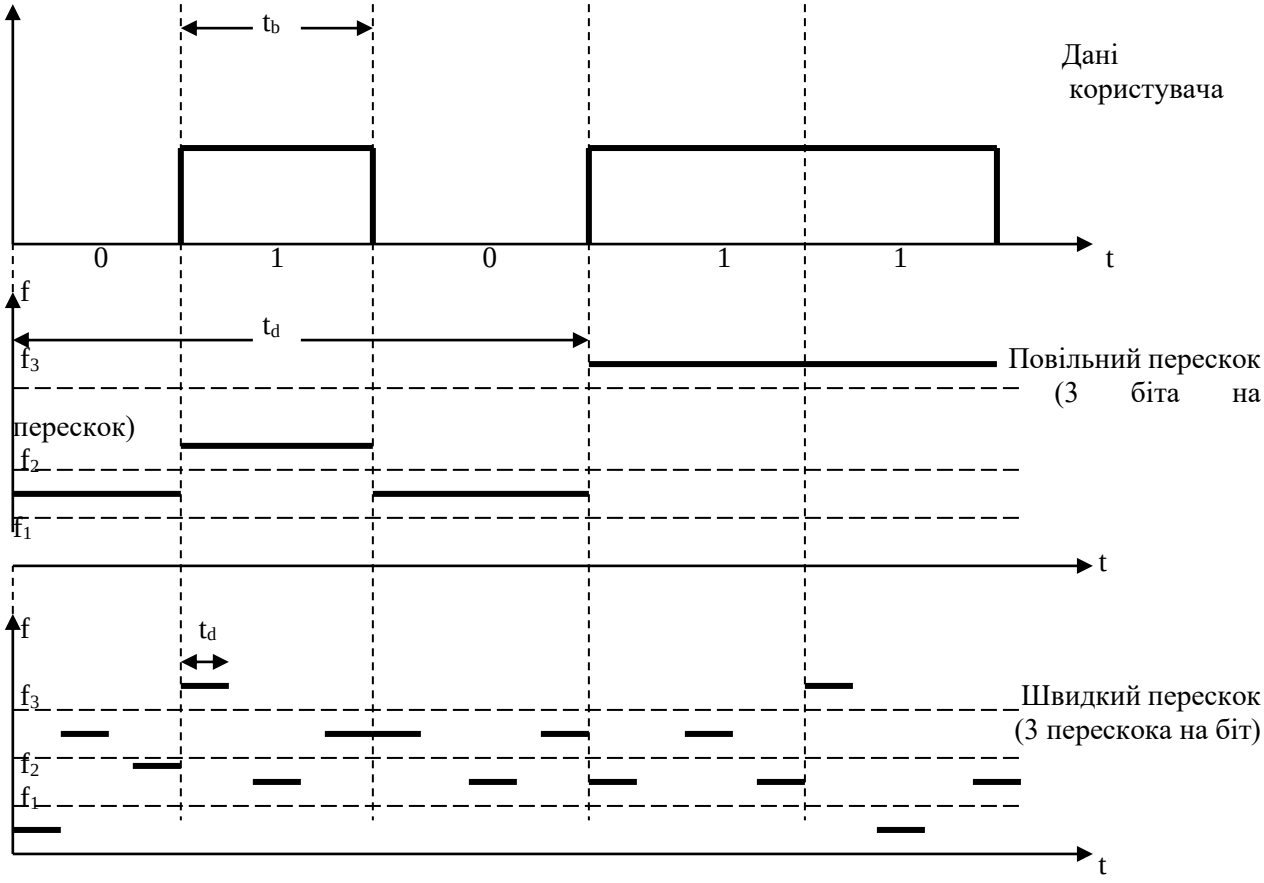


Рис. 3.37. Системи FHSS з повільним і швидким перескоком частоти

У системах зі **швидким перескоком** передавач кілька разів змінює частоту протягом передачі одного біта. У приведеному вище прикладі перескок відбувається три рази протягом одного біта. Системи зі швидким перескоком реалізувати складніше, тому що передавач і приймач повинні бути синхронізовані більш точно. Це необхідно для здійснення перескоку у приблизно той самий момент часу. Однак, такі системи значно краще

переборюють вузькосмугові перешкоди і частотне виборче загасання, оскільки прив'язані до визначеної частоти протягом дуже короткого часу. Прикладом системи FHSS є технологія Bluetooth. Вона передбачає виконання 1 600 перескоків у секунду. У системі Bluetooth для перескоків використовується 79 несних частот, рівномірно розподілених у інтервалі 1 МГц діапазону ISM близько 2,4 ГГц.

На рис. 3.38 і 3.39 приведені спрощені структурні схеми передавачів і приймачів, що працюють за технологією FHSS.

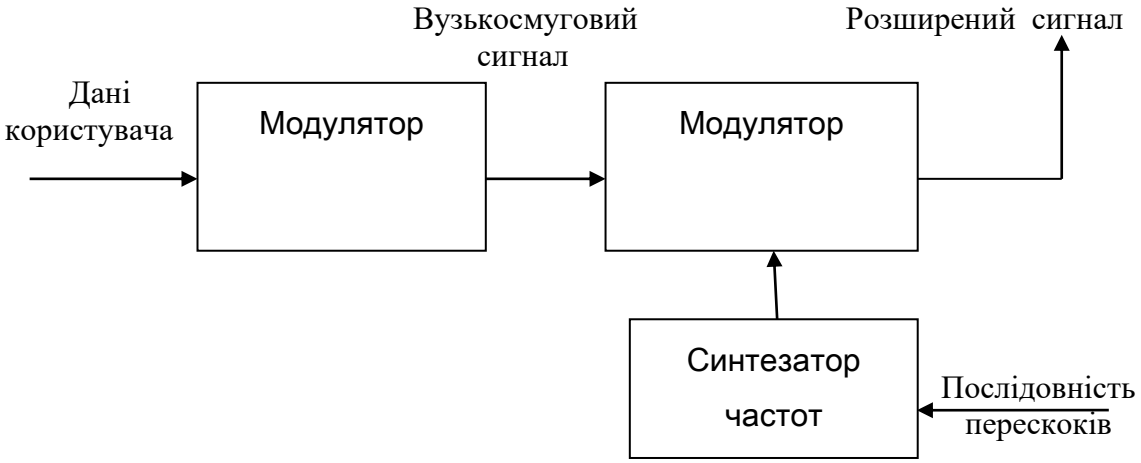


Рис. 3.38. Схема пристрою передавача, що використовує технологію FHSS

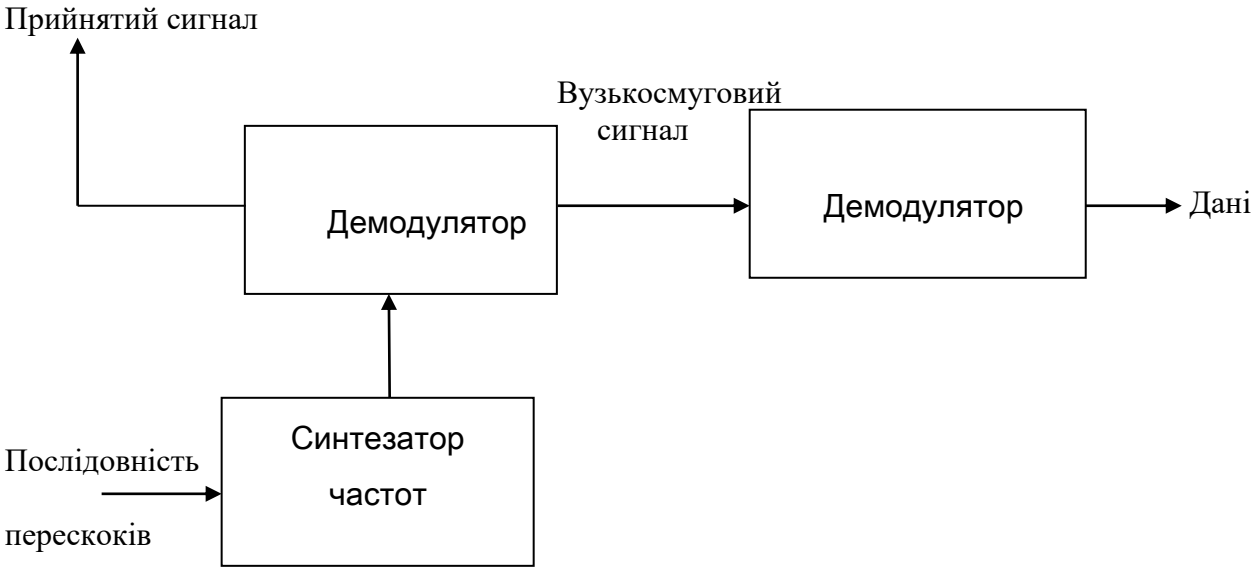


Рис. 339. Схема пристрою приймача, що працює за технологією FHSS

На першому етапі передавач схеми FHSS здійснює модуляцію переданих даних відповідно до однієї зі схем цифро-аналогової модуляції. Як приклад можна вказати схеми FSK або BPSK. Нехай за схемою FSK для двійкового нуля використовується частота f_0, а для двійкової одиниці —

частота f_1. У результаті формується вузькосмуговий модулюючий сигнал. На наступному етапі виконується перескок частоти відповідно до встановленої послідовності перескоків. Інформація про послідовність перескоків направляється у синтезатор частот, що генерує несні частоти f_1. При другій модуляції, модулюючий вузькосмуговий сигнал накладається на несну частоту і формується новий розширений сигнал. При цьому нулеві відповідає частота $f_1 + f_0$, а одиниці — частота $f_1 + f_1$. Якщо різні передавачі схеми FHSS використовують тільки неперекриваючі послідовності перескоків, тобто ніколи не працюють на однаковій частоті f_1 у один і той же час, то їх передачі не заважають один одному.

Такий підхід вимагає координації роботи всіх передавачів і узгодження їх послідовностей перескоків. Псевдовипадкові послідовності перескоків можна використовувати і без координації, як у системах DSSS, причому цілком достатньо, щоб ці послідовності відповідали визначеним вимогам, що зводять перешкоди до мінімуму. При перескоку кілька передавачів можуть вибрати однакову частоту, але для систем зі швидким перескоком час перебування на цій частоті буде малим, тому і взаємні перешкоди виявляться мінімальними.

Приймач системи FHSS повинний знати використовувану послідовність перескоків. Крім того, він повинний постійно підтримувати синхронізацію з передавачем. При прийомі виконуються дії, зворотні процедурі модуляції, у результаті чого передані дані відновлюються. Крім того, необхідно використовувати кілька фільтрів (на спрощеній діаграмі на рис. 3.39 вони не показані).

У системах FHSS розширення досягається простіше, ніж у системах DSSS. У той час як системи DSSS завжди використовують усю доступну смугу частот, у системах FHSS використовується тільки її частина. З іншого боку, системи DSSS більш стійкі до загасання й ефектів багатопроменевого поширення. Крім того, сигнали DSSS набагато сутужніше детектувати — якщо код розширення невідомий, детектування практично неможливо. Коли кожен передавач використовує для розширення сигналу (DSSS або FHSS) свою власну псесдовипадкову чіпову послідовність, у системі реалізується ущільнення з кодовим поділом.

Розділ 4. Технічні засоби реалізації процесів обробки інформації

4.1. Теоретичні основи процесів обробки інформації

4.1.1. Загальні підходи до реалізації процесів обробки інформації

Загалом, під обробкою інформації розуміється процес перетворення інформації, вираженої у знаках або сигналах, у результаті якого, вміст інформації стає підготовленим для представлення її одержувачу - людині для прийняття рішення або управляючої дії.

Більш широким поняттям є "переробка інформації", яке включає логічне, аналітико-синтетичне або евристичне перетворення інформації людиною або технічним засобом, що пов'язане з узагальненням, виробленням суджень, висновків, понять та образів.

Більш вузьке поняття обробки інформації можна розглядати як формалізовану частину процесу пізнання, що здійснюється людиною у процесі управління.

На відміну від інших інформаційних процесів, при реалізації інформаційного процесу обробки сприймається, тлумачиться і пізнається якийсь елемент з величезної, складної та різноманітної об'єктивної реальності. У процесі обробки, як правило, кількість інформації зменшується при зростанні її цінності і змістовності. За допомогою вибору варіантів, спрощень і абстракцій відбувається певне обмеження цього розмаїття, виявляється загальне і суттєве, що дозволяє приймати рішення у конкретних ситуаціях.

Отже, поняття процесу обробки інформації є достатньо широким, і його можна розглядати у межах будь-якої зі складових інформаційного процесу – рецепції (збирання, реєстрації), інтерпретації (перетворення) і комунікації (передавання).

Одним з основоположних понять у галузі обробки інформації є поняття інваріанта обробки, що зазвичай являє собою смисл повідомлення (смисл інформації, що міститься у повідомленні). Зважаючи на те, що при автоматизованій обробці інформації об'єктом обробки є повідомлення, у цьому випадку дуже важливо провести обробку так, щоб інваріанти перетворень повідомлення відповідали інваріантам перетворення інформації.

Пояснимо це на прикладах.

Приклад. При передачі інформації радіоканалом із застосуванням амплітудної модуляції, для збереження інформації, що переноситься радіосигналом, допускаються незначні спотворення амплітуди несної частоти, тоді як застосування частотної або фазової модуляції не накладає на амплітудні спотворення таких жорстких вимог. У цьому прикладі інваріантом перетворення на перший план виступає така властивість інформації, як структурованість.

Приклад. Вираз «комп’ютер має у своєму складі оперативну пам'ять» може бути перетворений як «оперативна пам'ять є частиною комп’ютера», і при цьому смисл зберігається. Саме такі перетворення і відбуваються при перекладі технічних текстів з однієї мови на іншу. При перекладі художніх

текстів втрачається частина інформації, яка виражена у ідіомах, грі слів, натяках на реалії, властиві лише носіям мови оригіналу. З іншого боку, перекладач привносить у переклад щось своє, як особисте, так і національне. Проте інваріанти - основний смисл твору, його сюжет, спрямованість - зберігаються.

Загалом, *мета обробки інформації* визначається метою функціонування деякої системи, з якою пов'язаний даний інформаційний процес. Проте для досягнення мети завжди доводиться вирішувати ряд взаємозв'язаних завдань, що обумовлює, у свою чергу, виникнення завдань обробки інформації, що відповідають різним складовим інформаційного процесу.

Розглянемо, наприклад, початкову стадію інформаційного процесу — рецепцію. У різних інформаційних системах рецепція виражається у таких, наприклад, конкретних процесах, як відбирання інформації (у системах науково-технічної інформації), перетворення фізичних величин у вимірювальний сигнал (у інформаційно-вимірювальних системах), подразники і відчуття (у біологічних системах) і т.п.

Процес рецепції починається на межі, що відокремлює інформаційну систему від зовнішнього світу. Тут, на межі, сигнал зовнішнього світу перетвориться у форму, зручну для подальшої обробки. Для біологічних систем і багатьох технічних систем (наприклад автоматів, що читають тексти), ця межа достатньо чітко виражена. У решті випадків вона значною мірою умовна і навіть розпливчата. Що стосується внутрішньої межі процесу рецепції, то вона практично завжди умовна і вибирається у кожному конкретному випадку виходячи із зручності дослідження інформаційного процесу.

Слід зазначити, що незалежно від того, як «глибоко» ми відсунемо внутрішню межу, рецепцію завжди можна розглядати як процес класифікації. На початкових етапах рецепції така класифікація обумовлюється природними обмеженнями на роздільну здатність рецепторів (підсистеми відбирання інформації). У цьому випадку континуум значень сигналів зовнішнього світу квантується на кінцеве число первинних класів. На наступних етапах обробки інформації первинні класи об'єднуються за різними ознаками у більші, які, можливо, вже можуть бути інтерпретовані.

Пояснимо це на прикладі функціонування ока хребетних тварин, виділивши чотири ранні етапи перетворення оптичного сигналу.

Перший етап - оптичне перетворення. Відображене від навколишніх предметів світло, що переломлюється кришталиком, відображається на сітківці ока. На *другому етапі* світлочутливі клітини (світлорецептори або рецептори) сітківки перетворюють світловий потік, що пронизує їх поперечні перетини, у нервові імпульси. На *третьому етапі* нервові імпульси рецепторів перетворюються вставочними нейронами. *Четвертий етап* - вихідні імпульси вставочних нейронів перетворюються гангліозними клітинами сітківки і т.д.

На рис. 4.1 зображена схема ока і сітківки. Світло проникає через кришталик ока, досягає сітківки і порушує чутливі до світла рецептори -

палички і колби. Нервові імпульси, що виникають при цьому, на виході рецепторів порушують вставні нейрони і через них гангліозні клітини, аксони яких утворюють зоровий нерв. Кожна гангліозна клітина пов'язана з багатьма рецепторами, але у той же час рецептор може бути пов'язаний з декількома гангліозними клітинами. Множина рецепторів, пов'язаних з однією гангліозною клітиною, називається рецептивним *полем гангліозної* клітини.

Рецептивні поля різних гангліозних кліток «пронизують» один одного, тобто на невеликій ділянці сітківки можна знайти рецептори, що належать різним рецептивним полям.

Припустимо тепер, що ми вивчаємо процеси у шарі нервових клітин сітківки ока, чутливої до світлового потоку, з погляду інформаційної здатності ока. Обмежимося двома першими етапами обробки оптичного сигналу, пов'язавши їх з процесом рецепції. «Класифікація» візуальної картини зовнішнього світу, відображена на сітківці ока, здійснюється відповідно до роздільної здатності оптичної системи ока і кількості рецепторів сітківки різного вигляду.

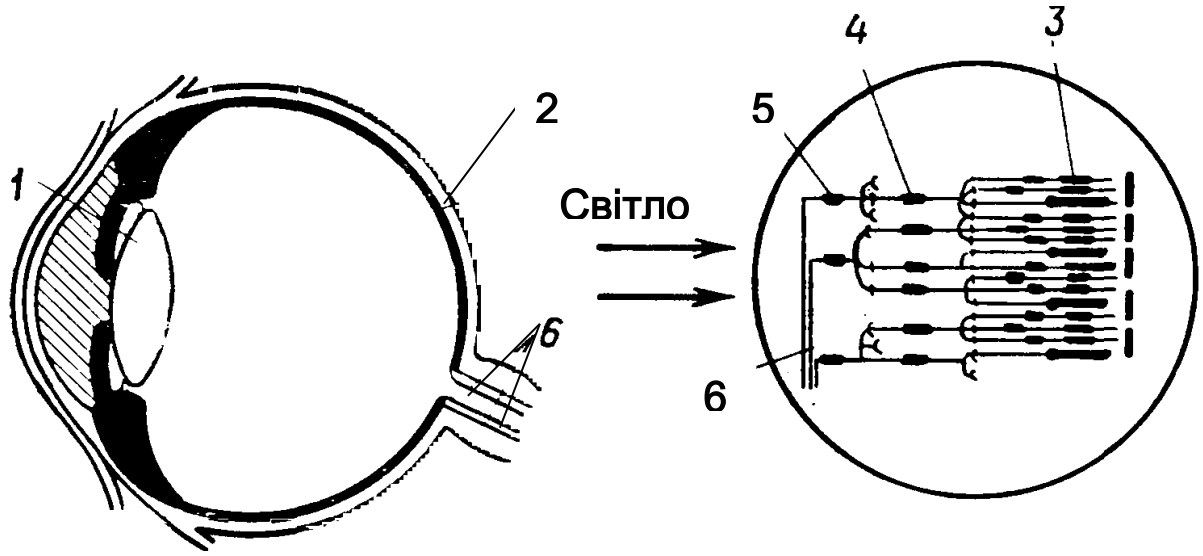


Рис. 4.1. Схематичне зображення оптичної системи ока (а) і фрагмента сітківки (б): 1 - кришталик; 2 - сітківка; 3 - палички і колби; 4 - вставні нейрони; 5 - гангліозні клітини; 6 - зоровий нерв.

Тепер припустимо, що ми вивчаємо процеси функціонування гангліозних кліток і пов'язаних з ними рецепторних кліток. Межі процесу рецепції необхідно розширити і розглядати вже всі чотири етапи обробки оптичного сигналу. Класифікація сигналів зовнішнього світу такою розширеною системою відбирання інформації є більш укрупненою, але разом з тим і кожний клас набуває більшої «ваги», причому тим більше відчутної для організму, чим на нижчому рівні організації він знаходиться.

Приклад. Обробка оптичного сигналу оком жаби до етапу обробки вихідних сигналів гангліозних кліток сітківки ока відбувається за наступною схемою. З кожною гангліозною клітиною пов'язано рецептивне поле - область

сітківки ока, подразнення рецепторів якої впливає на параметри вихідного сигналу даної гангліозної клітини і, зокрема, на період проходження нервових імпульсів. Функції гангліозних кліток значно розрізняються не тільки у різних видів хребетних, але і у сітківці ока одного вигляду є різні типи гангліозних кліток. Гангліозні клітини жаби за реакцією на збудження її рецептивного поля розпадаються на чотири типи.

До *першого типу* відносяться гангліозні клітини, які активізуються, якщо на рецептивне поле клітини потрапляє межа між світлою і темною ділянками. Збудження клітини тим сильніше, чим різкіше межа. Зміна інтегральної освітленості по всьому рецептивному полю не впливає на параметри вихідного сигналу даної клітини. Кутові розміри рецептивного поля гангліозної клітини цього типу 2 - 4°.

Гангліозні клітини *другого типу* також активізуються при попаданні межі між світлим і темним, якщо межа має помітну кривизну, темна область має опуклі ділянки і межа рухома. Гангліозні клітини цього типу разом з їх рецептивними полями отримали назву «детекторів комах». Кутові розміри рецепторів поля складають 3 - 5°.

Гангліозні клітини *третього типу* реагують на рухому межу між світлим і темним, і кутові розміри рецептивного поля цієї клітини складають 7 - 11°.

Гангліозні клітини *четвертого типу* реагують на зниження освітленості рецептивних полів у цілому. Ступінь їх активізації залежить від відносної зміни освітленості. Кутові розміри рецептивних полів складають біля 15°.

З опису властивостей гангліозних кліток ока жаби ясно, що вони мають певну спеціалізацію. Гангліозні клітини другого типу спеціалізуються на розпізнаванні здобичі, клітини четвертого типу - на виявленні небезпеки, клітини першого і третього типів надають інформацію системі управління, що стабілізує зображення фону на сітківці ока жаби. Крім того, можна зробити висновок, що рання спеціалізація гангліозних кліток жаби є дієспрямованою - орієнтованою на певний вид дій, тобто вже на рівні шару гангліозних кліток у зоровому апараті жаби відбувається «перетин» процесів рецепції і інтерпретації. Зазвичай з таких прикордонних шарів починається процес розпізнавання образів. У цьому випадку клас сигналів, які збуджують ту або іншу гангліозну клітину, пов'язують з певним відображенням зовнішнього світу (наприклад, «образ комара»).

Слід зауважити, що процес розпізнавання образів не обов'язково повинен бути дієспрямованим.

Процес рецепції як процес розпізнавання образів особливо чітко проглядається у автоматах відтворення мови, які працюють за принципом порівняння аналізованого символу з еталоном. Зчитаний символ як невідомий образ порівнюється з образами відомих символів (еталонів), що зберігаються у пам'яті комп’ютера.

Поняття розпізнавання образів є так само широким, як і поняття образу, і дати строге визначення йому практично неможливо, оскільки «образ», як і «інформація», відноситься до первинних понять теорії інформаційних

процесів.

Але якщо підходити формально, то під образом, його формуванням і розпізнаванням можна розуміти наступне.

Є деяка універсальна множина елементів. Будь-яке розбиття цієї множини на класи є *формуванням образів.* У цьому випадку кожному класу зіставляється образ цього класу (тобто його смисл і значення). У цьому сенсі процес віднесення довільно вибраного елементу з універсальної множини до певного класу (тобто знаходження того класу, до якого цей довільно вибраний елемент належить) є процесом *розпізнавання образу.*

При такому підході конкретні складові інформаційного процесу можна розглядати як процес формування і розпізнавання образів, наприклад формування сигналу у передавачі системи зв'язку і розпізнавання його у приймачі.

4.1.2. Формалізована модель обробки інформації

Використовуючи формалізовану модель обробки можна прослідкувати схожість і відмінність процесів обробки інформації, пов'язаних з різними складовими інформаційного процесу.

Перш за все зауважимо, що не можна відривати це питання від споживача інформації (адресата), від семантичного і прагматичного аспектів інформації. Наявність адресата, для якого призначено повідомлення (сигнал), визначає відсутність однозначної відповідності між повідомленням і інформацією, що міститься у ньому. Абсолютно очевидно, що одне і те ж повідомлення може мати різний *смисл* для різних адресатів і різне *прагматичне значення.*

Припустимо, що з кожним конкретним споживачем інформації пов'язана деяка множина I, елементами якого є пари смисл - значення. Існує множина X повідомлень, елементами якої можуть бути символи, слова, фрази, значення фізичних величин і процесів - словом, будь-які знаки. Щоб із повідомлення X могла бути витягнута інформація, повинне існувати деяке відображення φ,

$$X \xrightarrow{\phi} I \qquad (4.1)$$

що є результатом дії принаймні трьох чинників:

1) домовленості між відправником і споживачем, що дозволяє «осмислювати» повідомлення;

2) наявністю конкретної мети у адресата;

3) тією ситуацією, у якій знаходиться адресат.

Останні два чинники визначають значення повідомлення. Відображення φ називається *правилом інтерпретації повідомлення.* Воно може бути загальним, зрозумілим для багатьох споживачів інформації, або відомим лише парі відправник - споживач, а для інших споживачів інформації незнання правила φ призводить до того, що навіть сприйняте повідомлення не піддається інтерпретації або веде до помилкової інтерпретації. Отже, обробка інформації не може бути здійснена поза обробкою повідомлень, що містять її.

Загалом можна представити наступну формалізовану модель обробки повідомлень.

Нехай X є множиною можливих повідомлень, що фігурують у деякій системі комунікації. Під обробкою повідомлень розуміється деяке відображення θ:

$$X \xrightarrow{\theta} Y \qquad (4.2)$$

де Y - множина, елементи якої назвемо обробленими повідомленнями. У загальному випадку для інтерпретації повідомлень Y може служити правило, відмінне від φ, наприклад правило ψ. Тоді відображення

$$Y \xrightarrow{\psi} J \qquad (3)$$

слід розглядати як інтерпретацію оброблених повідомлень Y. Тут множина J є також множиною пар смисл - значення.

Представлення обробки у формі (4.2), хоч і не охоплює усіх видів обробки повідомлень, проте є достатньо загальним, щоб розглядати багато видів обробки повідомлень у технічних системах.

Зважаючи на правило обробки (4.2) і правила інтерпретації (4.1) і (4.3), отримуємо наступну залежність відображень φ, ψ і θ

$$\begin{array}{ccc} X & \xrightarrow{\theta} & Y \\ {\scriptstyle\varphi}\downarrow & & \downarrow{\scriptstyle\psi} \\ I & & J \end{array} \qquad (4.4)$$

З діаграми видно, що кожному повідомленню $x \in X$ поставлений у відповідність рівно один образ $\varphi(x) \in I$ і рівно один образ $\psi(\theta(x)) \in J$. Дійсно: $y \in Y$ має образ $\psi(y) \in J$; $x \in X$ має образ $\theta(x) \in Y, [\theta(x) = y]$, а $x \in X$ має образ $\psi(\theta(x))$.

Враховуючи це, на множинах I, J можна визначити відношення η, яке може виражати такий смисл: мати загальний прообраз у множині X. Дане відношення η не обов'язково є відображенням. Так, якщо відображення φ не бієктивне, то елемент множини I може мати більш за один прообраз у множині X. Кожен прообраз як елемент множини X має по одному образу у множині J, і, отже, даний елемент з множини I знаходиться у відношенні η з числом елементів з множини J, що дорівнює числу його прообразів у множині X. Через це відношення η не є відображенням.

Правило обробки φ повідомлення X називається *таким, що зберігає інформацію,* якщо відношення η є відображенням, а діаграма (4.4) приймає вигляд

$$\begin{array}{ccc} X & \xrightarrow{\theta} & Y \\ {\scriptstyle\varphi}\downarrow & \xrightarrow{\eta} & \downarrow{\scriptstyle\psi} \\ I & & J \end{array} \qquad (4.5)$$

З діаграми виходить, що добуток відношення $\varphi\eta$ дорівнює добутку $\theta\psi$, тобто діаграма (4.4) є комутативною. Визначальним відображенням у діаграмі

(4.4) є відображення η - правило обробки інформації. Тому назви різних видів обробки повідомлень походять з смислу і імені правила η. Зазвичай при виборі виду обробки повідомлень виходять з правила η з урахуванням правил інтерпретації повідомлень φ і ψ.

Розглянемо декілька прикладів.

Нехай θ і η - взаємно однозначні відображення. Це відноситься до випадку, коли до правила θ пред'являється вимога не втрачати інформацію у процесі обробки, наприклад при зміні носія інформації, переході від одного виду модуляції до іншого і т.п. Або, наприклад, якщо з квантованого за рівнем або дискретизованого за часом сигналу витягується та ж кількість корисної інформації, що і з початкового безперервного сигналу, то така обробка є перетворенням без втрати інформації. Очевидно, така обробка можлива лише за наявності надмірності у початковому повідомленні. Дійсно, по дискретних відліках функції, що має обмежений частотний спектр, можна точно відновити початкову безперервну функцію. Якщо застосовується квантування по двох змінних з по рівню і почекай, то і у цьому випадку можна відновити початкове безперервне повідомлення, ε-ентропія якого дорівнює ентропії дискретного сигналу.

Приклад. Повідомлення «комп'ютер має зд-сть обр-ки інф-ії», завдяки надмірності тексту на природній мові однозначно відновлюється як «комп'ютер має здатність обробки інформації».

У розглянутих прикладах існує зворотне перетворення, яке є однозначним, тобто дозволяє відновити початковий елемент $x \in X$ по відомому $y \in Y$, тобто початкове повідомлення по обробленому.

Розглянемо тепер випадок, коли η є взаємно однозначним відображенням, тобто інтерпретація початкового повідомлення може бути проведена точно, а θ не є взаємно однозначним відображенням. Це означає, що множина *X* має більше число елементів, ніж множина *Y*. Тоді θ являється *стискаючим відображенням.* У цьому випадку правило перетворення називається *стисненням інформації, хоча* правильніше говорити про стиснення повідомлення або стиснення сигналу.

Нарешті, якщо відображення η не ін'єктивне, то відображення θ також не являється взаємно однозначним. При цьому відбувається втрата частини інформації у обробленому повідомленні $y \in Y$ у порівнянні з тією, яка міститься у початковому повідомленні $x \in X$.

Існує багато видів обробки інформації. Проілюструємо формалізовану модель обробки інформації на конкретних прикладах, таких, як стиснення вимірювальної інформації і обробка текстової інформації.

Стиснення і адаптивна дискретизація сигналів.

Розглянемо джерела вимірювальної інформації і вимірювальні сигнали. У якості джерел вимірювальної інформації виступають фізичні об'єкти різноманітної природи. Для відбирання вимірювальної інформації використовуються різні вимірювальні перетворювачі, основна функція яких полягає у перетворенні контрольованого параметра або параметрів об'єкту

вимірювання на сигнали. Тому ряд властивостей вимірювальних сигналів визначаються як видом об'єкту вимірювання, так і умовами вимірювання.

У вимірювальній техніці актуальна проблема обробки великих потоків вимірювальної інформації. Вирішуючи цю проблему, очевидно, можна піти двома шляхами: збільшувати швидкодію засобів обробки інформації або ж скоротити об'єми оброблюваної інформації.

Швидкодія засобів обробки інформації (комп'ютерів, мікропроцесорів) визначається рівнем розвитку науки і технології, і шлях, пов'язаний із збільшенням швидкодії, не забезпечує швидкого рішення проблеми, а скорочення об'єму оброблюваної вимірювальної інформації у багатьох випадках призводить до позитивних результатів.

Приклад. Випробовується серійний тип літака. При цьому з попередніх випробувань літаків того ж типу досить детально відомі його найважливіші параметри. У цьому випадку немає необхідності передавати і обробляти параметри, поки вони знаходяться у нормі. Але якщо той або інший параметр істотно відхилився від норми, то його необхідно передавати і обробляти.

Такий підхід дозволяє іноді у багато разів скорочувати об'єм оброблюваної вимірювальної інформації, а отже, і час її обробки.

Приведений приклад показує, що вимірювальні сигнали можуть містити надмірну інформацію. Якщо усунути з вимірювальних сигналів надмірну інформацію, можна підвищити ефективність обробки вимірювальної інформації.

Усунення надмірності інформації вимірювальних сигналів отримала назва *стиснення вимірювальних сигналів.*

У загальному вигляді завдання стиснення формулюється таким чином: знайти перетворення сигналу, що зберігає важливу (корисну) інформацію і забезпечує мінімальний її об'єм. При такому підході розуміння інформації у шенноновському смислі недостатньо, оскільки тут доводиться оперувати поняттями важливості або цінності інформації. Ці поняття по своєму характеру є евристичними, зазвичай вони виводяться з цільової функції (що теж є евристичним поняттям), якщо ця цільова функція може бути достатньо чітко визначена.

Цей недолік найзагальнішої постановки завдання стиснення зумовлює появу ряду менш загальних постановок цього завдання, вимірювальних сигналів, що спираються на різні математичні моделі. Іноді вибір моделі диктується умовами вимірювального експерименту, іноді ж він достатньо довільний. Вибір вдалої моделі багато у чому залежить від експериментатора, від його досвіду і інтуїції.

Один з підходів до рішення задачі стиснення запропонований академіком А. Н. Колмогоровим. Підхід грунтується на понятті ε-ентропії класу функцій, яку у цьому випадку слід розуміти як кількість інформації, необхідної для опису будь-якої функції цього класу з погрішністю, що не перевищує ε. Задати клас сигналів - означає вказати деякі параметри (зазвичай межі цих параметрів), що визначають цей клас. Наприклад, можна визначити клас сигналів, для яких перша похідна (швидкість зміни) не

перевищує по абсолютному значенню деякого граничного значення *M,* або клас сигналів, максимальна частота спектру яких не перевищує $F_{\max}$, або клас сигналів - функцій часу і т. ін. Таким чином, клас сигналів задається повністю апріорно. Взагалі, чим більшим є об'єм апріорної інформації, тим більше стиснення може бути досягнуте.

Як і будь-які перетворення сигналів, стиснення може бути оборотним або необоротним. Стиснення вважається оборотним, якщо за стиснутими даними може бути відновлений початковий сигнал з точністю до допустимої помилки, інакше стиснення необоротне.

Якщо вхідний сигнал, що підлягає стисненню, є безперервним у часі (аналоговим), то говорять про стиснення процесів. Якщо ж сигнал вже дискретизований, тобто існує у дискретні проміжки часу у вигляді ряду відліків і ці відліки мають вигляд числових кодів, то говорять про стиснення числових послідовностей.

Переробка текстової інформації

Переробка інформації, представленої у вигляді текстів на природній мові, має багато аспектів. Сюди відносяться такі види інформаційних процесів, як розуміння текстів, їх перефразування (переказ, переклад іншою мовою), стиснення семантичної інформації. Особливе значення має останній тип переробки; сюди відносяться класифікація і індексування документів, їх анотування і реферування.

Розглянемо деякі аспекти стиснення семантичної інформації. Структура сигналу вимірювальної інформації, розглянута вище, передає і його значення. У текстовій інформації це далеко не завжди так. Через специфіку мови у формі повідомлення, представленого у вигляді тексту, не є видимим зміст, тому обробка текстів вимагає особливих прийомів, що полягають у передачі смислу за допомогою людини-інтерпретатора або за допомогою різних штучних методів.

Розглянемо, яким чином можна автоматизувати процедуру стиснення семантичної інформації для отримання реферату.

Мета процедури автоматизованого реферування - виділити з тексту документа найбільш важливі положення, що якомога більш повно розкривають суть викладеного дослідження. Як початковий матеріал для такого реферату служать речення, що складають текст документа. У результаті відбирання деяких з них отримується скорочений варіант початкового документа, який, строго кажучи, не є рефератом у повному розумінні цього слова. Стиснутий таким чином текст прийнято називати квазірефератом.

Одна з перших систем автоматичного квазіреферування базувалася на реченнях, які містять специфічні слова для кожного документа, що найчастіше зустрічаються у ньому і використовуються для передачі основної ідеї, викладеної текстом. Розробник цієї системи Г. Лун користувався наступною оцінкою значущості кожного з речень, що складають документ: $V_{пр} = Nз.с^2 / N_c$, де $V_{пр}$ - значущість речення; $Nз.с$ - число значущих слів у

цьому реченні, тобто таких слів, які є специфічними для предметної галузі, до якої відноситься документ, і для самого цього документа; N_c - загальне число слів у реченні. При такій методиці квазіреферат складає сукупність розрізнених фраз, так що зрозуміти смисл реферату можна тільки після додаткової обробки отриманого тексту людиною.

Завдання обробки зв'язного тексту і генерації таких текстів є досить важким, воно слабо піддається формалізації у повному обсязі. Проте є ряд методик, що дозволяють підвищити зв'язність текстів у порівнянні з простим відбором найбільш значущих речень. Одна з них полягає у тому, що найбільш зв'язаними вважаються такі речення, які містять найбільшу кількість одних і тих же значущих слів.

Інша методика оцінки семантичної значущості речень для відбирання їх у квазіреферат заснована на визначенні кількості інформації, що міститься у кожному з них. Для цього необхідно провести частотний аналіз тексту на предмет виявлення у ньому найважливіших термінів, що зустрічається у ньому. За гіпотезою автора цієї методики В. Пурто, чим важливішим є для деякого тексту той або інший термін, тим частіше він зустрічається у ньому. Тому для квазіреферату відбираються такі речення, які містять найбільшу кількість термінів, що найчастіше повторюються у цьому документі.

Аналогічними методами користуються і для складання анотацій.

Розглянемо тепер основні підходи до проблеми автоматизації індексування науково-технічних текстів.

Індексуванням називається процес перекладання з природної мови на спеціалізовану інформаційно-пошукову мову. Зокрема, під індексуванням розуміється віднесення того або іншого документа залежно від його змісту до певної рубрики деякої класифікації. Індексування є ще більшою мірою перетворенням, що стискає інформацію ще більше, ніж реферування і анотування.

Науковий підхід до проблеми індексування може бути зведений до проблеми розпізнавання образів. Класифікація задає розбиття простору предметних галузей на класи, не пересікаються. Кожен клас характеризується множиною ознак, зокрема переліком специфічних для нього термінів, що виражають основні поняття і відношенння між ними.

Існують наступні класи методів індексування. *Дериватне (похідне)* індексування, яке проводиться шляхом вибору основних термінів з тексту документів, але не на рівні фраз, а на рівні слів. При *приписному* індексуванні терміни, які вибираються з існуючого словника, ставляться у відповідність тому або іншому документу; при цьому вони не повинні бути ідентичними словам, що містяться у тексті документа. Сучасним варіантом приписного є *автоматичне* індексування, при якому словник складається і використовується із застосуванням комп’ютера.

У описаних методах індексування терміни, так або інакше зіставляються з конкретними документами, що є еталонними представниками класів, які задаються при формулюванні завдання розпізнавання образів.

На відміну від реферування і анотування *переклад* є не стискаючим, а еквівалентним за об'ємом перетворенням. Роботи з автоматизації перекладу науково-технічних і інших документів ведуться давно. Вони були початі радянським винахідником П. П. Смірновим-Троянским ще у 1939 р.

Складність проблеми автоматизації перекладу обумовлена тим, що достатньо складно формалізувати два основні етапи всякого перекладу, а саме: уміння інтерпретувати текст оригіналу, тобто виділити і виразити його смисл на іншій мові Послівний переклад мало сприяє вирішенню цієї проблеми через істотну багатозначущість одиниць природної мови.

Існують і такі види переробки текстової інформації, як *транскрибування*, де оцінка корисності того або іншого тексту, заснована не тільки на семантиці тексту, але і на його прагматиці, пов'язаній з цільовою стороною функціонування відповідної інформаційної системи.

4.2. Алгоритмізація процесів обробки інформації

4.2.1.Основні поняття.

Процеси обробки інформації, що здійснюються людиною або комп'ютером у інформаційних системах, призначених для вирішення широкого класу задач, виконуються за певними правилами - алгоритмами.

Алгоритм являє собою систему формальних приписів, що визначають процес досягнення конкретної мети - перетворення вихідних даних у шуканий результат, а також набір умов, що визначають порядок застосування правил до оброблюваних даних.

Алгоритм може бути призначений для виконання його людиною або автоматичним пристроєм. Створення алгоритму, нехай навіть найпростішого, - процес творчий. Він доступний виключно живим істотам, а довгий час вважалося, що тільки людині. Інша справа - реалізація вже наявного алгоритму. Її можна доручити суб'єкту або об'єкту, який не зобов'язаний вникати у суть справи, а можливо, і не здатний його зрозуміти. Такий суб'єкт або об'єкт прийнято називати *формальним виконавцем.* Прикладом формального виконавця може служити пральна машина-автомат, яка неухильно виконує програму прання, навіть якщо ви забули покласти у неї порошок. Людина теж може виступати у ролі формального виконавця, але у першу чергу формальними виконавцями є різні автоматичні пристрої, і комп'ютер зокрема.

Алгоритм є основою для розробки тих інструкцій, якими керується комп'ютер при роботі, але безпосередньо використовувати алгоритм він не зможе, оскільки алгоритм пишеться на природній людській мові, комп'ютеру не зрозумілій. Для того, щоб комп'ютер виконав алгоритм його перекладають мовою зрозумілою машині і такий алгоритм, записаний на машинній мові називається програмою.

Кожен алгоритм створюється з розрахунку на цілком конкретного виконавця. Ті дії, які може здійснювати виконавець, називаються його *допустимими діями*. Сукупність допустимих дій утворює *систему команд*

виконавця. Алгоритм повинен містити тільки ті дії, які допустимі для даного виконавця.

Об'єкти, над якими виконавець може здійснювати дії, утворюють так зване *середовище виконавця*. Його можна представити у вигляді ряду: явище ➔ процес➔ задача ➔ модель ➔ алгоритм ➔ програма ➔ комп'ютер ➔ результат

Властивості алгоритмів

Дане вище визначення алгоритму не можна вважати строгим - не цілком ясно, що таке «точне розпорядження» або «послідовність дій, що забезпечує отримання необхідного результату». Тому зазвичай формулюють декілька загальних властивостей алгоритмів, що дозволяють відрізняти алгоритми від інших інструкцій.

Такими властивостями є:

• *Дискретність* - алгоритм повинен представляти процес рішення задачі як послідовне виконання простих (або раніше визначених) кроків. Кожна дія, передбачена алгоритмом, виконується тільки після того, як закінчилося виконання попередньої.

• *Визначеність* - кожне правило алгоритму повинне бути чітким, однозначним і не залишати місця для роздумів. Завдяки цій властивості виконання алгоритму носить механічний характер і не вимагає ніяких додаткових вказівок або відомостей про вирішуване завдання.

• *Результативність* - алгоритм повинен приводити до рішення задачі за кінцеву кількість кроків.

• *Масовість* - придатність алгоритму для вирішення певного класу завдань. Алгоритм рішення задачі розробляється у загальному вигляді для деякого класу завдань, що розрізняються тільки початковими даними. При цьому початкові дані можуть вибиратися з деякої області, яка називається областю застосовності алгоритму.

Правила побудови алгоритмів

Правила виконання арифметичних операцій або геометричних побудов є алгоритми. При цьому залишається без відповіді питання, чим же відрізняється поняття алгоритму від таких понять, як «метод», «спосіб», «правило». Можна навіть зустріти твердження, що слова «алгоритм», «спосіб», «правило» виражають одне і те ж (тобто є синонімами), хоча таке твердження, очевидно, суперечить "властивостям алгоритму".

Сам вираз «властивості алгоритму» не зовсім коректний. Властивостями володіють об'єктивно існуючі реальності. Можна говорити, наприклад, про властивості якої-небудь речовини. Алгоритм - штучна конструкція, яку ми споруджуємо для досягнення своєї мети. Щоб алгоритм виконав своє призначення, його необхідно будувати за певними правилами. Тому потрібно говорити все ж таки не про властивості алгоритму, а про правила побудови алгоритму, або про вимоги, що пред'являються до алгоритму.

Перше правило - при побудові алгоритму перш за все необхідно задати множину об'єктів, з якими працюватиме алгоритм. Формалізоване (закодоване) представлення цих об'єктів носить назву даних. Алгоритм

приступає до роботи з деяким набором даних, які називаються вхідними, і у результаті своєї роботи видає дані, які називаються вихідними. Таким чином, алгоритм перетворює вхідні дані у вихідні.

Це правило дозволяє відразу відокремити алгоритми від "методів" і "способів". Поки ми не маємо формалізованих вхідних даних, ми не можемо побудувати алгоритм.

Друге правило - для роботи алгоритму потрібна пам'ять. У пам'яті розміщуються вхідні дані, з якими алгоритм починає працювати, проміжні дані і вихідні дані, які є результатом роботи алгоритму. Пам'ять є дискретною, тобто складається з окремих осередків. Поіменований елемент пам'яті носить назву змінної. У теорії алгоритмів розміри пам'яті не обмежуються, тобто вважається, що ми можемо надати алгоритму будь-який необхідний для роботи об'єм пам'яті.

Третє правило - дискретність. Алгоритм будується з окремих кроків (дій, операцій, команд). Множина кроків, з яких складений алгоритм є кінцевою.

Четверте правило - детермінованість. Після кожного кроку необхідно вказувати, який крок виконується наступним, або давати команду зупинки.

П'яте правило - результативність. Алгоритм повинен завершувати роботу після кінцевого числа кроків. При цьому необхідно вказати, що вважається результатом роботи алгоритму.

Види алгоритмів і їх реалізація

Алгоритм стосовно обчислювальної машини це точне розпорядження, тобто набір операцій і правил їх чергування, за допомогою якого, починаючи з деяких початкових даних, можна вирішити будь-яке завдання фіксованого типу.

Види алгоритмів як логіко-математичних засобів відображають вказані компоненти людської діяльності і тенденції, а самі алгоритми залежно від мети, початкових умов завдання, шляхів його рішення, визначення дій виконавця підрозділяються таким чином:

1. *Механічні* алгоритми, або інакше детерміновані, жорсткі (наприклад алгоритм роботи машини, двигуна і т.п.). Механічний алгоритм задає певні дії, позначаючи їх у єдиній і достовірній послідовності, забезпечуючи тим самим однозначний необхідний або шуканий результат, якщо виконуються ті умови процесу, завдання, для яких розроблений алгоритм.
2. *Гнучкі* алгоритми:

- *Імовірнісний* (стохастичний) алгоритм дає програму рішення задачі декількома шляхами або способами, що приводять до вірогідного досягнення результату.
- *Евристичний* (від грецького слова "еврика") алгоритм, у якому досягнення кінцевого результату програми дій однозначно незумовлене, так само як не позначена вся послідовність дій, не виявлені всі дії виконавця. До евристичних алгоритмів відносять, наприклад, інструкції і розпорядження. У цих алгоритмах використовуються універсальні логічні процедури і способи ухвалення рішень, засновані на аналогіях, асоціаціях і минулому досвіді

рішення схожих задач.

3. *Лінійний* алгоритм - набір команд (вказівок), що виконуються послідовно у часі одна за одною.

4. *Розгалужений* алгоритм містить хоч б одну умову (логічний вираз), у результаті перевірки якої ЕОМ забезпечує перехід на один з двох можливих кроків.

5. *Циклічний* алгоритм передбачає багатократне повторення однієї і тієї ж дії (одних і тих же операцій) над новими початковими даними. До циклічних алгоритмів зводяться більшість методів обчислень, перебору варіантів. Циклом називають процес повторення дій. Циклічні алгоритми забезпечують повторне виконання деяких команд кінцеву кількість разів. Цикл програми - послідовність команд (серія, тіло циклу), яка може виконуватися багато разів (для нових початкових даних) до задоволення деякої умови.

6. *Допоміжний* (підлеглий) алгоритм (процедура) — алгоритм, раніше розроблений і цілком використовуваний при алгоритмізації конкретного завдання. у деяких випадках за наявності однакових послідовностей вказівок (команд) для різних даних з метою скорочення запису також виділяють допоміжний алгоритм.

4.2.2. Методи представлення алгоритмів

Відмінність між алгоритмом і його представленням аналогічна відмінності між сюжетом і книгою. Сюжет є абстрактним за своєю природою, а книга є його фізичним представленням. Якщо книгу перекласти іншою мовою або опублікувати у іншому форматі, зміниться тільки представлення сюжету, а сам по собі сюжет залишиться тим самим.

Так само алгоритм є абстракцією і відрізняється від свого конкретного представлення. Існує багато способів представлення одного і того ж алгоритму. Наприклад, алгоритм для перекладу показників температури за шкалою Цельсія у показники за шкалою Фаренгейта традиційно представляється у вигляді формули: F = (9/5)3 + 32.

Проте його можна представити і у вигляді інструкції: Помножити значення температури у градусах Цельсія на 9/5 і до отриманого результату додати 32.

Цю послідовність дій можна представити навіть у вигляді електронної схеми. у кожному випадку алгоритм, що лежить у основі опису залишається тим самим, відрізняються тільки методи його представлення.

У контексті обговорення відмінностей між алгоритмами і їх представленнями слід також прояснити відмінність між двома іншими, пов'язаними з ними поняттями: програмами і процесами. Програма є представленням алгоритму. По суті, фахівці у галузі комп'ютерних наук використовують термін *програма* по відношенню до формального представлення алгоритму, розробленого для деякого комп'ютерного додатку. Ми визначили процес як діяльність, пов'язану з виконанням програми. Проте слід відмітити, що виконати програму — означає також і виконати алгоритм, представлений цією програмою; тому процес можна еквівалентно визначити

як діяльність по виконанню алгоритму. З сказаного можна зробити висновок, що процеси, алгоритми і програми — це різні, хоч і взаємозв'язані поняття.

На практиці найбільш поширені наступні форми представлення алгоритмів:

- *словесно-формульна* (на природній мові з використанням математичних формул);
- *графічна* (зображення з графічних символів);
- *псевдокоди* (напівформалізовані описи алгоритмів на умовній алгоритмічній мові, що включають як елементи мови програмування, так і фрази природної мови, загальноприйняті математичні позначення і ін.);
- *програмна* (тексти на мовах програмування).

С*ловесно-формульний опис алгоритму*

Даний спосіб запису алгоритму складається з переліку дій (кроків), кожний з яких має порядковий номер. Алгоритм повинен виконуватися послідовно крок за кроком. Якщо у тексті алгоритму написано «перейти до кроку з номером L», то це означає, що виконання алгоритму продовжиться з вказаного кроку з номером L.

Приклад. Алгоритмі знаходження максимального з двох значень:

- *визначимо формати змінних X, Y, M, де X і Y - значення для порівняння, M - змінна для зберігання максимального значення;*
- *отримаємо два значення чисел X і Y для порівняння;*
- *порівняємо X і Y.*
- *якщо X менше Y, значить більше число Y.*
- *помістимо у змінну M значення Y.*
- *якщо X не менше (більше) Y, значить більше число X.*
- *помістимо у змінну M значення X.*

Словесний опис алгоритмів застосовують при рішенні нескладних задач, тому що він малопридатний для представлення складних алгоритмів і не має широкого розповсюдження з наступних причин:

- такі описи строго не формалізуються;
- страждають багатослівністю записів;
- допускають неоднозначність тлумачення окремих розпоряджень.

Графічний опис у вигляді блок-схеми алгоритму

Цей спосіб виявився дуже зручним засобом зображення алгоритмів і набув широкого поширення у науковій і навчальній літературі.

Структурна (блок-, граф-) схема алгоритму - графічне зображення алгоритму у вигляді схеми зв'язаних між собою за допомогою стрілок (ліній переходу) блоків - графічних символів, кожний з яких відповідає одному кроку алгоритму. Усередині блоку дається опис відповідної дії.

Графічне зображення алгоритму широко використовується перед програмуванням завдання внаслідок його наочності, оскільки зорове сприйняття зазвичай полегшує процес написання програми, її коректування при можливих помилках, осмислення процесу обробки інформації.

Призначення блоків випливає з їхніх назв. Блоки з'єднують лініями, які описують послідовність виконання команди. Ці лінії називаються лініями

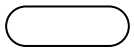
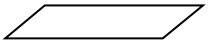
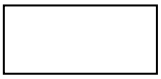
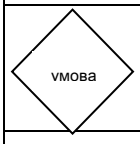
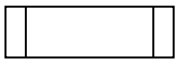
потоків передавання інформації. Природні напрями потоків зверху-вниз і зліва направо. Якщо напрямок потоку інший то лінія повинна мати стрілку, яка вказує напрям руху.

Принцип програмування зверху «вниз» вимагає, щоб блок-схема поетапно конкретизувалася і кожен блок «розписувався» до елементарних операцій. Але такий підхід можна здійснити при рішенні нескладних задач. При рішенні серйозного завдання блок-схема «розповзеться» до таких розмірів, що її неможливо буде охопити одним поглядом.

Блок-схеми алгоритмів зручно використовувати для пояснення роботи вже готового алгоритму, при цьому як блоки беруться дійсно блоки алгоритму, робота яких не вимагає пояснень. Блок-схема алгоритму повинна служити для спрощення зображення алгоритму, а не для ускладнення.

У таблиці 4.1 приведені найбільш часто вживані символи.

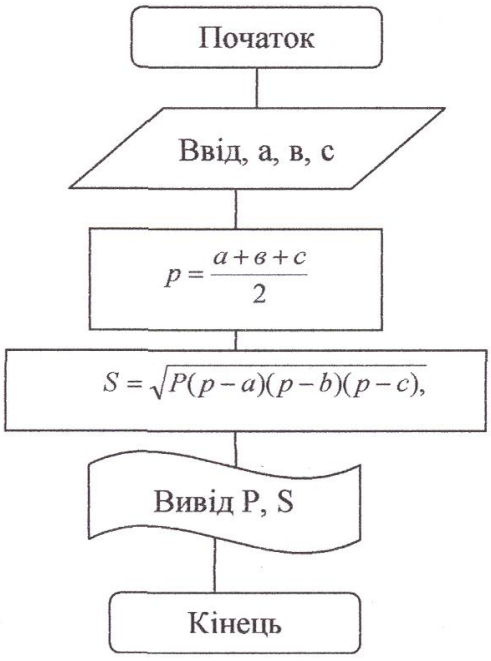
Табл. 4.1.

Блоки	**Назва та призначення**
	Початок або кінець алгоритму
	Блок введення даних/виведення даних на друк
	Арифметичний блок - використовується при обчисленні виразів; процес, присвоєння.
	Логічний блок - використовується для перевірки умови
	Блок модифікації - використовується для зміни у залежності від попередніх значень
	Блок звернення до підпрограм

<u>Приклад.</u> Блок-схема лінійного алгоритму.

$S = \sqrt{P(p-a)(p-d)(p-c)},$

де $p = \frac{a+b+c}{2}$*, де а, в, с - довжини сторін трикутника.*



Псевдокод

При розробці алгоритму розробник повинен зберегти у пам'яті безліч взаємозв'язаних понять, об'єм яких у деяких випадках просто перевершує відомі практичні можливості людської пам’яті. (У своїй статті у журналі *Psychological Review* за 1956 рік Джордж Міллер (George A. Miller) описує дослідження, результати яких свідчать про те, що людське мислення здатне одночасно оперувати лише приблизно сімома деталями. Тому розробник складних алгоритмів потребує засобів запису, які дозволять йому при необхідності пригадати особливості будь-якої частини алгоритму, що розробляється ним. Впродовж 1950-1960-х рр. найбільш довершеним інструментом проектування були блок-схеми. Проте часто вони перетворювалися на заплутану павутину пересічних стрілок, що утрудняло розуміння структури алгоритму. Тому з часом блок-схеми поступилися своїм місцем іншим методам представлення.

Псевдокод є системою позначень і правил, призначеною для одноманітного запису алгоритмів. Він займає проміжне місце між природною і формальною мовами.

З одного боку, він близький до звичайної природної мови, тому алгоритми на ньому можуть записуватися і читатися як звичайний текст. З іншого боку, у псевдокоді використовуються деякі формальні конструкції і математична символіка, що наближає запис алгоритму до загальноприйнятого математичного запису.

У псевдокоді не прийняті строгі синтаксичні правила для запису команд, властиві формальним мовам, що полегшує запис алгоритму на стадії його проектування і дає можливість використовувати ширший набір команд, розрахований на абстрактного виконавця. Проте у псевдокоді зазвичай є деякі конструкції, властиві формальним мовам, що полегшує перехід від запису на псевдокоді до запису алгоритму на формальній мові. Зокрема, у псевдокоді, так само, як і у формальних мовах, є службові слова, сенс яких визначений раз

і назавжди. Вони виділяються у друкарському тексті жирним шрифтом, а у рукописному тексті підкреслюються. Єдиного або формального визначення псевдокоду не існує, тому можливі різні псевдокоди, що відрізняються набором службових слів і основних (базових) конструкцій.

Приклад. Запис алгоритму на шкільній алгоритмічній мові:

алг *Сума квадратів (арг цілий n, рез цілий S)*
дано *|n > 0*
треба *|S = 1*1+ 2*2 + 3*3 + ... + n*n*
поч *цілий і*
введення *n; S:=0*
пц *для і від 1 до n*
*S:=S+i*i*
кц
виведення *"S=", S*
кін

Програмне представлення алгоритму

При записі алгоритму у словесній формі, у вигляді блок-схеми або на псевдокоді допускається певна свобода при виконанні команд. Разом з тим такий запис точний настільки, що дозволяє людині зрозуміти суть справи і виконати алгоритм.

Проте на практиці як виконавці алгоритмів використовуються спеціальні автомати - комп'ютери. Тому алгоритм, призначений для виконання на комп'ютері, повинен бути записаний на «зрозумілій» йому мові. І тут на перший план висувається необхідність точного запису команд, що не залишає місця для довільного тлумачення їх виконавцем.

Отже, мова для запису алгоритмів повинна бути формалізована. Таку мову прийнято називати мовою програмування, а запис алгоритму на цій мові - програмою для комп'ютера.

Алгоритм рішення задачі, заданий у вигляді послідовності команд на мові обчислювальної машини (у кодах машини), називається *машинною програмою*.

Команда машинної програми або машинна команда це елементарна інструкція машині, що виконується нею автоматично без яких-небудь додаткових вказівок і пояснень.

Процес перекладу алгоритму у машинну програму називається трансляцією. Першим кроком на шляху «олюднення» машинної мови стало створення програм, що переводять символічні імена у машинні коди. Потім були створені програми, що транслюють арифметичні вирази і, нарешті, у 1958 році вступив до ладу транслятор Фортрану, – першої широко використовуваної мови програмування. З того часу почався бурхливий розвиток мов програмування.

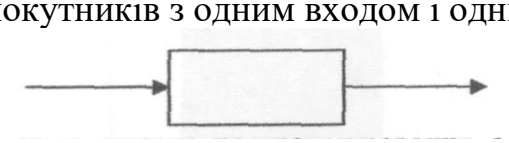
Порядок розробки ієрархічної схеми реалізації алгоритмів

До основних методів структурного програмування відноситься, перш за все, відмова від безсистемного вживання оператора безпосереднього переходу

і переважне використання інших структурованих операторів, методи низхідного проектування розробки програми, ідеї покрокової деталізації і деякі інші угоди, що стосуються дисципліни програмування.

Будь – яка програма, відповідно зі структурним підходом до програмування, може бути побудована тільки з використанням трьох основних типів блоків.

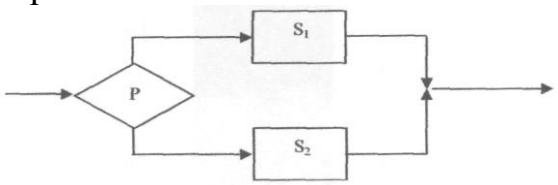
1. Функціональний блок, який на блок-схемі зображається у вигляді прямокутників з одним входом і одним виходом:



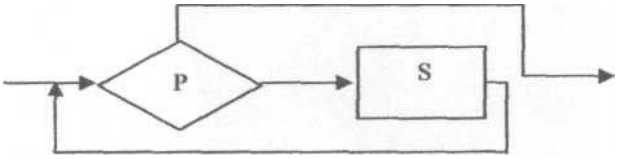
Функціональному блоку у мовах програмування відповідають оператори введення і виведення або будь-який оператор присвоєння.

У вигляді функціонального блоку може бути зображена будь-яка послідовність операторів, що виконуються один за одним, що має один вхід і один вихід.

2. Умовна конструкція. Цей блок включає перевірку деякої логічної умови (P), залежно від якої виконується або один (S1), або інший (S2) оператори:



1. Блок узагальненого циклу. Цей блок забезпечує багатократне повторення виконання оператора S поки виконана логічна умова P:



При конструюванні програми з використанням розглянутих типів блоків ці блоки утворюють лінійний ланцюжок так, що вихід одного блоку під'єднується до входу наступного. Таким чином, програма має лінійну структуру, причому порядок проходження блоків відповідає порядку, у якому вони виконуються.

Така структура значно полегшує читання і розуміння програми, а також спрощує доказ її правильності. Оскільки лінійний ланцюжок блоків може бути зведений до одного блоку, то будь-яка програма може, зрештою, розглядатися як єдиний функціональний блок з один входом і одним виходом.

При проектуванні і написанні програми потрібно виконати зворотне перетворення, тобто цей блок розбити на послідовність підблоків, потім кожен підблок розбити на послідовність дрібніших блоків до тих пір, поки не будуть отримані «атомарні» блоки, розглянутих вище типів. Такий метод

конструювання програми прийнято називати низхідним («зверху вниз»).

При низхідному методі конструювання алгоритму і програми спочатку розглядається все завдання у цілому. На кожному подальшому етапі завдання розбивається на дрібніші підзадачі, кожна підзадача, зрештою на ще дрібніші підзадачі і так до тих пір, поки не будуть отримані такі підзадачі, які легко кодуються на вибраній мові програмування. При цьому на кожному кроці уточнюються все нові і нові деталі («покрокова деталізація»).

В процесі низхідного проектування зберігається строга дисципліна програмування, тобто розбиття на підзадачі здійснюється шляхом застосування тільки розглянутих типів конструкцій (функціональний блок, умовна конструкція, узагальнений цикл), тому, зрештою, отримується достатньо структурована програма, придатна для систем обробки інформації.

4.3. Технічні засоби обробки інформації

4.3.1. Основні поняття

Під *обробкою інформації* розуміється будь-яке її перетворення, що проводиться за законами логіки, математики, а також неформальними правилами, заснованими на «здоровому глузді», інтуїції, узагальненому досвіді, поглядах і нормах поведінки.

Результатом обробки також є інформація, але представлена в інших формах (наприклад, впорядкована за якимись ознаками), або яка містить відповіді на поставлені питання (наприклад, розв’зування деякої задачі). Якщо процес обробки є можливість формалізувати, він може виконуватися технічними засобами.

Обробка даних передбачає здійснення різних операцій над ними, у першу чергу арифметичних і логічних, для отримання нових даних, які об'єктивно необхідні (наприклад, при підготовці відповідальних рішень). Даними називають факти, відомості, представлені у формалізованому вигляді (закодовані), занесені на ті чи інші носії з подальшою обробкою за допомогою спеціальних технічних засобів (у першу чергу комп’ютерної техніки).

Обробка даних можлива лише у тому випадку, коли є апріорні відомості про характер досліджуваних об'єктів і джерел інформації або про характер завдання, яка повинна вирішуватися з використанням цих даних. Ці апріорні відомості заздалегідь вводяться і зберігаються у пам'яті системи збирання та обробки інформації.

Технологія електронної обробки інформації являє собою людино-машинний процес виконання взаємопов'язаних операцій, що протікають у встановленій послідовності з метою перетворення вхідної (первинної) інформації у результатну.

Операція являє собою комплекс технологічних процесів, у результаті яких інформація перетворюється до визначеного вигляду. Технологічні операції різноманітні за складністю, призначенням, техніці реалізації і виконуються на різному устаткуванні багатьма виконавцями.

Основні принципи технології автоматизованої обробки інформації:

- Розподіл обробки даних на базі розвинених систем передавання; раціональне поєднання централізованого та децентралізованого управління і організації обчислювальних систем;

- Моделювання і формалізований опис даних, процедур перетворення, функцій і робочих місць виконавців;

- Врахування конкретних особливостей об'єкта, у якому реалізується машинна обробка інформації.

Комп'ютери у системах обробки інформації можуть функціонувати у наступних режимах: одно- та багатопрограмному, поділу часу, реального часу, телеобробки.

Режими взаємодії користувача і комп'ютера: пакетний і інтерактивний (запиту і діалоговий).

Пакетний режим, як правило, використовується при централізованій формі рішення обчислювальних задач. При цьому завдання для комп'ютера (на будь-яких машинних носіях інформації) збираються у пакет, який обробляється без перерви між завданнями у автоматичному режимі, без участі користувача. Це дозволяє більш економно використовувати ресурси машини. Комп'ютер може працювати у одно або багатопрограмному режимі (переважно у другому). у наш час пакетний режим реалізується стосовно послуг електронної пошти.

Інтерактивний режим передбачає безпосередню взаємодію користувача з інформаційно-обчислювальною системою (ІОС).

Режим запиту використовується, як правило, при вирішенні оперативних завдань довідково- інформаційного характеру (резервування квитків на транспорті, номерів у готелях, видача довідки).

Діалоговий режим відкриває користувачеві можливість безпосередньо взаємодіяти з обчислювальною системою у допустимому для нього темпі роботи. При цьому комп'ютер сам може ініціювати діалог, повідомляючи користувачеві послідовність кроків для отримання бажаного результату.

При режимі запиту і діалоговому режимі комп'ютер працює у *режимі поділу часу* (в цьому режимі диференційовано (в строго встановленому порядку) кожному користувачеві надається час спілкування з комп'ютером, після закінчення сеансу користувача відключають) і у *режимі реального часу*, який є подальшим розвитком режиму розподілу часу. Висока швидкодія комп'ютера дозволяє час обслуговування користувачів розбити на кванти. Обробляючи протягом кванта завдання кожного комп'ютера при такій високій швидкодії дозволяє повертатися до користувача за такий малий час, що у нього за дисплеєм створюється ілюзія того, що він один користується ресурсами машини. Це і є режим реального часу.

Часто ресурси великих комп'ютерів використовуються у режимі поділу часу спільно з пакетною обробкою.

Обробка інформації за принципом "чорного ящика" - процес, у якому користувачеві важлива і необхідна лише вхідна і вихідна інформація, а правила, за якими відбувається перетворення, його не цікавлять і не беруться до уваги.

"Чорний ящик" - це система, у якій зовнішньому спостерігачеві доступні лише інформація на вході і на виході цієї системи, а будова і внутрішні процеси невідомі.

Видача результатів обробки може здійснюватися у двох формах: *у режимі прямого зв'язку* зі споживачами інформації і у *режимі накопичення* з використанням пристроїв представлення результатів обробки споживачу.

Будь-яка операція обробки даних являє собою деяку обчислювальну або логічну операцію. Значний обсяг інформації при управлінні, різноманіття форм її представлення, велика кількість одночасно функціонуючих і просторово розділених джерел інформації, підвищення вимог до своєчасності, точності та зручності представлення інформації споживачу вимагають автоматизації інформаційних процесів. Це завдання вирішується шляхом розробки і використання складних інформаційних систем, у тому числі і систем збирання і обробки інформації, що включають у себе обчислювальні пристрої, пристрої передачі, зберігання і документального представлення інформації.

Основними характеристиками систем обробки інформації є:

- пропускна здатність, яка визначається швидкістю введення, виведення і обробки інформації;
- продуктивність, яка об'єднує трудомісткість і пропускну здатність;
- точність обробки;
- надійність;
- рівень автоматизації операцій у системі;
- принцип організації інформаційних потоків, паралельний або послідовний;
- економічність;
- часовий режим роботи системи, регулярність, безперервність періодичність видачі інформації;
- гнучкість, тобто. здатність перебудовуватися на рішення нових завдань;
- принцип закріплення функцій за технічними засобами;
- ступінь централізації обчислювальних операцій;
- наявність пристроїв зберігання проміжних результатів і результатів обробки.

Обробка інформації може бути *потоковою, з затримкою* і *непотоковою*.

Найбільш перспективною технологією для обробки масивів інформації на сьогодні визнано багатомашинні об'єднані обчислювальні системи.

4.3.2. Сучасні обчислювальні машини: загальне призначення

Технологічні операції збирання, реєстрації, підготовки і передавання даних у більшості інформаційних систем і технологій не є самоціллю, а використовуються для отримання вихідного матеріалу, що підлягає обробці. у результаті обробки, згідно закладеним алгоритмам формуються підсумкові дані (результатна інформація), що передаються споживачеві. Споживачем інформації може бути технічний пристрій (виконавчий механізм об'єкта

управління, принтер для оформлення квитків) або людина (спеціаліст управління, оператор технологічної установки, експериментатор). Основним засобом обробки інформації є комп'ютер.

Існує досить велика кількість ознак, за якими класифікуються комп'ютери. Розглянемо головні з них, із зазначенням значущих характеристик і особливостей різних груп комп'ютерів.

За принципом дії (формою представлення інформації) розрізняють аналогові, цифрові та гібридні обчислювальні машини.

В *аналогових комп'ютерах* вихідні дані подаються у вигляді безперервних (аналогових) значень будь-яких фізичних величин, найчастіше електричної напруги, а досліджуваний процес або явище представляється у машині математичною моделлю, що описується системою рівнянь, відповідно до якої реалізується схема. Результати обчислень відображаються у вигляді кривих на екрані осцилографа або реєструються самопишучим приладом. Тому їх називають також машинами безперервної дії або моделюючими машинами. Перевагами аналогових комп'ютерів є простота, надійність у роботі, висока швидкодія (обробка у ритмі надходження даних) і низька вартість, а до недоліків слід віднести обмежену точність і логічні можливості.

У *цифрових комп'ютерах* (машинах дискретної дії) кожна величина репрезентується послідовністю цифр, а рішення задачі зводиться до виконання сукупності арифметичних і логічних дії (операцій) над чисельними значеннями величин відповідно до алгоритму розв'язуваної задачі. Переваги виявляються у високій швидкодії і точності обчислень, великих логічних можливостях, а недоліки пов'язані з високою вартістю, складністю у застосуванні й обслуговуванні.

У *гібридних обчислювальних машинах* застосовується поєднання аналогових і цифрових методів обчислень, що дозволяє використовувати переваги цих принципів і ефективно організувати обчислення.

Надалі основним предметом розгляду будуть *цифрові комп'ютери*, що називаються просто комп'ютерами, як це прийнято на практиці.

По швидкодії і продуктивності комп'ютери поділяються на машини *малої, середньої, високої і надвисокої продуктивності.* Під продуктивністю розуміється кількість результатів заданої якості у одиницю часу. Швидкодія оцінюється кількістю операцій, що виконуються машиною у одиницю часу. Однак різноманітність машинних операцій і широкий діапазон часу їх виконання ускладнюють оцінку швидкодії. Тому часто швидкодія комп'ютера характеризується кількістю однієї з операцій (найчастіше складання), які виконуються у секунду. Продуктивність комп'ютера залежить від швидкодії елементної бази і витрат обладнання, визначається принципами побудови пристроїв і організацією комп'ютера у цілому. Останнім часом, у зв'язку з різким технологічним проривом у області швидкодії, ця класифікаційна характеристика як би нівелюється, а швидкодія характеризується тактовою частотою процесора.

За показником розрядності представлення чисел і характеру обладнання, розрізняють великі, малі (міні) і мікро-ЕОМ. Мікро-ЕОМ, на

відміну від інших машин, реалізуються на великих і надвеликих інтегральних схемах. Кожна з цих груп комп’ютерів має свою галузь застосування. Дана характеристика носить не стільки технічний, скільки функціональний характер (десять років тому сучасний персональний комп'ютер безумовно відносився б до класу супер-ЕОМ).

За призначенням комп’ютери поділяються на універсальні (загального призначення), спеціалізовані (спеціального призначення), управляючі і персональні. Іноді важко провести чітку грань між окремими різновидами комп’ютерів.

ЕОМ загального призначення оснащені системою команд, що дозволяє вирішувати завдання будь-якої складності у різних галузях застосування, причому продуктивність комп’ютерів для всіх класів завдань залишається приблизно однаковою. Комп’ютери спеціального призначення можуть бути орієнтовані на вирішення специфічних завдань (функціонально-орієнтовані) або на використання у певних галузях застосування (проблемно-орієнтовані), що дозволяє вирішувати завдання цільового призначення більш ефективно у порівнянні з універсальними машинами.

Керуючі комп’ютери використовуються для побудови систем збирання і обробки інформації, систем управління об'єктами і технологічними процесами. На їх основі реалізуються керуючі і вимірювально-обчислювальні комплекси, автоматизовані робочі місця або автоматизовані робочі станції, системи автоматизованого проектування та інші інформаційні системи або їх елементи. До складу таких комплексів окрім комп’ютера входять засоби дистанційного зв'язку з керованим об'єктом, перетворювачі сигналів і інші пристрої. Керуючі комп’ютери реалізуються у класі персональних комп'ютерів.

Персональні комп’ютери є універсальними мікро-ЕОМ компактного виконання, призначеними переважно для індивідуального користування. Вони застосовуються для підвищення продуктивності праці фахівців різного профілю, для навчання і багатьох інших цілей.

За *елементною базою і принципам організації* прийнято виділяти покоління комп’ютерів, що відображають етапи розвитку обчислювальної техніки. Останнім часом покоління комп’ютерів характеризують рівнем наступних показників: внутрішня організація (архітектура, програмне забезпечення), засоби взаємодії користувача з комп’ютером (мови і форми спілкування), технічна реалізація (елементна база, технічні параметри), а також рівень інтелекту (частка машинної праці у загальному процесі постановки і рішення задачі на комп’ютері).

Елементною базою комп’ютерів *першого покоління* служили електронні лампи, внаслідок чого їх недоліки були пов'язані з низькою надійністю, великою вагою, габаритами, споживаної потужністю, а слабкості у загальній організації обчислень обмежували сферу застосування цих комп’ютерів переважно виконанням науково-технічних розрахунків.

Комп’ютери *другого покоління* реалізовані на напівпровідникових приладах (діодах і транзисторах) з застосуванням друкованого монтажу при

виготовленні схем. Це дозволило поліпшити експлуатаційно-технічні характеристики машин і використовувати їх для автоматизації виробництва, вирішення економічних і інших завдань.

Мікроелектроніка і інтегральні схеми слугують основою побудови комп'ютерів *третього покоління*. у результаті підвищилися швидкодія і надійність машин, істотно знизилися габарити і маса, а галузі застосування охопили практично всі галузі людської діяльності.

Елементною базою комп'ютерів *четвертого покоління* (сучасні комп'ютери) є великі інтегральні схеми (ВІС). Крім того, ці машини істотно відрізняються тим, що містять декілька пристроїв обробки інформації - процесорів. Така побудова дозволяє значно підвищити швидкодію, надійність і живучість обчислювальних засобів.

Принципи організації комп'ютерів *п'ятого покоління* були запропоновані у 1979 році у Японії. Вони пов'язані зі створенням машин штучного інтелекту на основі швидкодіючих надвеликих інтегральних схем (НВІС), пам'яті значної ємності і надкомпактного розміщення компонентів комп'ютерів, застосування методів паралельних обчислень. Інтелектуалізація цих машин досягається за рахунок адекватного людині представлення і використання знань (здатність до навчання, формування банків знань, отримання висновків і прийняття рішень) і спрощення людино-машинного інтерфейсу (введення-виведення мови, зображень і документів, спрощення застосування і програмування, діалогова обробка інформації з використанням природної мови для непрофесійних користувачів і т.д.).

Створюються також комп'ютери з реалізацією процесу обчислень на іншій основі. Серед цих напрямків відзначимо наступні:

- оптичні комп'ютери на базі оптоелектроніки і таких елементів як лазери, фотоприймачі, світловоди і т.п. - дозволяють проводити обробку інформації у оптичному діапазоні (надшвидкої і інтегральної для зображень);
- біологічні та молекулярні комп'ютери, що реалізують процеси передавання і обробки інформації аналогічно живим організмам, із запам'ятовуванням і зберіганням інформації за допомогою органічних плівок, груп атомів або згустків електронів, певним чином розташованих відносно один одного. Для відтворення молекул і плівок передбачається використання методів генної інженерії. Такі комп'ютери характеризуються надзвичайно малими розмірами і енергоспоживанням, можуть вбудовуватися у роботи і імплантуватися у організм людини з метою створення штучних очей, вух, голосових зв'язок і т.д .;
- комп'ютери на основі явища надпровідності у умовах наднизьких і нормальних температур.

4.3.3. Функціональна організація обчислювальних машин

Термін "функціональна організація ЕОМ" часто використовують як синонім (у деякому розумінні) ширшого терміну - "архітектура ЕОМ".

Архітектура ЕОМ - це абстрактне представлення ЕОМ, яке відображає її структурну, схемотехнічну і логічну організацію. Поняття архітектури ЕОМ є

комплексним і включає:

- структурну схему комп’ютера;
- засоби і способи доступу до елементів структурної схеми;
- організацію і розрядність інтерфейсів комп’ютера;
- набір і доступність регістрів;
- організацію і способи адресації пам'яті;
- способи представлення і формати даних комп’ютера;
- набір машинних команд комп’ютера;
- формати машинних команд та обробку переривань.

Структурна схема комп’ютера

Комп’ютер являє собою комплекс пристроїв, які здійснюють автоматичну обробку інформації (даних) відповідно до заданого алгоритму. Під автоматичною обробкою інформації розуміється послідовність арифметичних і логічних операцій, що виконуються за заданою програмою над цифровими кодами, що зберігаються у пам'яті комп’ютера.

Комп’ютер складається з ряду пристроїв, кожен з яких виконує певні функції у обчислювальному процесі. Склад пристроїв, їх основні зв'язки та їх функції визначає узагальнена структурна схема (рис.4.2.).

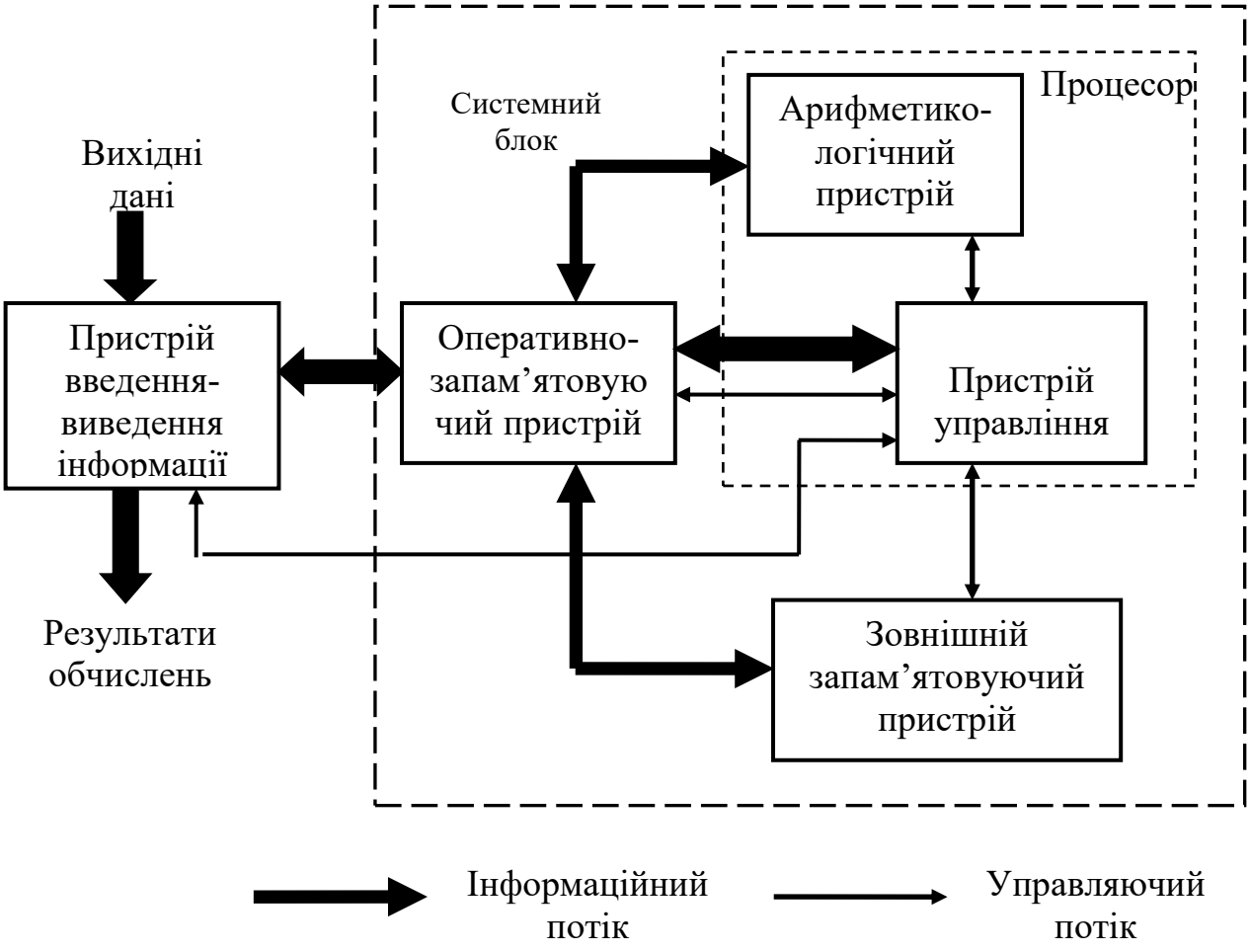


Рис. 4.2. Узагальнена структурна схема комп’ютера

Стрілки на схемі вказують напрямок передавання інформації, а всі зв'язки між пристроями діляться на інформаційні та керуючі. Інформаційні

зв'язки забезпечують передачу оброблюваної інформації, тобто кодів чисел і команд, а керуючі використовуються для передавання сигналів управління роботою пристроїв комп’ютера і відповідних сигналів.

Основні принципи організації комп’ютера:

• принцип програмного управління - забезпечує автоматичне вирішення завдання відповідно до обраного алгоритму і складеної програми. Програма являє собою послідовність команд, які вказують, які дії і у якій черговості необхідно виконувати над вхідними даними і проміжними результатами, щоб отримати кінцевий результат. Кожна команда викликає у машині виконання певних дій-операцій, а виконання команд програми призводить до вирішення поставленого завдання;

• принцип програми, що зберігається - відповідно до якого коди команд програми записуються у пам'ять машини і зберігаються у ній так само, як і інші цифрові коди, наприклад числа. Тому одні й ті ж команди можуть багаторазово вибиратися з пам'яті і виконуватися, а над командами можуть проводитися операції, що призводять до зміни (модифікації) команд.

Принцип роботи комп’ютера

Мікропроцесор служить для обробки інформації: він вибирає команди з внутрішньої пам'яті (ОЗУ або ПЗУ), розшифровує і потім виконує їх, здійснюючи арифметичні і логічні операції.

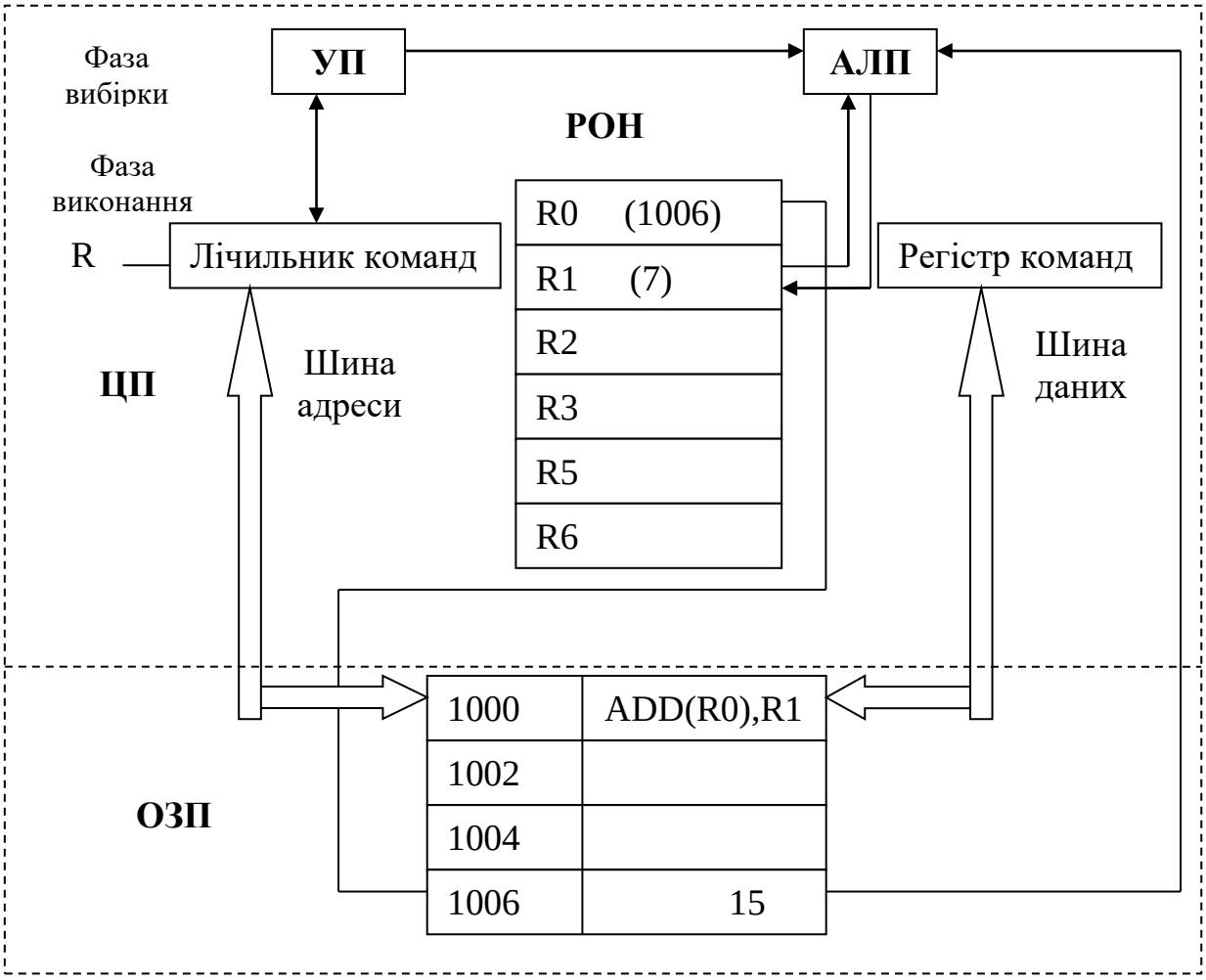


Рис. 4.3. Спрощена схема мікропроцесора

Отримує дані з пристрою введення і посилає результати на пристрої виведення. Також він виробляє сигнали управління і синхронізації для узгодженої роботи внутрішніх компонентів, контролює роботу системної магістралі і всіх периферійних пристроїв. Спрощена схема мікропроцесора представлена на рис. 4.3. (виділена штриховою лінією з написом ЦП).

Сучасні мікропроцесори мають 16-, 32- і 64-розрядну довжину двійкового числа, а також до 200 і більше різних внутрішніх команд.

Обробка інформації здійснюється за програмою, яка являє собою послідовність команд, що направляють роботу комп'ютера. Команда складається з коду операції і адреси. Код операції повідомляє мікропроцесору, що потрібно зробити, яку виконати операцію: скласти, порівняти, переслати, очистити і т.д. Адреса вказує місце, де знаходяться дані, що підлягають обробці. Команди бувають безадресні, одноадресні і двоадресні (більш детально ці питання розглянуті нижче).

Наприклад, двохадресна команда складання виглядає так:

ADD	**Адреса джерела**	**Адреса приймача**

Виконання будь-якої команди складається з двох фаз: фази вибірки і фази виконання

Фаза вибірки починається за сигналом початку циклу команди. При цьому вміст лічильника команд (ліч. команд) вказує на її адресу у ОЗП (наприклад, 1000). Як тільки сигнал по шині адрес надійде у ОЗП, вміст лічильника команд зміниться на 2 і вкаже адресу наступної команди. З ОЗП по шині даних команда надходить у регістр команд (Рег. команд) мікропроцесора. у даному випадку це команда ADD (RO), R1.

Фаза виконання починається з розшифровки отриманої команди. У нашому прикладі код операції ADD наказує АЛП скласти вміст, що знаходиться за адресою джерела, що зберігається у регістрі R0, з вмістом, що розміщені за адресою приймача R1, і результат помістити у регістр приймача R1. На цьому закінчується фаза виконання даної команди і мікропроцесор готовий до виконання наступної команди, зазначеної у лічильнику команд (ЛК + 2) і т.д. Слід звернути увагу на особливість записи адреси джерела R0. Ця електронна адреса була у команді узята у круглі дужки. У цьому випадку у регістрі R0 зберігаються не самі дані, а номер адреси, за якою знаходяться дані, які розшукуються.

При комп'ютерній обробці інформації доводиться мати справу з текстовими, графічними, числовими, звуковими й іншими даними. Для зберігання даних різної природи застосовуються різні способи їхнього представлення у двійковому алфавіті - різні способи кодування. Крім того, *для одного й того ж* різновиду даних також можуть використовуватися *різні* способи кодування, які відрізняються один від одного ефективністю й різними вимогами до ресурсів комп'ютера.

Конкретний спосіб кодування того або іншого різновиду інформації у

комп'ютері прийнято називати *форматом даних.* У загальному випадку термін «формат» розуміється як строго певний, вичерпно повний набір правил. Отже, у цьому сенсі мова йде про *вичерпний набір правил кодування у* комп'ютері того або іншого різновиду даних.

Обробка інформації здійснюється за рахунок логічних правил обробки *дискретних* даних у фізичних елементах.

Широке використання неарифметичних операцій і збільшення кількості машинних одиниць (символів, букв) даних привели до того, що дані у сучасних комп'ютерах можуть представлятися у форматах фіксованої і змінної довжини. у останньому випадку у командах звернення до операндів передбачаються спеціальні поля для зазначення довжин операндів.

Зазвичай довжина операндів і полів даних кратна байту, який є найменшою адресною одиницею оперативної пам'яті комп'ютера. Звернення до пам'яті при цьому здійснюється заданням адреси крайнього байта із зазначенням загального їх числа (довжини поля).

У комп'ютері можуть використовуватися різні способи представлення даних: двійкові, вісімкові і шістнадцяткові числа з фіксованою і (або) плаваючою комою (крапкою), десяткові числа, логічні операнди і символьні дані (поля змінної довжини).

Для арифметичної обробки позитивні числа представляють у прямому, а негативні - у прямому, зворотному або додатковому кодах. Таке кодування дозволяє звести всі арифметичні операції до виконання операції додавання, найбільш простого з точки зору схемної реалізації.

Зазначимо, що однією з найважливіших характеристик інформації є її достовірність. Для забезпечення заданого рівня достовірності даних використовуються коригуючі (перешкодостійкі) коди, що дозволяють виявляти і виправляти помилки, які виникають при збоях або під впливом перешкод. Основна ідея побудови таких кодів зводиться до введення додаткових (надлишкових по відношенню до мінімально необхідних для кодування корисної інформації) розрядів (символів).

Поняття такту.

У виконанні будь-яких дій над даними беруть участь кілька пристроїв комп'ютера. Очевидно, що дії, у яких беруть участь кілька виконавців (людей, пристроїв), повинні бути узгоджені й синхронізовані одна з одною. У цьому змісті можна провести наочну аналогію між комп'ютером і оркестром музичних інструментів. Щоб оркестр міг виконати яку-небудь мелодію, музиканти повинні діяти строго синхронно, а неузгоджена гра являє собою какофонію. За синхронізацію гри музикантів у оркестрі відповідає диригент, що у певному темпі керує диригентською паличкою. У комп'ютері таку ж роль відіграє спеціальний пристрій — *тактовий генератор,* що через рівні проміжки часу виробляє імпульси синхронізації — *синхроімпульси,* що служать орієнтирами у часі й використовуються для координації роботи всіма пристроями, що беруть участь у виконанні дії (рис. 4.4.). Тривалість вироблюваних імпульсів також однакова.

Проміжок часу від початку одного імпульсу синхронізації до початку

наступного за ним імпульсу називається тактом. Такти мають рівну тривалість з високим ступенем точності.

Виконання процесором будь-яких дій завжди відбувається під час деякої частини такту, а за нею потрібна пауза, протягом якої нічого не відбувається. Наявність такої паузи є принциповим чинником, що обумовлена фізичними законами, які управляють роботою процесора. Аналогічно забивають цвях молотком. Удари по капелюшку цвяха чергуються з періодами, під час яких молоток піднімається нагору для нанесення удару. Забити цвях без таких періодів неможливо. Хоча рух молотка відбувається неперервно, можна вважати, що процес забивання цвяха у цілому розпадається на ряд дискретних дій — ударів, що відбуваються *миттєво у* моменти зіткнення молотка й капелюшка цвяха. Точно так само, обговорюючи виконання процесором певної у програмі послідовності дій, можна вважати, що будь-які триваючі усередині такту дії відбуваються *миттєво у* моменти часу t_0, t_1, t_2..., що відповідають границям тактів. Строго говорячи, синхроімпульси, які вважаються границями тактів, також мають відмінну від нуля тривалість, тому моменти часу t_0, t_1, t_2... варто прив'язувати до початку тактових імпульсів.

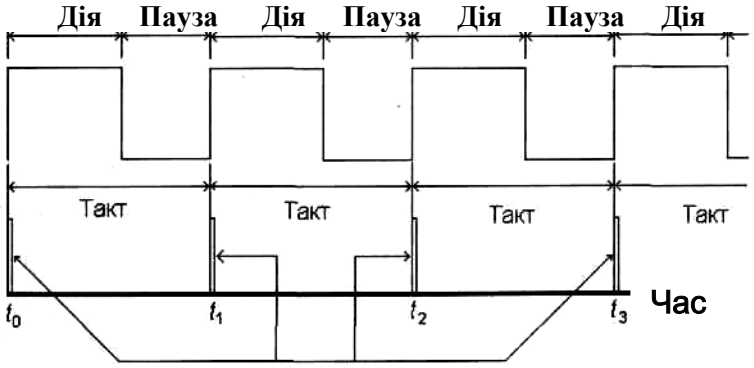


Рис. 4.4. До поняття такту

З поняттям такту пов'язана *тактова частота* - одна з найважливіших технічних характеристик різних пристроїв комп'ютера.

Тактова частота являє собою технічну характеристику окремих пристроїв комп'ютера, що дорівнює кількості тактів, керуючих роботою пристрою, у одиницю часу. Одиницею виміру тактової частоти є герц, рівний одному такту у секунду.

Тактова частота є одним з головних факторів, що визначають швидкість обробки даних комп'ютером. Перші персональні комп'ютери працювали на частотах 5-10 Мгц. У наш час процесори комп'ютерів працюють із тактовими частотами від сотень мегагерц до 3-4 Ггц. Можливо, у недалекому майбутньому з'являться процесори з тактовою частотою порядку 10 Ггц. Однак треба відмітити, що, відповідно до теоретичних оцінок, процесори, виконані на сучасних технологіях, не зможуть перевершити частот 30-40 Ггц.

Як відомо, програма у загальному випадку являє собою деякий текст, що визначає послідовність дій по обробці даних. Такий текст, так само як і оброблювані дані, кодується у комп'ютері за допомогою двійкового коду. Тобто програми, як і дані, представлені у комп'ютері у дискретному вигляді.

Для забезпечення програмою порядку обробки даних, у комп'ютері формуються й використовуються різні допоміжні значення й ознаки, що так чи інакше, характеризують результати обробки й використовуються для визначення подальшого порядку виконання дій. Так, наприклад, при обчисленні будь-яких числових значень формується ознака нульового результату. Ця ознака має значення 1, якщо у результаті обчислень отримується 0, і значення 0, якщо результат ненульовий. Аналіз цієї ознаки, наприклад, при обчисленні знаменника дробу, дозволяє уникнути безглуздого ділення на нуль. Згадані значення й ознаки, так само як і виконувана програма у цілому, представлені у комп'ютері двійковим кодом, тобто є дискретними.

Сукупність, що складається із двійкового коду виконуваної програми, значень оброблюваних дискретних даних, а також набору дискретних значень і ознак, які використовуються для керування процесом обробки, утворюють внутрішній стан комп'ютера.

Зважаючи на вищенаведене визначення внутрішнього стану комп'ютера, можна вважати, що у моменти часу t_0, t_1, t_2... відбувається *миттєвий* перехід комп'ютера з одного внутрішнього стану у інший — зі стану, що відповідає значенням оброблюваних даних і ознак до виконання дії, у стан, що відповідає значенням даних і ознак після виконання цієї дії. Таким чином, багато внутрішніх станів комп'ютера також є дискретним. Пристрої, що забезпечують роботу з дискретними даними або сигналами та володіють дискретною множиною внутрішніх станів, а також виконують дії у дискретні моменти часу, називаються дискретними. У зв'язку із цим говорять, що комп'ютер у цілому є *дискретним пристроєм,* а отже належить до групи дискретних пристроїв.

Вентилі й комбінаційні схеми.

Основними, базовими операціями, які обов'язково повинен «уміти» виконувати процесор комп'ютера над двійковими кодами даних, є логічні операції заперечення, диз’юнкції, кон’юнкції, арифметичного додавання, а також зрушення коду. Використовувані для реалізації цих і інших операцій пристрої прийнято називати *вентилями* (від ньому. Ventil - клапан).

Вентилем називається фізичний пристрій, що реалізує одну з базових логічних операцій: заперечення, диз'юнкцію, ко'нюнкцію, виключаючу диз'юнкцію й т.д. Вентилі, що входять до складу процесорів комп'ютера, називають також логічними елементами.

Командний цикл процесора

Командою називається елементарна дія, яка може виконати процесор без подальшої деталізації. Послідовність команд, виконання яких приводить до досягнення певної мети, називається програмою. Команди програми кодуються двійковими словами і розміщуються у пам'яті ЕОМ. Вся робота ЕОМ полягає у послідовному виконанні команд програми. Дії по вибору з

пам'яті і виконанню однієї команди називаються командним циклом.

У складі будь-якого процесора є спеціальний осередок, який зберігає адресу виконуваної команди - лічильник команд або програмний лічильник. Після виконання чергової команди його значення збільшується на одиницю (якщо код однієї команди займає декілька елементів пам'яті, то вміст лічильника команд збільшується на довжину команди). Таким чином здійснюється виконання послідовності команд. Існують спеціальні команди (передачі управління), які у процесі свого виконання модифікують вміст програмного лічильника, забезпечуючи переходи за програмою. Сама виконувана команда поміщається у регістр команд - спеціальний осередок процесора.

Під час виконання командного циклу процесор реалізує наступну послідовність дій:

1. Зчитування з пам'яті вмісту осередку, адреса якого зберігається у програмному лічильнику, і розміщення цього коду у регістрі команд (читання команди).
2. Збільшення вмісту програмного лічильника на одиницю.
3. Формування адреси операндів.
4. Витягання операндів з пам'яті.
5. Виконання заданої у команді операції.
6. Розміщення результату операції у пам'яті.
7. Перехід до п. 1.

Пункти 1, 2 і 7 обов'язково виконуються у кожному командному циклі, інші можуть не виконуватися у деяких командах. Якщо довжина коду команди складає декілька машинних слів, то пп. 1 і 2 повторюються. Фактично вся робота процесора полягає у циклічному виконанні пунктів 1—7 командного циклу. При запуску машини у лічильник команд апаратно розміщується фіксоване значення — початкова адреса програми (часто 0 або остання адреса пам'яті; зустрічаються і більш екзотичні способи завантаження початкової адреси). Надалі вміст програмного лічильника модифікується у командному циклі. Припинення виконання командних циклів може відбутися тільки при виконанні спеціальної команди "СТОП".

Система команд процесора

Різноманітність типів даних, форм їх представлення і дій, які необхідні для обробки інформації і управління ходом обчислень, породжує необхідність використання різних команд - набору команд. Кожен процесор має власний цілком певний набір команд, що називається системою команд процесора. Система команд повинна володіти двома властивостями — функціональною повнотою і ефективністю.

Функціональна повнота - це достатність системи команд для опису будь-якого алгоритму. Вимога функціональної повноти не є дуже жорсткою. Доведено, що властивістю функціональної повноти володіє система, що включає всього три команди (система Поста): присвоєння 0, присвоєння 1, перевірка на 0. Проте складання програм у такій системі команд украй неефективне.

Ефективність системи команд - це ступінь відповідності системи команд призначенню ЕОМ, тобто класу алгоритмів, для виконання яких призначається ЕОМ, а також вимогам до продуктивності ЕОМ. Очевидно, що реалізація розвиненої системи команд пов'язана з великими витратами устаткування і, отже, з високою вартістю процесора. у той же час обмежений набір команд призводить до зниження продуктивності і підвищених вимог до пам'яті для розміщення програми. Навіть прості і дешеві сучасні мікропроцесори підтримують систему команд, що містить декілька десятків (а з модифікаціями - сотень) команд.

Система команд процесора характеризується трьома аспектами: форматами, способами адресації і системою операцій.

Формати команд

Під форматом команди слід розуміти довжину команди, кількість, розмір, положення, призначення і спосіб кодування її полів. Команди, як і будь-яка інформація у ЕОМ, кодуються двійковими словами, які повинні містити у собі наступні види інформації:

- тип операції, яку слід реалізувати у даній команді (КОП);
- місце у пам'яті, звідки слід узяти перший операнд (А1);
- місце у пам'яті, звідки слід узяти другий операнд (А2);
- місце у пам'яті, куди слід помістити результат (А3).

Кожному з цих видів інформації відповідає своя частина двійкового слова - поле, а сукупність полів (їх довжини, розташування у командному слові, спосіб кодування інформації) називається форматом команди. У свою чергу, деякі поля команди можуть ділитися на підполя. Формат команди, поля якого перераховані вище, називається триадресним (рис. 4.5, а).

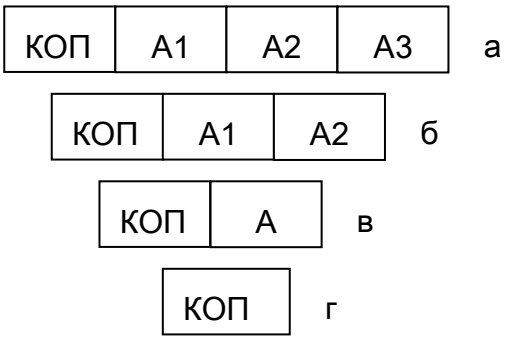


Рис. 4.5. Формати команд: а-триадресний; б-двоадресний; в-одноадресний; г-безадресний.

Команди триадресного формату займають багато місця у пам'яті, у той же час далекого не завжди поля адрес використовуються у командах ефективно. Дійсно, разом з двомісними операціями (складання, ділення, кон'юнкція і ін.) зустрічаються і одномісні (інверсія, зсув, інкремент і ін.), для яких третя адреса не потрібна. При виконанні ланцюжка обчислень часто результат попередньої операції використовується як операнд для наступної.

Більш того, нерідко зустрічаються команди, для яких операнди не визначені (СТОП) або передбачаються самим кодом операцій (DAA, десяткова корекція акумулятора).

Тому у системах команд реальних ЕОМ триадресні команди зустрічаються рідко. Частіше використовуються двоадресні команди (рис. 4.5, б), у цьому випадку у бінарних операціях результат розміщується на місце одного з операндів.

Для реалізації одноадресних форматів (рис. 4.5, в) у процесорі передбачають спеціальний осередок - акумулятор. Перший операнд і результат завжди розміщуються у акумуляторі, а другий операнд адресується полем А.

Реальна система команд зазвичай має команди декількох форматів, причому тип формату визначається у полі КОП.

Способи адресації

Спосіб адресації визначає, яким чином слід використовувати інформацію, розміщену у полі адреси команди. Не слід думати, що у всіх випадках у полі адреси команди поміщається адреса операнда. Існує п'ять основних способів адресації операндів у командах.

- *Пряма* - у цьому випадку у адресному полі розташовується адреса операнда. Різновид - пряма регістрова адресація, що адресує не елемент пам'яті, а регістр загального призначення (РЗП). Поле адреси регістра має у команді значно меншу довжину, чим поле адреси пам'яті.
- *Безпосередня* - у полі адреси команди розташовується не адреса операнда, а сам операнд. Такий спосіб зручно використовувати у командах з константами.
- *Непряма* - у полі адреси команди розташовується адреса елементу пам'яті, у якій зберігається адреса операнда ("адреса адреси"). Такий спосіб дозволяє оперувати адресами як даними, що полегшує організацію циклів, обробку масивів даних і ін. Його основний недолік - втрата часу на подвійне звернення до пам'яті - спочатку за адресою, потім - за операндом. Різновид - побічно-регістрова адресація, при якій у полі команди розміщується адреса РЗП, що зберігає адресу операнда. Цей спосіб, окрім переваги звичайної непрямої адресації, дозволяє звертатися до великої пам'яті за допомогою коротких команд і не вимагає подвійного звернення до пам'яті (звернення до регістра займає значно менше часу, чим до пам'яті).
- *Відносна* - адреса формується як сума два доданків: бази, що зберігається у спеціальному регістрі або у одному з РЗП, і зсуву, зчитаного з поля адреси команди. Цей спосіб дозволяє скоротити довжину команди (зсув може бути скороченим, правда у цьому випадку не вся пам'ять доступна у команді) і/або переміщати адресовані масиви інформації по пам'яті (змінюючи базу). Різновид - індексна і базово-індексна адресації. Індексна адресація припускає наявність індексного регістра замість базового. При кожному зверненні вміст індексного регістра автоматично модифікується (зазвичай збільшується або зменшується на 1). Базово-індексна адресація формує адресу операнда як суму трьох доданків: бази, індексу і зсуву.

- *Безадресна* - поле адреси у команді відсутнє, а адреса операнда або не має смислу для даної команди, або припускається за замовчуванням. Часто безадресні команди припускають дії над вмістом акумулятора. Характерно, що безадресні команди не можна застосувати до інших регістрів або елементів пам'яті.

Одним з різновидів безадресного звернення є використання т.з. магазинної пам'яті або стека. Звернення до такої пам'яті нагадує поводження з магазином стрілецької зброї. Є фіксований осередок, що називається верхівкою стека. При читанні слово витягується з верхівки, а решта всього вмісту "піднімається вгору" подібно до патронів у магазині, так що у верхівці опиняється наступне по порядку слово. Одне слово не можна прочитати зі стека двічі. При записі нове слово поміщається у верхівку стека, а решта всього вмісту "опускається вниз" на одну позицію. Таким чином, слово, поміщене у стек першим, буде прочитано останнім. Говорять, що стек підтримує дисципліну LIFO — Last In First Out (останній прийшов — перший пішов). Рідше використовується безадресна пам'ять типу черга з дисципліною FIFO — First In First Out (перший прийшов - перший пішов).

Система операцій

Всі операції, що виконуються у командах ЕОМ, прийнято ділити на п'ять класів.

1. *Арифметико-логічні і спеціальні* - команди, у яких виконується власне перетворення інформації. До них відносяться арифметичні операції складання, віднімання, множення і ділення (з фіксованою і плаваючою комою), команди десяткової арифметики, логічні операції кон'юнкції, диз'юнкції, інверсії і ін., зсуву, перетворення чисел з однієї системи числення у іншу, рішення системи рівнянь і ін. Звичайно, дуже рідко зустрічаються ЕОМ, система команд яких включає всі ці команди.

2. *Пересилки і завантаження* - забезпечують передачу інформації між процесором і пам'яттю або між різними рівнями пам'яті
(НОЗП <>ОЗП). Різновид - завантаження регістрів і осередків константами.

3. *Введення/виведення* - забезпечують передачу інформації між процесором і зовнішніми пристроями. За структурою вони дуже схожі на команди попереднього класу. У деяких ЕОМ принципово відсутня відмінність між елементами пам'яті і регістрами зовнішніх пристроїв (єдиний адресний простір) і клас команд введення/виведення не виділяється, всі обміни здійснюються у межах команд пересилки і завантаження.

4. *Передачі управління* - команди, які змінюють природний порядок виконання команд програми. Ці команди міняють вміст програмного лічильника, забезпечуючи переходи за програмою. Існують команди безумовної і умовної передачі управління. У останньому випадку передача управління відбувається, якщо виконується задана у коді команди умова, інакше виконується наступна по порядку команда.

Як умови зазвичай використовуються ознаки результату попередньої операції, які зберігаються у спеціальному регістрі ознак (прапорців). Найчастіше формуються і перевіряються ознаки нульового результату,

негативного результату, наявності перенесення зі старшого розряду, парності числа одиниць у результаті і ін.

Розрізняють три різновиди команд передачі управління: переходи; виклики підпрограм; повернення з підпрограм.

Команди переходів розміщують у програмний лічильник вміст свого адресного поля - адресу переходу. При цьому старе значення програмного лічильника втрачається. У *мікро*ЕОМ часто для економії довжини адресного поля команд умовних переходів адреса переходу формується як сума поточного значення програмного лічильника і відносно короткого знакового зсуву, що розміщується у команді. у крайньому випадку, у командах умовних переходів можна і зовсім обійтися без адресної частини — при виконанні умови команда "перестрибує" через наступну команду, якою зазвичай є безумовний перехід.

Команда виклику підпрограми працює подібно до команди безумовного переходу, але старе значення програмного лічильника заздалегідь зберігається у спеціальному регістрі або у стеку.

Команда повернення передає вміст верхівки стека або спеціального регістра у програмний лічильник. Команди виклику і повернення працюють "в парі". Підпрограма, що викликається командою виклику, повинна закінчуватися командою повернення, що забезпечує після закінчення роботи підпрограми передачу управління у точку виклику. Зберігання адрес повернення у стеку забезпечує можливість реалізації вкладених підпрограм.

Системними є команди, що виконують управління процесом обробки інформації і внутрішніми ресурсами процесора. До таких команд відносяться команди управління підсистемою переривання, команди установки і зміни параметрів захисту пам'яті, команда зупинки програми і деякі інші. У простих процесорах клас системних команд нечисленний, а у складних мультипрограмних системах передбачається велике число системних команд.

3.3.4. Конструктивна будова комп’ютера

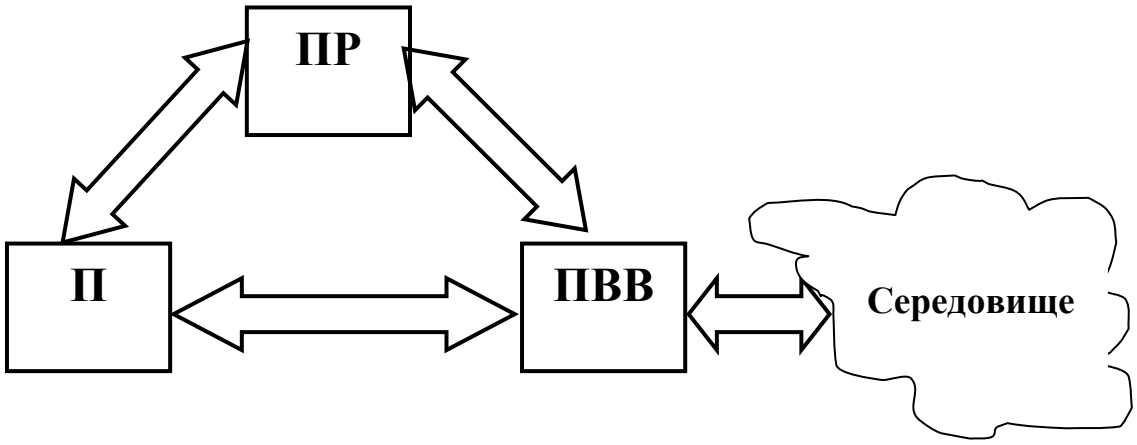
В наш час відомі дві структури будови комп’ютерів різного призначення:

- структура комп’ютера з просторовим розділенням ліній міжблочних зв'язків (рис.4.6. а));
- структура комп’ютера з часовим поділом (мультиплексуванням) ліній міжблочних зв'язків (з магістральним зв'язком) (рис. 4.6. б)).

Перша структура є основою для створення дорогих унікальних швидкодіючих складних комп’ютерів для досліджень в галузі розробки нових ЕОМ. Друга структура є основою для побудови дешевих комп’ютерів масового застосування, що мають меншу швидкодію, ніж ЕОМ першого типу. Для комп’ютерів, що мають системну магістраль з часовим поділом, передача цифрової інформації між двома блоками відбувається протягом виділеного інтервалу часу. Третій блок протягом цього інтервалу простоює. Таким чином визначається принципове обмеження швидкодії комп’ютерів другого типу. Структура комп’ютера з просторовим розділенням ліній міжблочних зв'язків є

закритою, що не підлягає подальшому нарощуванню для модернізації експлуатованої ЕОМ.

а)



б)

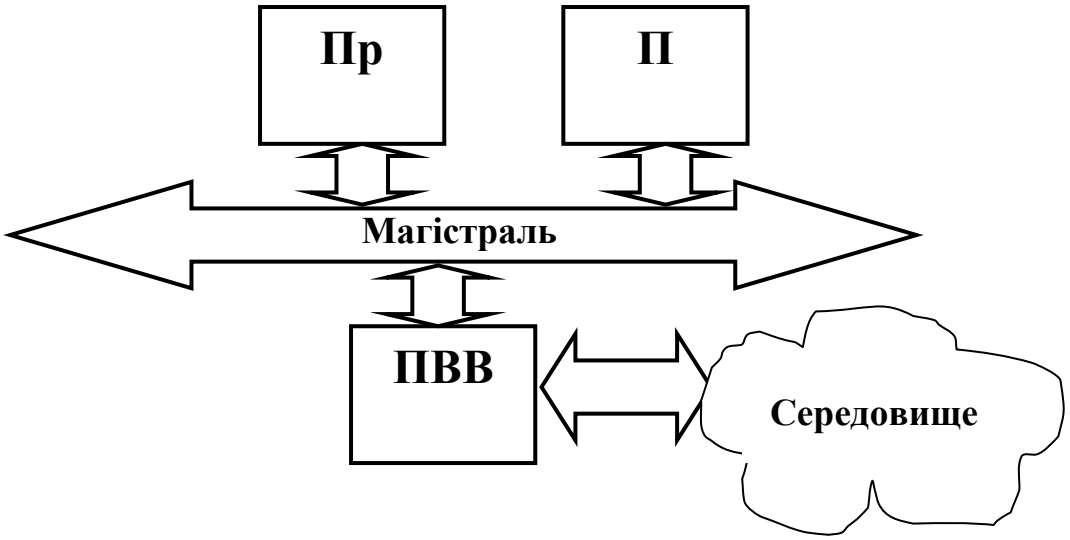


Рис.4.6. Структури цифрових обчислювальних машин, де Пр - процесор; П - пам'ять; ПВВ - пристрої введення / виведення

Структура ЕОМ з часовим поділом ліній міжблочних зв'язків є відкритою, нарощуваною і допускає модернізацію експлуатованої ЕОМ шляхом підключення до загальної магістралі додаткових блоків. Саме ЕОМ такої структури отримали широке застосування як природний результат технологічної революції у виробництві напівпровідникових приладів - великих і надвеликих цифрових інтегральних схем. Масове виробництво таких БІС і НВІС в сотні і тисячі разів зменшило вартість ЕОМ і дозволило застосовувати їх в різних галузях промисловості, сільського господарства і управління.

Основною особливістю сучасних комп'ютерів є закладений у них принцип відкритої архітектури. Комп'ютер зроблений не єдиним, монолітним пристроєм, а зібраний з окремих виготовлених незалежно частин або вузлів із

забезпеченням певних методів їх з'єднання один з одним. Будь-який вузол може бути замінений іншим і, крім того, до комп'ютера можуть бути додатково приєднані інші вузли. Це робить досить простими операції з модернізації і розширення функціональних можливостей комп'ютера.

Конструктивно комп'ютер складається з друкованих плат, що мають стандартні роз'єми. Плати комплектуються елементами, які є типовими за виконуваними функціями і фізичними принципами функціонування.

Основу комп'ютера становить системний блок, у якому розміщені: мікропроцесор (МП), блок оперативної пам'яті (ОЗП), постійної пам'яті (ПЗП), довготривалої пам'яті на жорсткому магнітному диску (вінчестер), пристрої для запуску компакт-дисків (CD) і ін.

Там же знаходяться плати: мережева, відеопам'яті, обробки звуку, модем (модулятор-демодулятор), інтерфейсні плати, які обслуговують пристрої введення-виведення: клавіатури, дисплея, "миші", принтера та ін..

На рис. 4.7. представлена типова схема будови комп'ютера.

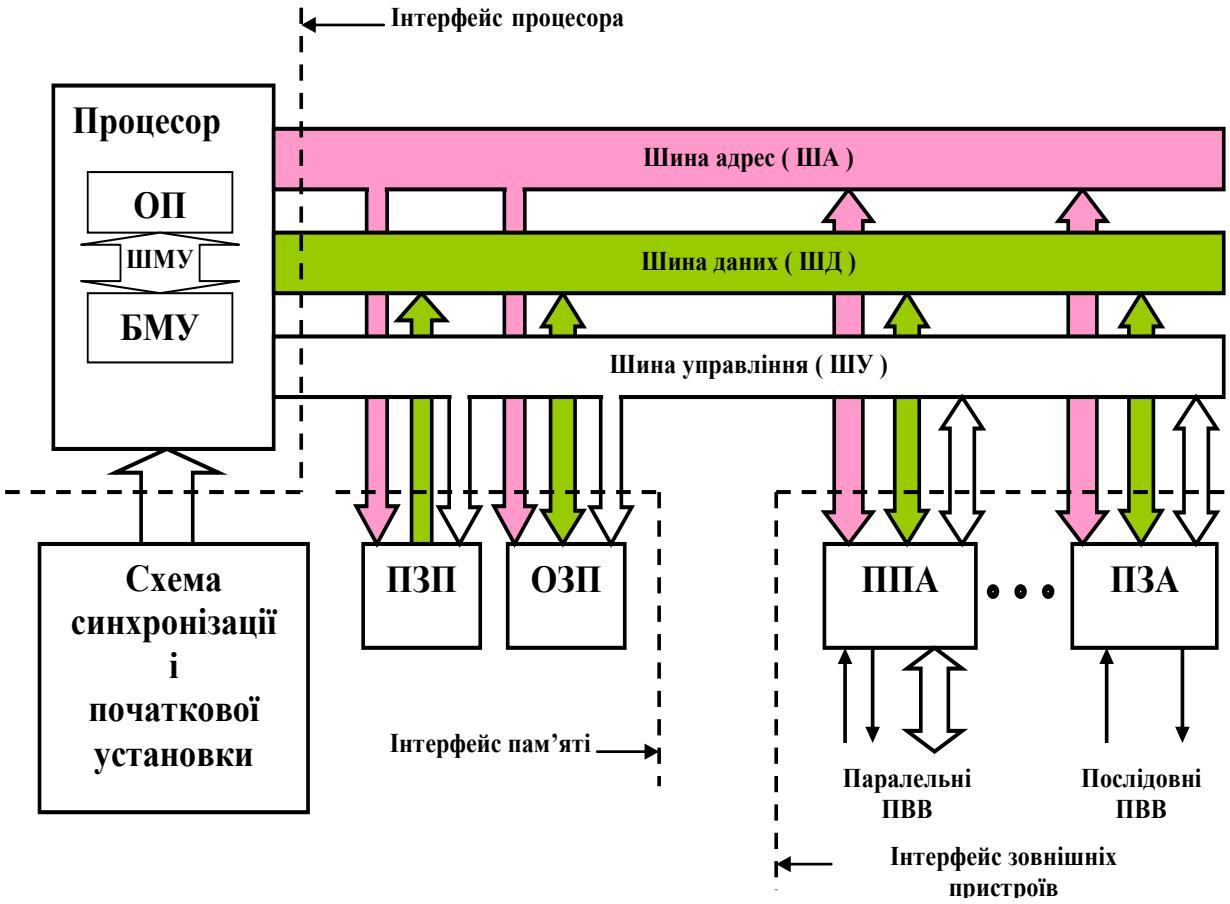


Рис. 4.7. Типова схема будови комп'ютера,
Де; ОП - операційний пристрій; БМУ - блок мікропрограмного управління; ШМУ - шина мікропрограмного управління; ПЗП - постійний запам'ятовуючий пристрій; ОЗП - оперативне запам'ятовуючий пристрій; ППА - програмований паралельний адаптер; ПСА - програмований зв'язковий (послідовний) адаптер.

Всі функціональні вузли ПК пов'язані між собою через системну магістраль, що представляє із себе більше трьох десятків упорядкованих мікропровідників, сформованих на друкованій платі.

У якості елементної бази сучасних комп’ютерів використовуються інтегральні схеми (мікросхеми). Вони виготовляються методами інтегральної технології і можуть виконувати функції елементів, вузлів або пристроїв.

Інтегральні схеми є мікроелектронними виробами, які виконують певні функції перетворення і обробки сигналів і мають високу щільність упаковки електрично з'єднаних елементів і компонентів. Інтегральні схеми випускаються серіями, щоб на основі однієї серії можна було створювати будь-який функціонально закінчений пристрій. Серія інтегральних схем являє собою сукупність мікросхем, що виконують різні функції, але мають єдине конструктивно-технологічне виконання і розраховані на спільне застосування. Вони збираються у стандартному корпусі, мають однакові напруги живлення, способи кріплення і монтажу.

Складність інтегральних схем, щільність упаковки і їх можливості визначаються ступенем інтеграції k, що є логарифмом числа N елементів і компонентів, що містяться у мікросхемі, тобто k = lnN. Отже, мікросхеми першого ступеня інтеграції містять до 10 елементів і інших компонентів, другого - 11 ... 100, третього - 101 ... 1000, четвертого - 1001 ... 10 000 і т.д. Залежно від ступеня інтеграції все інтегральні схеми поділяються на:

- малі (першого та другого ступеня) - містять у одному корпусі один або кілька логічних елементів або тригерів;
- середні (другого і третього ступеня) - містять один або кілька однакових функціональних вузлів (регістри, лічильники, суматори, дешифратори);
- великі (третього і четвертого ступеня) - містять один або декілька функціонально закінчених пристроїв або їх частин (арифметично-ллогічний пристрій - АЛП, оперативно-запам’ятовуючий пристрій - ОЗП);
- надвеликі (п'ятого та наступних ступенів) - містять закінчені процесори та інші обчислювальні засоби.

Поява НВІС дозволило розробити на їх основі цифрові пристрої, які за виконуваними функціями відповідають центральним процесорам комп’ютерів. Такі НВІС отримали назву мікропроцесорів. Розглянута узагальнена структурна схема має ряд недоліків, пов'язаних з низькою ефективністю використання пристроїв, жорсткою структурою і незмінним складом обладнання. Тому організація сучасних комп’ютерів відмінна від наведеної схеми і у залежності від призначення машини реалізується по одному з двох типових рішень. Такими рішеннями є ієрархічна і магістральна структури комп’ютерів.

• Ієрархічна структура. Великі комп’ютери загального призначення, часто мають ієрархічну структуру, у якій виділяється чотири рівні пристроїв, причому кожен рівень знаходиться у відношенні підпорядкування більш високому рівню.

На *першому (верхньому) рівні* розташовуються центральний процесор і

ОЗП. Процесор здійснює виконання обчислювальних операцій і програмне керування роботою комп’ютера у цілому. У ОЗП зберігається необхідна для обчислень інформація.

Пристрої *другого і третього рівнів* - канали введення-виведення і пристрої керування периферійними пристроями (контролери). Вони призначені для підключення периферійних пристроїв до центральних і управління введенням-виведенням інформації (для розвантаження процесора від виконання цих функцій). Крім того, їх наявність дозволяє підключати периферійне устаткування у такій кількості і складі, які потрібні користувачеві і відповідають специфіці вирішуваних завдань.

Канали введення-виведення (КВВ) є спеціалізованими периферійними процесорами, що забезпечують управління введенням-виведенням інформації. При такій організації функції центрального процесора зводяться до ініціювання схеми обміну шляхом видачі у канал необхідних команд і отримання з них інформації про стан каналу і периферійних пристроїв. Подальше управління введенням-виводом здійснюють канали. Цим досягається можливість паралельної роботи процесора і периферійного пристрою. КВВ діляться на мультиплексні (для підключення периферійних пристроїв з обмеженою швидкодією) і селекторні (для швидкодіючих периферійних пристроїв) канали.

Пристрої *третього рівня*, що називаються контролерами, здійснюють безпосереднє управління роботою периферійних пристроїв по командам (інструкціям) каналу і забезпечують їх стандартне сполучення відповідно до вимог інтерфейсу введення-виведення. Контролер може керувати одним або декількома однотипними пристроями.

На *четвертому рівні* розташовані периферійні пристрої, які є для комп’ютера джерелами і приймачами інформації. Вони забезпечують введення-виведення інформації та зберігання масивів даних, програм користувачів і системного математичного забезпечення.

Пристрої сусідніх рівнів у ієрархічній структурі пов'язані між собою через стандартні сполучення - інтерфейси. Для користувачів найбільше значення має інтерфейс введення-виведення, так як тільки він доступний користувачеві

Магістральна структура.

Магістральна структура характерна для машин класів міні-комп’ютерів, у тому числі і для персональних комп'ютерів.

Всі пристрої об'єднуються у систему за допомогою єдиного каналу, що називається магістраллю або загальною шиною.

Це істотно спрощує структуру комп’ютера і забезпечує їй ряд переваг:

- єдиний спосіб підключення всіх пристроїв на основі загального для них інтерфейсу, що виконує функції сполучення пристроїв з магістраллю і деякі стандартні керуючі функції. Це дозволяє включати до складу комп’ютера необхідний набір пристроїв, нарощувати і змінювати його;
- простота виконання операцій введення-виведення за рахунок того, що регістри ПП адресуються аналогічно осередків ОЗП. Тому операції

введення-виведення здійснюються як операції звернення до пам'яті;

- можливість обміну інформацією між ОЗП і ПП, а також ПП один з одним без участі процесора;
- простота і можливість підключення до магістралі великого числа ПП, використовуючи при необхідності розширювач загальної шини;
- здатність до організації багатопроцесорних систем, систем автоматизації технологічних процесів, наукового експерименту і т.п.

Відсутність КВВ знижує продуктивність процесора, так як функції каналів частково виконуються процесором і частково контролерами. Введення-виведення даних може відбуватися за одним із способів: програмно-керована передача без переривання; введення-виведення з використанням переривання; обмін даними по каналу прямого доступу до пам'яті. Взаємодія пристроїв через загальну шину проводиться на основі принципу задатчик-виконавець. Вибір задатчика здійснюється схемою пріоритету (арбітром) процесора. Пріоритет пристроїв визначається фізичним (електричним) місцем їх підключення до загальної шини: чим ближче до процесора підключено пристрій, тим вище його пріоритет. Передача даних по загальній шині виконується асинхронно по методу "запит-відповідь".

В цілому ієрархічна і магістральна структури дозволяють створювати комп’ютери, що працюють у основних режимах, необхідних користувачеві (багатопрограмний режим, обробка у реальному масштабі часу, телеобробка і т.д.), з уніфікованим підключенням необхідного числа периферійних пристроїв.

4.3.4. Обчислювальні системи

У сучасних розвинених інформаційних системах *машинна обробка інформації* передбачає послідовно-паралельне у часі розв’язування обчислювальних задач. Машинна обробка інформації можлива за наявності певної організації обчислювального процесу. Обчислювальні завдання, за мірою необхідності звертаються із запитами до обчислювальної системи. Організація процесу передбачає визначення послідовності виконання завдань і реалізацію обчислень. Послідовність виконання задається, виходячи з їх інформаційного взаємозв'язку, коли результати вирішення однієї задачі використовуються як вихідні дані для вирішення іншої.

Обробка - це послідовне / паралельне у часі рішення обчислювальних задач. Термін «паралельне» має місце у тому випадку, якщо у системі автоматичного оброблення даних комп’ютерною обчислювальною системою (КОС) присутні декілька комп’ютерів. Узагальнену структуру комп’ютерної обчислювальної системи представлено на рис. 4.8.

Кожна обчислювальна задача, що надійшла у комп’ютерну обчислювальну систему (КОС) може бути розглянута як деяка заявка на обслуговування. За допомогою диспетчера Д1 реалізується обгрунтування заявки, що надійшла, і постановка її у чергу OI ... ON ($Ч_I$ ... $Ч_N$), які реалізуються на осередках оперативної пам'яті. Заявки відображаються кодами і очікують початку обслуговування. Диспетчер Д2 вибирає з черг

заявку на обслуговування і передає її для обробки на комп'ютер. Зазвичай вибирається заявка, що має переважне право на обслуговування (тобто більш високий пріоритет).

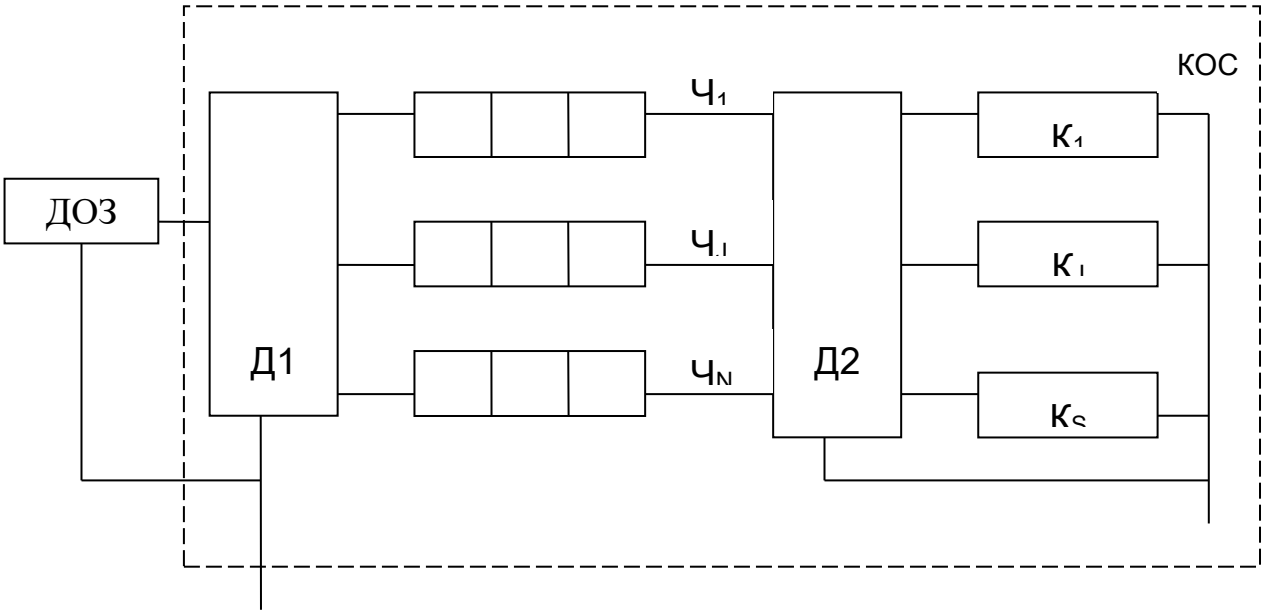


Рис. 4.8. Узагальнена структура комп'ютерної обчислювальної системи, де: ДОЗ – джерело обчислювальних задач (інформаційно-обчислювальних заявок); Д – диспетчер; $Ч_1$ ... $Ч_N$ – черга заявок на обслуговування; $К_1$ ... $К_S$ - комп'ютери; КОС - комп'ютерна обчислювальна система.

Процес вибору заявки з множини називається *диспетчеризацією*. При відсутності заявок у чергах диспетчер Д2 перемикає процесори комп'ютера у стан очікування. Диспетчери Д1 і Д2 є керуючими програмами. У загальному випадку у КОС реалізується паралельне обслуговування за рахунок наявності декількох комп'ютерів ($К_I$ ... $К_S$).

Залежно від ступеня концентрації обчислювальних засобів розрізняють централізовані і децентралізовані форми обробки інформації у обчислювальних системах. Централізовані форми - це інформаційно-обчислювальні центри (ІОЦ), діяльність яких характеризується обробкою великих обсягів інформації, наявністю множини великих і середніх комп'ютерів, кваліфікованого персоналу для обслуговування техніки та розробки програмного забезпечення. Структура сучасного ІОЦ на базі великих комп'ютерів (манфреймів) представлена на рис. 4.9.

Група інформаційного забезпечення забезпечує технічною інформацією інші підрозділи ІОЦ на їхнє замовлення, також створює і зберігає архіви раніше розроблених програм та накопичених даних.

Децентралізація передбачає розміщення ПК у місцях виникнення і споживання інформації, де створюються автономні пункти обробки інформації (це абонентські пункти (АП) - термінали) і автоматизовані робочі місця (АРМ)). АРМ включають: ПК, що працює автономно або у обчислювальній мережі, набір програмних засобів та інформаційних масивів

для вирішення функціональних завдань.

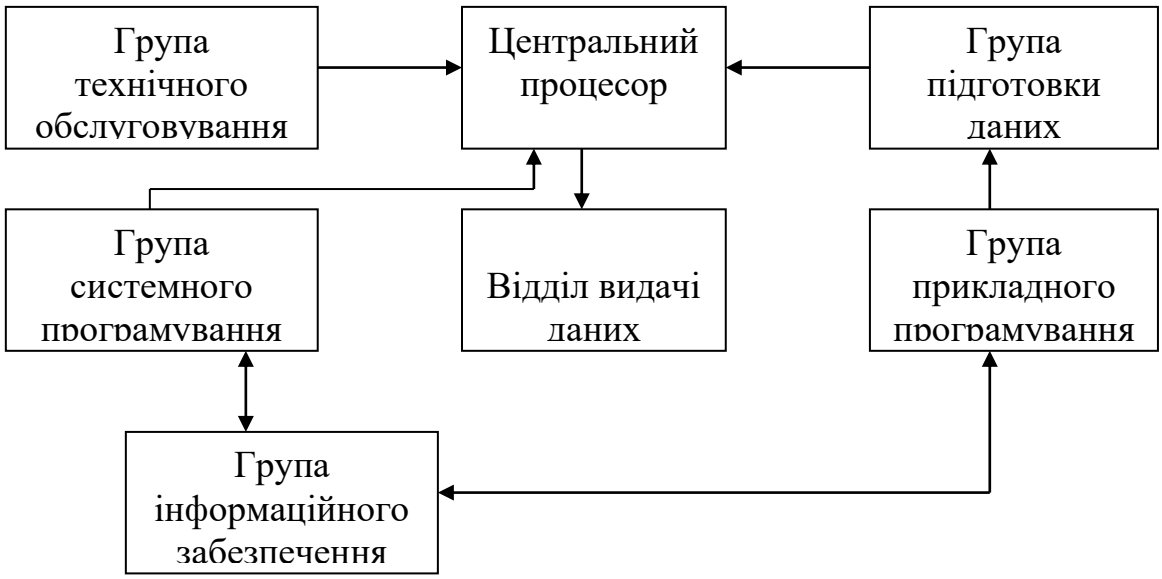


Рис. 4.9. Структура сучасного ІОЦ на базі манфреймів.

При централізованій формі обробки інформації поряд з позитивними сторонами (висока ступінь завантаження, можливість організувати надійну роботу, кваліфіковане обслуговування) є і негативний момент: у користувача немає безпосереднього контакту з комп'ютером, він тільки надає вхідні дані, отримує результати, виявляє і усуває помилки. При децентралізованій формі обробки функції користувача розширюються. Від користувача при цьому потрібне знання основ інформатики і обчислювальної техніки.

Поняття обчислювальної системи відображає збільшену складність комп'ютера, змінний склад обладнання, а також істотне підвищення ефективності використання окремих пристроїв і загальної продуктивності. Наявність у структурі засобів управління роботою груп периферійних пристроїв (каналів введення-виведення) і засобів автономного управління кожним пристроєм (контролерів) забезпечує децентралізацію управління і незалежну роботу пристроїв, високий ступінь їх завантаження, сприяє підвищенню швидкодії комп'ютера у цілому. При цьому склад обладнання може змінюватися і вибиратися у залежності від функціонального призначення системи і характеру вирішуваних завдань.

Обчислювальна система складається з постійної частини - обчислювального ядра і набору периферійних пристроїв, кількість і склад яких визначаються вимогами конкретних додатків. За ядро може прийматися центральний процесор або мінімальний набір пристроїв - базовий комплект, що дозволяє розглядати систему як самостійний комп'ютер.

Доповнення цього комплекту різними пристроями і модулями утворює розширений комплект системи або комплекс, який може бути типовим, специфіковані і проблемно-орієнтованим.

Склад специфікованих комплексів визначається вимогами користувачів

і включає у себе, по-перше, базовий комплект або типовий комплекс, доповнений необхідним обладнанням з наявної номенклатури технічних засобів, і, по-друге, стандартне програмне забезпечення.

Проблемно-орієнтовані комплекси призначені для виконання множини завдань певного класу, об'єднаних загальною технологією обробки інформації. Вони формуються на основі базових комплектів або типових комплексів з включенням до їх складу нестандартних і спеціально розроблених апаратних і програмних засобів. Прикладами є вимірювально-обчислювальні комплекси і автоматизовані робочі місця.

Перші орієнтовані на автоматизацію процесів збирання, вимірювання та обробки інформації при проведенні наукових і інших досліджень, другі - на автоматизацію праці конструкторських, наукових, бухгалтерських та інших працівників. Зазвичай АРМ організується на базі персонального комп'ютера, доповненого специфічними периферійними пристроями, що відображають характер роботи користувача. Так, наприклад, до складу АРМ конструктора зазвичай входять графічний дисплей, кодер графічної інформації і графічний пристрій.

Можливість зміни комплектації обчислювальних систем різними пристроями у широких межах, включення більш досконалих, досягається і спрощується за рахунок того, що всі пристрої мають стандартні уніфіковані сполучення, що називаються інтерфейсом. Під інтерфейсом розуміється сукупність механічних, електричних і програмних засобів, а також типових процедур і правил, що забезпечують об'єднання і взаємодія елементів.

Кожний комп’ютер складається з апаратної і програмної частин. У апаратну частину входить комплекс технічних засобів, що включає процесор, оперативну пам'ять і групу ПП.

У програмну частину входять операційні системи, засоби програмування, програми технічного обслуговування і пакети прикладних програм.

Апаратні та програмні засоби взаємопов'язані і доповнюють один одного, тому вони повинні розглядатися і сприйматися користувачем спільно, у єдиному комплекті (зауважимо, що витрати на розробку програмних засобів перевищують вартість апаратних засобів комп’ютера). Отже, КОС являє собою сукупність апаратних і програмних засобів, що забезпечують автоматичну обробку інформації. Склад цих засобів може змінюватися і доповнюватися відповідно до призначення системи і умовами її застосування.

Найважливішою характеристикою комп’ютера і ОС є їх архітектура. Поняття архітектури відображає основні властивості і можливості обчислювальної системи, які сприймаються з точки зору користувача. Воно включає у себе інформаційно-логічні основи побудови (система команд, формати даних і команд, система адресації, набір доступних програмісту регістрів і т.п.), принципи реалізації обчислювального процесу, організації взаємодії апаратних і програмних засобів, спільної роботи різних пристроїв і спілкування користувача з системою. Якщо структура характеризує конкретний склад пристроїв і їх зв'язку, то архітектура визначає лише

найбільш важливі зв'язки, знання яких необхідно користувачу.

У міру розвитку обчислювальної техніки і розширення галузей її застосування істотно зросли вимоги до швидкості обчислень. Для вирішення цілої низки завдань необхідно використовувати надпродуктивні обчислювальні системи з швидкодією у мільярди операцій у секунду.

До таких завдань відносяться:

- обробка аерокосмічної та геофізичної інформації,
- імітаційне моделювання складних систем,
- одночасне керування у реальному масштабі часу групою об'єктів з швидкоплинними параметрами і т.д.

У цих випадках комп'ютери з традиційною однопроцесорною структурою, навіть виконані на сучасній елементній базі з швидкодією, близькою до фізичної межі, не забезпечують необхідної обчислювальної потужності. Отже, подальше підвищення продуктивності обчислювальних засобів може бути досягнуто лише за рахунок розробки та використання нових структурних рішень.

Одним з основних рішень є реалізація принципу розпаралелювання обчислень та створення паралельних обчислювальних систем.

Весь шлях розвитку структури і архітектури комп'ютера заснований на поєднанні і розпаралелюванні основних внутрішніх процесів, що відбуваються при виконанні програм: процесів управління обчисленнями, обробки, зберігання інформації і звернення до неї, обміну даними. Нерозпаралеленими залишилися процеси обробки і управління, які реалізуються центральним процесором. Тому очевидний наступний крок розвитку комп'ютера - включення у їх склад декількох процесорів з метою розпаралелювання процесів обробки.

Паралельні обчислювальні системи являють собою сукупність з двох або більше взаємопов'язаних і узгоджено діючих обчислювачів (процесорів або комп'ютерів), що виконують спільну паралельну обробку інформації.

Залежно від типу об'єднання обчислювачів паралельні обчислювальні системи поділятюься на багатопроцесорні і багатомашинні.

Багатопроцесорні обчислювальні системи мають загальну операційну систему і працюють під її управлінням.

У *багатомашинних обчислювальних системах* кожний комп'ютер управляється власною операційною системою, а обмін інформацією між машинами проводиться через засоби комплексування (об'єднання машин у систему) шляхом взаємодії операційних систем.

При створенні паралельних обчислювальних систем підвищення ефективності функціонування обчислювальних засобів забезпечується за рахунок:

- *підвищення продуктивності* (досягається за рахунок паралельної обробки інформації). Розпаралелювання обчислень може відбуватися всередині алгоритму, коли різні частини однієї програми виконуються одночасно кількома взаємопов'язаними обчислювачами, або між алгоритмами, коли окремі обчислювачі одночасно виконують кілька різних

програм.

- *підвищення надійності і достовірності обробки* (досягається за рахунок можливості використання двох і більше однакових обчислювачів для паралельного розв'язання однієї і тієї ж задачі). У разі збоїв або відмов у одному з них працездатний обчислювач продовжує рішення задачі без дублювання або у систему при необхідності включається резервний обчислювач, відновлює дублювання.
- *підвищення гнучкості і живучості систем* (досягається за рахунок можливості реконфігурації системи при зміні потоків завдань або при виході деяких пристроїв з ладу). Реконфігурація дозволяє привести систему у відповідність з необхідною завантаженням обчислювачів або передати функції несправних пристроїв працездатним.

Розрізняють декілька груп обчислювальних систем.

- *за призначенням* - універсальні і спеціалізовані.
- *за складом використовуваних обчислювачів* - на однорідні і неоднорідні. Однорідні системи компонуються з процесорів або комп'ютерів одного типу, неоднорідні складаються з обчислювачів різних типів і зазвичай є ієрархічними системами. У таких системах менш продуктивні обчислювальні засоби виконують функції збирання і концентрації інформації, пакетування завдань і попередньої обробки, а більш потужні здійснюють безпосереднє рішення задач.
- *за територіальним розташуванням* розрізняють суміщені і розподілені обчислювальні системи. У суміщених системах об'єднуються обчислювальні засоби розташовані у безпосередній близькості, наприклад у межах одного обчислювального центру. У розподілених системах елементи територіально віддалені один від одного і передача інформації між ними проводиться по каналах зв'язку. При вирішенні завдань необхідно враховувати час, що витрачається на обмін інформацією.
- *за принципом організації управління* поділяються на системи з централізованим, децентралізованим і змішаним управлінням. У системах з централізованим управлінням один з обчислювачів виконує всі керуючі функції, координує завантаження елементів і забезпечує їх взаємодію у процесі вирішення завдань. У системах з децентралізованим управлінням ці функції розподіляються між елементами системи, у змішаних - використовується поєднання зазначених принципів управління.

Розділ 5. Технічні засоби реалізації процесів збереження інформації

5.1. Теоретичні основи процесів збереження інформації

Згідно прийнятої термінології, під носіями інформації, у загальному випадку, розуміються фізичні (матеріальні) об'єкти (середовище, тіло, речовина, пристрій), які використовуються під час запису для збереження у них або на їх поверхні сигналів (інформації). За призначенням носії інформації можна розбити на три групи: мистецькі (художні), документальні та машинні.

Мистецькі носії інформації призначені для запису, накопичення і зберігання друкованих творів та творів мистецтва і покликані полегшити передачу інформації між людьми у усіх галузях їх діяльності. До них відносяться папір, полотно, дошка, фото- і кіноплівка, фотопапір, магнітна стрічка тощо

Документальні носії інформації використовуються у діловій галузі для запису, зберігання та передавання інформації у вигляді документа, у якому інформація представлена коротко, але вичерпно і не допускає різного тлумачення. Це, як правило, паперові носії.

Машинні носії призначені для запису, зберігання, накопичення і передавання інформації з метою автоматизації її введення у засоби збирання і обробки, зберігання та перетворення, а для також видачі користувачеві у зручній для нього формі. Саме ці носії і є предметом нашого подальшого розгляду.

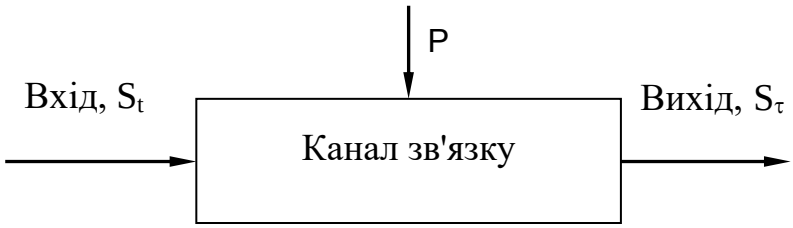
У наш час існують різні види машинних носіїв інформації (пам'яті). Одні конструктивно-технологічно добре розвинені, інші знаходяться на стадії становлення. Тому необхідно узагальнити і систематизувати найбільш важливі відомості про принципи дії, фізичні особливості побудови та інформаційні можливості різних типів запам'ятовуючих пристроїв.

При створенні будь-якої обчислювальної системи найбільш складним і, як правило, проблемним завданням є створення ефективних пристроїв як внутрішніх, так і зовнішніх носіїв інформації (пам'яті). Останніми роками у цій галузі були досягнуті значні успіхи завдяки розробкам нових типів електронних приладів на базі нових структур та матеріалів носіїв інформації. Отже, перспективи розвитку елементної бази пристроїв зберігання інформації повинні бути пов'язані з використанням нових середовищ, нових фізичних принципів і явищ, які можу бути покладені в основу створення пристроїв з якісно іншими, більш високими техніко-економічними показниками.

Відомо, що між окремими елементами кібернетичної системи і між різними системами існують зв'язки, за допомогою яких вони взаємодіють одна з одною. Ці зв'язки можуть проявлятися і в обміні енергією або речовиною між взаємодіючими об'єктами, і в інформаційному обміні.

Зрозуміло, у різних системах можуть бути різними за своєю природою носії інформації: звукові, світлові, електричні, механічні та ін. Однак незалежно від матеріального носія інформації процеси її передавання підкоряються загальним кількісним закономірностям.

Відомо, що будь-який канал зв'язку можна розглядати як деяку систему, по якій передається інформація - від входу до виходу (рис. 5.1). При передачі інформації по каналу зв'язку на неї впливають перешкоди Р.



Коли на вхід надходить певний сигнал S_t, система реагує на цей вплив появою на виході сигналу $S_{\square}$, який обов'язково буде запізнюватися по відношенню до вхідного сигналу на деякий час $\square$ (час затримки в системі) і обов'язково піддасться певної модифікації. Час затримки є, як правило, небажаною властивістю каналу і має бути по можливості мінімізованим. З іншого боку, будь-який пристрій зберігання інформації можна розглядати як канал зв'язку, що також здійснює передачу інформації зі входу на вихід, але одночасно забезпечує затримку цієї інформації на деякий регульований час, який можна назвати часом зберігання інформації.

У цьому випадку *збереження інформації* - це власне кажучи, передача інформації в часі, де для реалізації процесу збереження, інформаційна система повинна сприйняту і, можливо, перероблену інформацію перетворити у фізичне явище, тобто занести на відповідний носій.

Носій повинен, з одного боку, мати можливість легко змінювати структуру при занесенні на неї інформації, що підлягає збереженню, а з іншого боку – володіти стійкістю до руйнування. Очевидно, що ці дві властивості є взаємовиключними.

Здатність до накопичення і зберігання інформації, тобто наявність пам'яті, є однією з найважливіших властивостей будь-кібернетичної системи, без якої неможливе її ефективне функціонування.

Фізичну систему називають *запам'ятовуючим пристроєм* (ЗП), або у інформаційному сенсі, каналом накопичення, якщо вона має здатність забезпечувати достатньо довгий часовий інтервал між моментами надходження і використання інформації.

Це означає, що сигнал S_t, що відноситься до моменту часу t, може бути відтворений за допомогою такої системи в будь-який довільний час $\square$ у вигляді сигналу $S_{\square}$.

Найпростіша системна модель, що володіє властивістю пам'яті, складається з середовища запам'ятовування, яка включає у загальному випадку множину елементів, пов'язаних так чи інакше з каналом введення і виведення інформації. Основна властивість такого середовища полягає у здатності фіксувати і зберігати у часі сліди інформаційних впливів, а потім за певних умов частково або повністю відтворювати їх. Для цього необхідно мати деяку систему елементів, стан яких можна було б змінити бажаним чином. Ці зміни можуть відбуватися або безперервно, або стрибкоподібно. У

першому випадку говорять про запам'ятовуючі елементи аналогового типу, у другому - про елементи дискретного типу.

Необхідний елементний склад запам'ятовуючого середовища визначає спосіб представлення інформації. У обчислювальній техніці використовуються елементи пам'яті дискретного типу, які придатні для запам'ятовування двійкового коду. Такий вибір коду запису обумовлений тим, що у фізичному світі найбільш просто реалізуються системи, що володіють двома стійкими станами. Відповідно запам'ятовуюче середовище повинне містити набір бістабільних елементів, які можуть перебувати у двох стійких станах. У основі дії таких елементів - принцип статичного зберігання за рахунок вимушеного переходу елемента з одного стану в інший і подальшого тривалого збереження ним цього стану.

Таким чином, середовище - носій інформації - повинне зберігати у вигляді сліду нав'язаний йому стан, який в ідеальному накопичувачі має залишитися незмінним протягом усього цього проміжку часу зберігання. Однак під впливом зовнішніх чинників, а також внутрішніх процесів, властивих будь-якій системі, до початку зчитування інформації стан середовища неминуче змінюється.

Процес *зчитування* (відтворення) інформації - заключний етап процесів реалізації процесів збереження інформації (пам'яті). При порушенні визначених умов відтворення поведінка системи змінюється так, неначе пам'ять у ній була відсутня.

Для реалізації процесів відтворення інформації з пам'яті необхідно активувати певну групу запам'ятовуючих елементів, що складають елемент пам'яті. При цьому активуючий вплив повинен мати таку природу, щоб запам'ятовуючі елементи під його впливом могли виробляти сигнал, що відповідає його стану. Крім того, він повинен бути індиферентним - однаковим для будь-якого елементу незалежно від його вмісту. Якщо стан запам'ятовуючих елементів однозначно відповідає сигналу, що прийшов на вхід запису, то ця інформація буде відтворена.

При використанні деяких фізичних середовищ зчитування призводить до руйнування інформації, що зберігається в осередку. У цьому випадку після кожного зчитування необхідно проводити запис тієї ж самої інформації у ту ж комірку.

Запис інформації у будь-яку комірку і її зчитування (з відновленням) з будь-якої комірки пам'яті проводиться за час, який називається періодом звернення. Час, необхідний для зчитування інформації з комірки пам'яті, називають часом вибірки.

Пошук інформації є однією з характеристик систем пам'яті, і по суті справи, зводиться до пошуку відповідних запам'ятовуючих елементів (осередків).

Тип пошуку, при якому відбувається звернення до будь-якого осередку ЗП по його номеру незалежно від змісту шуканої інформації, називається адресним. У машинній пам'яті адресний принцип має переважаюче

поширення. Але це не єдиний спосіб відшукування окремих об'єктів інформації.

Інформація може бути знайдена і за деякими її ознаками або за деякою відомою її частиною. Такий принцип пошуку - його називають *асоціативним* - характерний, зокрема, для біологічних систем. При цьому на вході з'являється деякий ключ - стимул, а на виході пам'яті формується спеціальна відповідна реакція, пов'язана з ключем. Як стимул, так і відповідна реакція є складними сигналами - образами. Крім цього на вході може бути вказана додаткова інформація, за допомогою якої можна більш точно конкретизувати елемент, що підлягає вибірці. Зі створенням асоціативних ЗП докорінно змінюється структура обчислювальних машин і по-новому здійснюється управління складними сигналами.

Розширення функціональних можливостей систем зберігання і обробки інформації пов'язано з ускладненням їх структур і збільшенням кількості їх елементів. Основною перешкодою при збільшенні числа елементів системи служить проблема її надійності. Але ж мозок людини є надбагатоелементною системою, але тим не менше безвідмовно служить людині все життя. Мабуть, природа якимсь способом знайшла можливість обійти закон жорсткої зворотної залежності надійності від числа активних елементів.

Технічні елементи пам'яті будуються на основі високонадійних запам'ятовуючих елементів. Але для складної системи, що містить велику кількість елементів, це може виявитися недостатнім. Отже завдання побудови надійно працюючих систем на недостатньо надійних елементах - одна з головних задач у кібернетиці.

Існують різні способи забезпечення надійного функціонування складних систем. Одним з них є побудова систем з надлишковим числом елементів, в якій у разі порушення роботи деяких елементів їх функції беруть на себе інші, які автоматично вмикаються в роботу. Так часто відбувається в живій природі як на рівні клітин, так і цілих органів. У технічних системах при наявності у них надлишкових елементів, заміна ними тих, що вийшли з ладу проводиться порівняно легко за умови, якщо система будується на базі так званих однорідних структур. Є велика кількість однотипних осередків, які є первинними елементами, і при відмові в роботі однієї з них автоматично включається інша, до цього часу не зайнята.

Досить ефективним способом підвищення надійності складних систем є перетворення інформації, при якому переходять від звичайної, природної просторово-часової форми її представлення до частотно спектральної форми, в якій далі вона зберігається, обробляється і передається по каналах зв'язку. Дуже важливо, що структурна надмірність доповнюється різними видами функціональної надмірності, зокрема відтворення цих властивостей у технічних середовищах дозволяють створювати високонадійні адаптивні системи змінної структури, що володіють здатністю пристосовуватися до зміни зовнішніх умов.

5.2. Основні характеристики запам'ятовуючих пристроїв.

У сучасних комп'ютерних обчислювальних системах близько 70% обсягу та вартості припадає на частку запам'ятовуючих пристроїв (ЗП), які являють собою комплекс технічних засобів, призначених для запису, зберігання та видачі інформації. У ЗП в двійковому коді зберігаються програми обчислень, вихідні дані, проміжні результати та команди.

Формально реалізація процесу збереження інформації у елементах запам'ятовуючих пристроїв зводиться до наступного. Нехай у момент часу t є сигнал s_t. Під його впливом у носії, як тривимірному матеріальному об'єкті, відбуваються структурні зміни, що перетворюють сигнал s_t у функцію стану L визначеної точки $s\ (L\ ,\ x,\ y\ ,z)$. У будь-який довільний момент часу τ ця функція знову перетвориться у сигнал S_τ . При цьому характер сигналу s_τ може відрізнятися від характеру сигналу S_t .

Носій, у якому може бути збережений як мінімум один біт інформації повинен мати наступні властивості, що не залежать від його природи:

- здатність однозначно приймати різні (мінімум два) структурні стани, що помітні і керовані. Стан носія, отриманий у процесі запису, повинен зберігатися протягом визначеного часу. Допускаються однозначні зміни стану носія (наприклад, перетворення прихованого фотозображення у видиме після проявлення;
- можливість приймати необхідний стан при впливі на нього визначеного процесу тієї або іншої природи;
- можливість стирання запису при багаторазовому використанні носія:
- для зміни стану носія потрібно витрачати мінімум енергії, але при умові, щоб запис або стирання не відбувалися під впливом небажаних факторів (перешкод);
- для зчитування інформації кожен елемент носія повинен або сам виділяти енергію, або керуватись потоком енергії, підведеною ззовні.

Для реалізації інформаційного процесу, зв'язаного зі збереженням великих обсягів інформації, важливе значення мають такі характеристики запам'ятовуючих пристроїв, як ємність пам'яті, час доступу і щільність запису.

Інформаційна ємність ЗП визначається кількістю двійкових одиниць інформації (біт), які можуть зберігатися у ньому (іноді ємність виражається у байтах. Зазвичай один байт дорівнює восьми бітам). Якщо ЗП розрахований на зберігання N чисел, кожне з яких має p розрядів, то інформаційна ємність $M = N * p$.

Можливість рішення на комп'ютері тієї чи іншої задачі значною мірою залежить від ємності ЗП машини. Але цей параметр впливає не тільки на габарити носія, але і на час доступу до потрібного запису.

Швидкодія ЗП характеризується його часовими характеристиками, до яких відносяться: час звернення до ЗП при записі і зчитуванні інформації, час запису інформації, час зчитування або вибірки інформації.

Час звернення (час циклу) характеризує максимальну частоту звернення до даного ЗП при зчитуванні або запису інформації.

Час зчитування або вибірки інформації - це інтервал часу звернення до ЗП до отримання вихідного сигналу від подачі сигналу зчитування.

Час запису інформації - інтервал часу від моменту подачі сигналу звернення до ЗП до моменту готовності інформації до зчитування.

Надійність ЗП визначається числовими значеннями параметрів конструктивної та інформаційної надійності. Під конструктивною, або елементною, надійністю розуміють ймовірність безвідмовної роботи усіх елементів або пристроїв у заданому інтервалі часу і заданих умовах експлуатації. Таким чином поняття конструктивної надійності збігається з загальноприйнятим визначенням надійності радіоелектронних пристроїв.

Кількісно конструктивну надійність можна висловити виразом

$$P = q_г q_б,$$

де $q_г$ - готовність пристрою до роботи, тобто ймовірність його справності перед початком роботи

$$q_г = (1 + \lambda t_{рем})^{-1}$$

$q_б$ - ймовірність безвідмовної роботи пристрою протягом заданого проміжку часу, тобто ймовірність невиходу його з ладу:

$$q_б = (1 + \lambda t_{раб})^{-1}, \quad \lambda = \lambda_1 + \ldots + \lambda_i.$$

λ - інтенсивність відмов, або середня частота відмов у годину; n - кількість елементів пристрою, а λ_i - середня частота відмов окремих елементів; $t_{рем}$ - середній час знаходження и ремонту окремих несправностей; $t_{раб}$ - час роботи системи. Середній час безвідмовної роботи пристрою $T_{ср} = 1/\lambda$.

Інформаційна надійність ЗП визначає здатність пристроїв зберігати, приймати і видавати необхідну інформацію без її спотворення. Чисельно інформаційна надійність може бути оцінена співвідношенням амплітуд інформаційних і сигналів перешкод в моменти запису і зчитування інформації. Велике відношення амплітуд сигналів і перешкод гарантує високу інформаційну надійність.

Важливими характеристиками ЗП, як і будь-якого іншого пристрою машини, є також габарити, маса, споживана потужність і вартість. Крім того, до спеціальних ЗП пред'являють особливі вимоги за параметрами механічних і кліматичних впливів.

Запам'ятовуючі пристрої можна класифікувати залежно від особливостей їх побудови та функціонування, за призначенням, адресацією інформації, характером зберігання інформації, за кратністю зчитування, фізичним принципам роботи запам'ятовуючих елементів, технології виготовлення запам'ятовуючих елементів.

За призначенням ЗП поділяються на короткочасні і довготривалі. У свою чергу, ЗП з довготривалим зберіганням поділяються на постійні ЗП (ПЗП) і напівпостійні ЗП (НПЗП). Характерною рисою ПЗП і НПЗП є збереження інформації при відключенні джерел живлення. При цьому в ПЗП можливий

лише одноразовий запис інформації, що здійснюється або а процесі виробництва, або в результаті програмування. У НПЗП можлива багаторазова зміна інформації при експлуатації.

ЗП з *короткочасним зберіганням* інформації використовуються для зберігання оперативної інформації. У цих ЗП відключення джерел живлення, як правило, призводить до втрати інформації, що зберігається. Слід зазначити, що НПЗП при скороченні тривалості циклу записи можуть бути використані і для зберігання оперативної інформації. Зрозуміло, НПЗП можуть бути в більшості випадків використані і в якості ПЗП.

За адресацією ЗП можуть бути з довільною, послідовною і асоціативною вибіркою. У ЗП з *довільною вибіркою* (або доступом) час звернення не залежить від адреси числа у пристрої. У ЗП з *послідовною вибіркою* для знаходження числа за певною адресою необхідно послідовно переглянути всі осередки, що передують заданому. Очевидно, що у цих пристроях час звернення залежить від адреси. Для пошуку певної інформаційної одиниці у такому ЗП необхідно спочатку відшукати відповідний масив, а потім інформаційну одиницю у цьому масиві.

У *асоціативних* ЗП (АЗП) пошук і виймання інформації відбуваються не за місцезнаходженням (адресою), а за деякими ознаками самої інформації, що міститься у комірці. Така пам'ять, по суті, складається з адресних осередків, проте в системі передбачений також механізм перевірки або порівняння ключової інформації з усіма записаними словами.

За характером зберігання інформації ЗП розділяються на статичні і динамічні. У *статичних* ЗП фізичний стан, що кодує інформацію, залишається нерухомим щодо носія інформації, тоді як в *динамічних* ЗП фізичний стан, що кодує інформацію періодично переміщається по відношенню до середовища носія інформації.

За кратністю зчитування розрізняють ЗП зі зчитуванням без руйнування інформації і ЗП зі зчитуванням з руйнуванням інформації. В останньому випадку для збереження інформації необхідно відновлювати (регенерувати) зчитану інформацію у кожному циклі звернення до ЗП, щоб мати можливість її подальшого використання.

За фізичним принципам роботи запам'ятовуючих елементів ЗП поділяються на магнітні, напівпровідникові, надпровідникові і т. ін. Загалом у сучасних комп’ютерах найбільш широко використовують двійкову систему числення. Тому для кодування і зберігання інформації можуть використовуватися різні фізичні процеси, що визначають два різних стани речовини, наприклад різні стани намагніченості магнітних матеріалів, наявність або відсутність заряду в даній області напівпровідника або діелектрика, кінцевий електричний опір ділянки кола і нульовий опір цієї ж ділянки, що виникає внаслідок ефекту надпровідності деяких речовин, і т. ін.

Створення блоків пам'яті, що володіють досить великою ємністю і в той же час прийнятних за габаритами і економічністю, може бути реалізовано тільки за умови максимальної мініатюризації як всього блоку пам'яті в цілому, так і основної його частини - накопичувача інформації. Найбільші успіхи у

мікро мініатюризації у наш час досягються при використанні напівпровідникових елементів, які виконуються за інтегральною технологією, що значною мірою і визначило широке застосування їх у системах пам'яті сучасних комп’ютерів.

Удосконалення сучасних систем обробки інформації напряму пов'язана з удосконаленням їх пам'яті, тобто зі створенням пам'яті, яка має велику інформаційну ємність, високу швидкодію і надійність і низьку вартість. Так як необхідне сполучення усіх параметрів в одному типі ЗП отримати не представляється можливим (зі збільшенням ємності ЗП знижується його швидкодія), єдиним шляхом вирішення цієї проблеми є об'єднання у систему різних (а іноді і однотипних) ЗП з метою отримання такої структури пам'яті, яка максимально задовольнила б наведеним вище вимогам.

Структура пам'яті, у якій можна виділити кілька різних за характеристиками рівнів, називається ієрархічною.

При *ієрархічній організації структури пам'яті* кожен рівень пам'яті з великою швидкодією має меншу ємність ЗП, тобто ЗП, що використовуються на найвищому рівні ієрархії, мають найменшу інформаційну ємність і найбільшу швидкодію. Цю пам'ять часто називають *набором регістрів* і іноді відносять до пристроїв обробки, оскільки вона дозволяє виконувати деякі логічні і арифметичні операції.

На наступному ступені ієрархії ЗП комп’ютера знаходяться *надоперативні ЗП* (НОЗП) - пристрої, що мають швидкодію, яка порівнянюється зі швидкодією процесора, і призначені для зберігання інформації (чисел і команд), які найбільш часто зустрічаються в процесі вирішення завдань.

На третьому щаблі ієрархії знаходиться велика та швидка пам'ять, яка називається *оперативною*. Оперативні ЗП (ОЗП) мають значну інформаційну ємність і працюють з циклом, у кілька разів більшим за цикл процесора. Для збільшення швидкості обміну інформацією між процесором і ОЗП останні іноді поділяють на декілька модулів (блоків або секцій), які і звертаються до різних блоків безпосередньо або через НОЗП.

На самому нижньому рівні ієрархії знаходиться відносно повільна, але містка *зовнішня пам'ять*. У зовнішньому ЗП (ЗЗП) зазвичай зберігається вся інформація, що вводиться в машину. Щоб уникнути ускладнення конструкції системи, до зовнішніх ЗП не пред'являються вимоги по швидкодії. ЗЗП є найбільш економічними для зберігання великих масивів інформації.

Дані, що зберігаються у зовнішньому ЗП, безпосередньо не використовуються в обчислювальному процесі, що і відбивається у їх назві (зовнішні). Для використання цієї інформації необхідно перемістити її з ЗЗП в оперативні ЗП, що утворюють внутрішню пам'ять системи. Для підвищення ефективності обміну інформацією між пристроями використовують буферну пам'ять. *Буферні ЗП* (БЗП) займають проміжне положення між внутрішніми і зовнішніми ЗП. Вони призначені для розширення внутрішньої пам'яті за умови збереження швидкодії комп’ютера.

При ієрархічному принципі побудови ЗП логічна організація потоків інформації проводиться таким чином, щоб всі разом узяті типи ЗП виступали у вигляді єдиного ЗП, що має велику інформаційну ємність (за рахунок зовнішніх ЗП) і високу швидкодію (за рахунок внутрішніх ЗП). Такий абстрактний ЗП називають віртуальним. Так, наприклад, при двоступеневій організації ЗП, що містить ОЗП і НОЗП, середній час звернення складає

$$t = (1 + \square T/T_1)T_1,$$

де T_1 - час звернення до НОЗП; T - час звернення до ОЗП; □ - коефіцієнт, що враховує частку звернень до ОЗП. З цієї залежності випливає, що при правильному виборі параметрів ОЗП і НОЗП і відповідному виборі інформаційних потоків загальні характеристики віртуального ЗП будуть такими, неначе б він мав цикл роботи НОЗП, а інформаційну ємність - ОЗП.

5.3. Фізичні основи функціонування сучасних пристроїв пам'яті

В наш час існує дуже багато різноманітних технічних засобів запису і зберігання інформації, які реалізуються при використанні різних фізичних ефектів - магнетизму, фізики напівпровідників, оптики і ін.

5.3.1. Магнітні пристрої пам'яті

Необхідність зберігання великих масивів інформації привела до використання в ЗП відомого у техніці принципу запису сигналів на магнітну поверхню.

Фізичною основою магнітного запису сигналів є властивість феромагнітних матеріалів зберігати стан залишкової намагніченості.

Магнітна запис заснований на взаємодії магнітного носія інформації і магнітної головки при їх відносному переміщенні. При записі електричний струм, що змінюється в часі перетворюється у локальні зміни намагніченості носія.

У якості записуючих або зчитуючих головок використовується спеціально сконструйований, найчастіше кільцевий електромагніт з щілиною, по обмотці якого пропускають імпульсний струм. Для зменшення втрат на вихрові струми магнітопровід збирають з тонких пластин магнітом’яких сплавів або роблять з фериту. Зчитування відбувається без руйнування інформації, що зберігається і може виконуватися багаторазово.

Характерною особливістю магнітного запису є те, що він не потребує будь-якої проміжної обробки і може бути відтворена негайно. Запис легко може бути "стертим".

Такий процес здійснюється окремою стираючою головкою, через обмотку якої зазвичай пропускається струм високої частоти. Високочастотне поле багаторазово змінює орієнтацію диполів, призводячи до того, що їх орієнтація знову стає хаотичною.

При магнітній формі запису інформації, з метою збільшення ємності запам'ятовуючих пристроїв прагнуть якомога повніше використовувати робочу поверхню носія. Ступінь її використання визначається щільністю запису інформації, тобто кількістю двійкових знаків, що розміщуються на

одиниці площі носія. Щільність запису залежить від характеристик магнітного носія, конструкції голівки, величини зазору між носієм і голівкою, використовуваного способу запису і інших чинників.

Теоретична межа щільності запису інформації на магнітних носіях дорівнює 1010 - 1011 біт / мм^2. Реалізована щільність запису інформації 400 - 1000 біт / мм^2, що більш ніж на сім порядків нижче теоретичного. Використання нових методів запису - зчитування інформації, таких, наприклад, як магнітооптичні, дозволить значно поліпшити характеристики ЗЗП на магнітних носіях інформації.

Хоча характеристики і конструкції ЗП, у яких використовується магнітний запис, можуть бути дуже різними, але в основі процесу зберігання для кожного з них лежить запам'ятовування 0 або 1 на невеликій ділянці магнітного матеріалу. У кожному разі запам'ятовуюче середовищі динамічне, так як носій інформації переміщається щодо зчитувального або записуючого пристрою.

ЗП з магнітним записом інформації широко використовуються у якості зовнішньої пам'яті комп'ютера, що пояснюється їх великою ємністю при відносно невеликих розмірах, можливістю багаторазового застосування носія інформації при стиранні попереднього запису, великим терміном зберігання записаної інформації без її спотворення, відносно високою швидкістю запису і відтворення інформації.

5.3.1.1. Накопичувачі на магнітному барабані

Магнітні барабани були одним з перших недорогих засобів зберігання великих масивів інформації з порівняно невеликим часом доступу.

Магнітний барабан являє собою порожнистий циліндр, що обертається, поверхня якого вкрита шаром матеріалу з прямокутною петлею гістерезису. Уздовж поверхні барабана встановлюється ряд головок, які виробляють запис і зчитування інформації.

При обертанні барабана невелику ділянку його поверхні безперервно проходить під однією з головок. Ця ділянка називається доріжкою. Кожна доріжка розділяється на осередки, а кожна клітинка може запам'ятати один біт інформації. Пам'ять такого виду називають пам'яттю з циклічним доступом тому, що кожна клітинка при обертанні барабана періодично проходить під головками.

Розміри і ємність пам'яті магнітних барабанів достатньо різноманітні від невеликих барабанів ємністю менше 200 000 біт до дуже великих барабанів, які можуть зберігати до 10^9 біт інформації.

5.3.1.2. Накопичувачі на магнітних дисках

Пам'ять на магнітному диску дуже нагадує за дією пам'ять на магнітному барабані. Носієм тут є диск, вкритий з обох сторін тонким шаром ферролака і немагнітної зв'язки.

При однаковому фізичному обсязі інформаційна ємність на магнітних дисках більш ніж в 20 разів перевищує ємність накопичувачів на магнітних барабанах. Зовнішня пам'ять на магнітних дисках здатна зберігати більше 10^{10} біт інформації.

5.3.1.3. Накопичувачі на магнітній стрічці

Магнітна стрічка являє собою гнучку пластмасову плівку, на поверхню якої нанесений тонкий шар. Цей матеріал має петлю гістерезису, близьку до прямокутної, і відрізняється високою однорідністю параметрів. Щільність запису до 64 біт / сек.

5.3.1.4. Накопичувачі на магнітних картах

Магнітна карта являє собою прямокутний відрізок носія з магнітним покриттям. Карти поміщають в спеціальне сховище - магазин. При зверненні до ЗП з метою запису або зчитування інформації спеціальний пристрій здійснює вибірку або подачу з магазину заданої карти.

5.3.1.5. Елемент пам'яті на феритових сердечниках

Як елементи зберігання інформації, записаної в двійковому коді, широко використовують кільцеві (тороїдальні) сердечники з фериту з прямокутною петлею гістерезису.Можливість запису інформації на ферритовому сердечнику заснована на гістерезисі процесу перемагнічування. Запам'ятовуючий елемент являє собою сердечник з двома обмотками: запису і зчитування, залежно від напрямку струму, що протікає через вхідну обмотку.

5.3.1.6. Інтегральні магнітні елементи пам'яті

Виготовлення сердечників малих розміром і їх прошивка проводами пов'язані з певними труднощами. Зменшення товщини стінок робить сердечник крихким, а розкид параметрів істотно зростає. Прошивка проводами сердечників - трудомісткий процес, що погано піддається автоматизації. Ця операція значною мірою виконується вручну.

Подолання труднощів виготовлення блоків пам'яті досягається застосуванням методів інтегральної технології. При цьому поряд зі зменшенням розмірів елементів пам'яті можуть бути збільшені ємності блоку пам'яті і підвищена швидкодія.

Практика реалізації магнітних мікроелектронних пристроїв показує, що зазвичай для кожного типу пристрою є галузь застосування, де воно дає найбільш оптимальні результати. Тому, як правило, у практичних розробках знаходять застосування майже всі типи магнітних мікроелектронних пристроїв. Це такі типи пристроїв як:

- багатоотвірні ферритові пластини;
- тонкі магнітні плівки;
- плоскі тонкі магнітні плівки;
- циліндричні тонкі магнітні плівки.

5.3.1.7. Пристрої пам'яті на основі керованого руху магнітних доменів

Спроби подальшого підвищення щільності розміщення інформації в інтегральній магнітній структурі привели до використання для зберігання інформації окремих магнітних доменів. У суцільному магнітному середовищі, намагніченому в одному напрямку, для фіксації інформації створюються окремі домени, намагнічені у зворотному напрямку. По суті, мова йде вже не про окремі магнітні елементи, а про фізично однорідне інформаційне

середовище, у якому переробка і зберігання інформації здійснюється у результаті переміщення і взаємодії доменів.

В наш час існує два типи магнітної пам'яті середовища на рухомих доменах: тонкі магнітні плівки з плоскими магнітними доменами (ПМД) і магнітні (або аморфні) плівки з циліндричними магнітними доменами (ЦМД).

5.3.2. Напівпровідникові пристрої пам'яті

У наш час реалізовано різні види машинної пам'яті, однак за сукупністю ознак основним є напівпровідникова пам'ять на інтегральних схемах (ІС).

5.3.2.1. Інтегральні схеми на біполярних і польових транзисторах

За універсальністю застосування і зручністю підключення напівпровідникові ІС не можна порівняти ні з якими іншими осередками пам'яті. Важливо й те, що напівпровідникова технологія має в своєму арсеналі достатньо засобів для переведення на інтегральну основу будь-яких відомих схемотехнічних рішень та створення нових схем.

У конструктивному відношенні напівпровідникові ІС являють собою напівпровідниковий кристал, в об’ємі або на поверхні якого зосереджені ізольовані один від одного елементи, які з'єднані відповідно до електричної схеми. Зазвичай кожному елементу схеми відповідає локальна область матеріалу, властивості і характеристики якої забезпечують виконання певних функцій. Основу становить транзисторна структура, яка є базовою для реалізації всіх активних і пасивних елементів, що входять у схему.

Для побудови напівпровідникових ЗП використовуються ІС на біполярних і польових транзисторах із структурою метал - діелектрик - напівпровідник (МДН-транзистори).

У наш час чітко визначилися два напрямки, що обумовлюють використання ІС на біполярних і польових транзисторах: ІС на польових транзисторах дають можливість досягти максимальних ступенів інтеграції при помірній швидкодії і малій споживаній потужності, тоді як на біполярних транзисторах будуються надшвидкісні ІС, які можна використовувати як елементну базу надшвидкодіючих комп’ютерів.

Швидкість перемикання біполярного транзистора з одного стану в інший, а значить і швидкодія ЗП, визначається як параметрами самого приладу, так і схемою його включення. Практична швидкість спрацьовування сучасних серійних елементів на біполярних транзисторах становить 10^{-9} - 10^{-8} с. Мінімальний час перемикання визначається часом, протягом якого носії заряду проходять через базу транзистора завдяки процесу дифузії.

В наш час найбільш поширеним матеріалом для транзисторів є кремній. Рухливість електронів у кремнії ~ 0,1м^2/(В*с). Найбільш перспективний матеріал для виготовлення біполярних транзисторів найближчого майбутнього - арсенід галію (GaAs), що має показник рухливості електронів близько 1м^2/(В*с).

Польові транзистори мають деяку перевагу перед біполярними приладами. Вони володіють високим вхідним опором і можуть працювати при великій напрузі на вході. Крім того, керований струм у польовому транзисторі

- це струм основних носіїв заряду, який набагато краще реагує на швидкі зовнішні сигнали.

Різні типи польових транзисторів відрізняються один від одного принципом дії затвора. Існують транзистори, в яких роль затвора грають контакт метал-напівпровідник, структура метал-діелектрик-напівпровідник (МДН) і т.д.

Характерною особливістю МДН-транзисторів є надзвичайно високий опір між електродами. Це дозволяє використовувати електроди транзистора у якості ємнісних накопичувальних елементів, потенціал яких зберігається на певному рівні протягом тривалого часу після відключення зовнішнього джерела. Практична швидкість спрацьовування МДН-осередку становить $5*10^{-9}$ с.

Транзистори і логічні схеми на їх основі самі по собі елементами пам'яті бути не можуть, так як після припинення дії вхідного імпульсу відразу повертаються у початковий стан.

Для елемента пам'яті потрібен пристрій, який під дією вхідного сигналу міг би перемикатися зі стану 0 у стан 1 і назад і при цьому після припинення дії вхідного імпульсу запам'ятав би свій стан і міг перебувати в ньому невизначено довго (до наступного переключаючого вхідного сигналу). Такі електронні схеми, які мають два рівнозначних варіанти стійких значень, називають *бістабільними комірками або тригерами.*

Так як вхідний сигнал короткочасний, а стійкий стан тригера зберігається як завгодно довго (за умови, що не відбувається відключення живлення схеми), то тригер тим самим виконує логічну функцію запам'ятовування.

Запам'ятовуючі елементи на ТТЛ-схемах (транзистор-транзисторна логіка на біполярних транзисторах) добре пристосована до технології великих інтегральних схем (ВІС). Їх перевага - висока ступінь інтеграції. ТТЛ-елементи можуть бути суміщені з елементами, побудованими на транзисторних перемикачах струму.

Переважна більшість біполярних ІС пам'яті будується на приладах, функціонально більш складних, ніж традиційний транзистор.

Основу ІС пам'яті на ТТЛ-схемах складають багатоеміттерні транзистори. У першому наближенні багатоеміттерний транзистор (БЕТ) можна розглядати як сукупність окремих транзисторів з'єднаних базами і колекторами.

Дуже часто транзистор поєднують з діодом Шотки. Діод Шотки в інтегральному виконанні є контакт напівпровідник (n-типу) - метал, на якому утворюється так званий бар'єр Шотки. Транзистор з бар'єром Шотки характеризується великим коефіцієнтом посилення, малим інверсним коефіцієнтом передачі і значною швидкодією.

Значне поширення у логічних і запам'ятовуючих пристроях отримали інтегральні схеми інжекційного типу. Їх особливість - сумісність з технологією біполярних транзисторів, простота топології і висока щільність упаковки. На елементах інжекційної логіки ($І^2Л$) можна створювати компактні

бістабільні тригерні схеми, а для підвищення швидкодії у якості колекторів - використовувати діоди Шотки.

5.3.2.2. Елементи пам'яті на МДН-транзисторах

Запам'ятовуючі елементи на біполярних і МДН-транзисторах мають істотний недолік - навіть короткочасне відключення живлення призводить до руйнування записаної інформації. Це ускладнює побудову надійних напівпровідникових пристроїв пам'яті з електричним перезаписуванням інформації. Тому великого значення набувають бістабільні МДН-структури, що дозволяють створювати запам'ятовуючі елементи, з електричним перезаписуванням і інформацією, яка не руйнується при відключенні живлення.

Принцип дії бістабільних МДН-транзисторів полягає у створенні у шарі діелектрика об'ємного заряду, що змінює порогову напругу. Цей заряд у діелектрику може досить довго зберігатися при відсутності на електродах транзистора напруги. Для локалізації заряду в структурі може бути використана межа розділу двох діелектриків або створений у діелектрику спеціальний плаваючий затвор. Бістабільним елементом першого типу є транзистор зі структурою метал-нітрид-оксид-напівпровідник (МНОН). У основі роботи МНОН-транзистора лежить накопичення заряду на кордоні нітрідного і оксидного шарів, що є результатом неоднакових струмів провідності у тому і іншому шарах. Інший тип бістабільних МДН-транзисторів - це транзистори з одношаровим діелектриком, всередині якого на невеликій відстані від поверхні розташований "плаваючий" затвор, що не має зовнішнього виведення. Інформація зберігається у вигляді заряду на ізольованому затворі. Для стирання інформації необхідно зарядити затвор, тобто видалити інжекційний заряд.

Статичні запам'ятовуючі елементи зазвичай будуються на основі тригерів. Вони не вимагають регенерації інформації, можуть необмежено довго зберігати її при включеному живленні і володіють високою швидкодією. Їх недоліки - досить велике постійне споживання енергії і значна кількість приладів для побудова ЗП.

У схемах на МДН-транзисторах з каналами одного типу в режимі зберігання інформації практично повністю відсутнє споживання потужності (вимірюється у нановатах). Істотне споживання потужності відбувається тільки в режимі перемикання.

Динамічні запам'ятовуючі елементи. МДН-комірки зазвичай використовують у якості основи для створення динамічних систем пам'яті.

Інформація зберігається тут у вигляді заряду на конденсаторі, включеному між електродом інформаційного МДН-транзистора і загальною точкою схеми. У якості такого запам'ятовуючого пристрою конденсатора використовується ємність затвора інформаційного транзистора і включені паралельно їй відповідні паразитні ємності.

Оскільки завжди є деякий витік заряду конденсатора, необхідне періодичне відновлення спеціальними відновлюючими імпульсами. Звідси і назва - динамічна пам'ять.

Існує кілька варіантів побудови динамічної пам'яті, що різняться між собою кількістю транзисторів, числом і функціональним призначенням інформаційних шин, послідовністю і характеристиками тактових імпульсів і, як наслідок, швидкодією, споживаною потужністю і площею, яку займають на кристалі.

5.3.2.3. Елементи пам'яті на приладах із зарядним зв'язком.

Особливим класом приладів із структурою метал-діелектрик-напівпровідник є прилади із зарядним зв'язком (ПЗЗ), що являють собою сукупність взаємодіючих МДН-структур. Взаємодія забезпечується спільністю напівпровідникового шару і малою відстанню між МДН-структурами.

Дія приладу заснована на зберіганні заряду неосновних носіїв у потенційних ямах, що створюєьбся зовнішнім електричним полем у поверхні напівпровідника, і руху цього заряду уздовж поверхні напівпровідника при русі потенційних ям. На цьому принципі реалізуються пристрої, що функціонують подібно зсувним регістрам. Інформація, що вводиться в такі регістри у вигляді заряду неосновних носіїв, зсувається під дією тактових імпульсів у відповідних потенційних ямах уздовж ланцюжка ПЗЗ.

На рис. 5.2 зображений ланцюжок МДН-конденсаторів, конструктивно реалізованих у вигляді ПЗЗ-приладу.

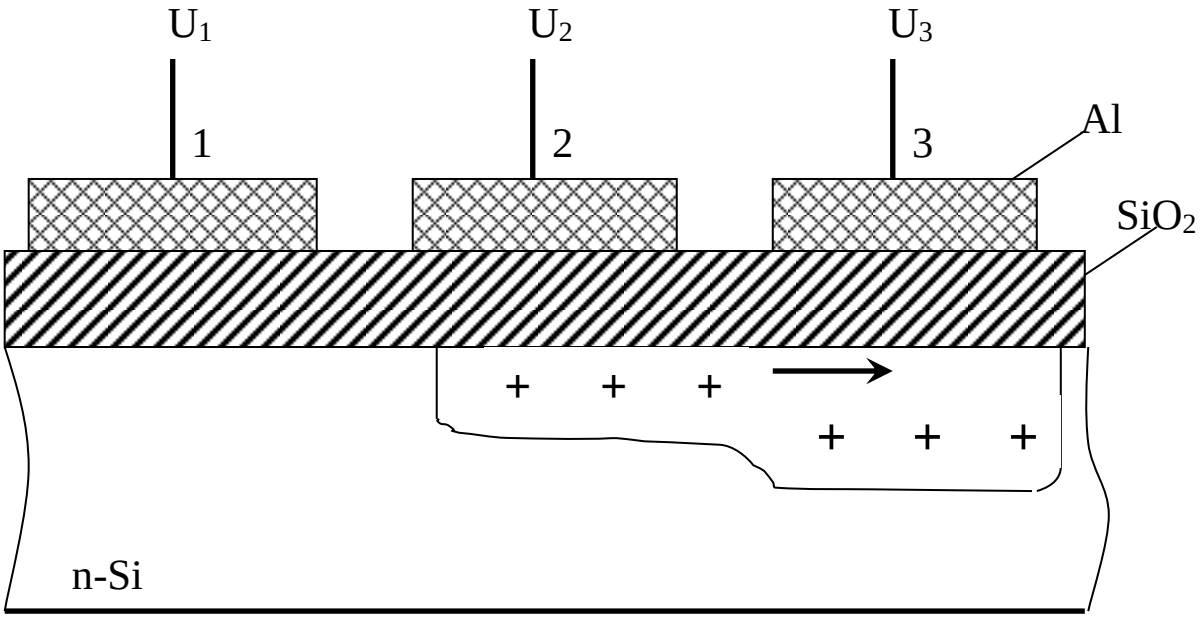


Рис. 5.2. Ланцюжок МДН-конденсаторів.

Металеві електроди конденсаторів відокремлені від напівпровідника шаром діелектрика. Якщо на електрод (затвор) такого МДН-конденсатора подати напругу відповідного значення і полярності (негативну для підкладки n-типу і позитивну для р-типу), то основні носії підуть в об’єм, утворюючи під електродом область, збіднену основними носіями. Ця область - свого роду "кишеня" або потенційна яма, в яку можуть "скочуватися" неосновні носії, що

утворюють зарядовий пакет і є інформаційним сигналом.

Характерною особливістю елементів на ПЗЗ, є їх функціонування тільки у нестаціонарному стані потенційних ям, тому ЗП на них відносяться до пристроїв динамічного типу.

Введення інформації в систему на ПЗЗ може бути здійснений за допомогою електричних або оптичних методів.

Існують різні способи організації ПЗЗ ЗП. Вони переслідують одну мету - створення конструкції, що забезпечує при послідовному характері обробки інформації збільшення ефективної швидкості вибірки.

Передбачається, що широке застосування ЗП на ПЗЗ знайдуть як зовнішніх ЗП спеціалізованих і універсальних комп'ютерів, а також в ролі буферних пристроїв, що включаються між "повільною" зовнішньою пам'яттю надвеликих ємностей і швидкодіючим оперативним ЗП в універсальному комп'ютері. Перспективною областю використання ПЗЗ вважають також малі та середні (ємністю до 1 Мбіт) ЗП з невисокою швидкодією, що застосовуються в міні-комп'ютерах або в поєднанні з мікропроцесором. Можлива, наприклад, наступна архітектура пам'яті комп'ютера: оперативна пам'ять на МДН-транзисторах ємністю 4К; буферна пам'ять на ПЗЗ ємністю до 64 К; зовнішній ЗП на магнітних дисках.

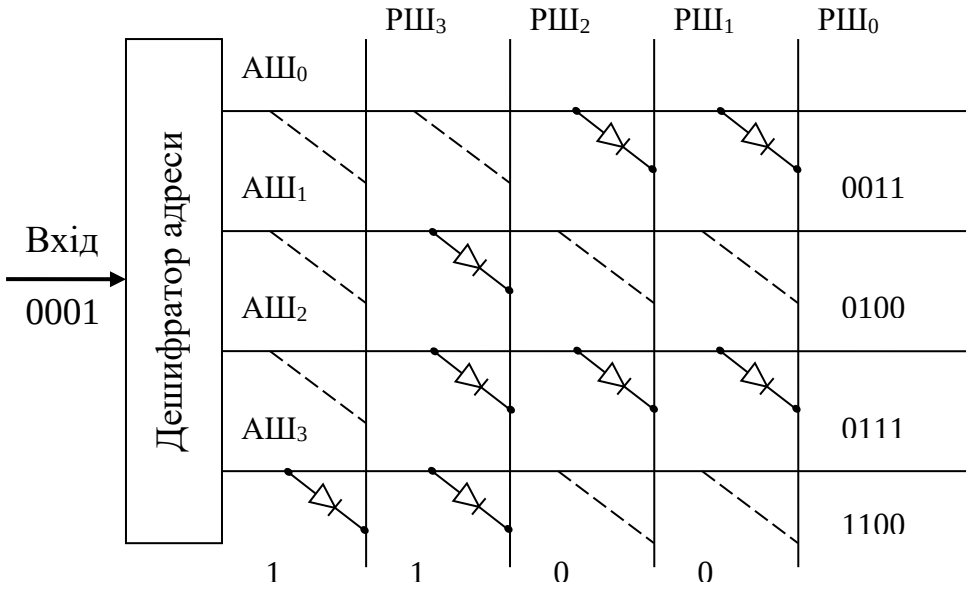
5.3.2.4. Постійні запам'ятовуючі пристрої.

Особливістю постійних ЗП є те, що з них у процесі роботи можна тільки зчитувати інформацію, а записувати не можна. Залежно від можливості зміни інформації, що зберігається розрізняють постійні ЗП (ПЗП) і напівпостійні, або програмовані ЗП (НПЗП).

Записана спочатку в ПЗП інформація зберігається протягом усього періоду використання і не може бути змінена у процесі експлуатації. Природно, що це дозволяє набагато спростити необхідні комутаційні пристрої і самі елементи пам'яті. При цьому зменшується також розсіювана потужність, оскільки відпадає необхідність у відновленні інформації, підвищуються швидкодія і надійність роботи.

Основу ПЗП становить двокоординатна матриця елементів пам'яті (запам'ятовуюче поле). В якості таких елементів використовуються діоди Шотки, біполярні і МДН-транзистори. Зазвичай на кристалі разом з матрицею запам'ятовуючих елементів розташовуються схеми запису, дешифратори, підсилювачі, вхідні і вихідні схеми, що забезпечують узгодження ЗП з зовнішніми пристроями.

Типова схема діодного ПЗП показана на рис. 5.3. Структура - матрична: рядки утворюються адресними шинами, а стовпці - розрядними. Кожна шина зберігає певний код: 0011, 0100 і т. Д. Запис здійснюється за допомогою діодів, які приєднані між адресними шинами і тими розрядними шинами, на яких (при зчитуванні) повинна бути логічна 1; подібні з'єднання відсутні там, де повинні з'явитися нулі. Схема працює в такий спосіб. У будь-який момент часу тільки на одній вихідний лінії дешифратора може бути високий рівень напруги. Струм з цієї лінії тече лише на ті вихідні лінії, з якими ця лінія з'єднана діодом.



5.3. Схема діодного постійного ЗП.

У якості діодів найчастіше використовуються транзистори. На рис. 5.4. показані типові комірки напівпровідникових ПЗП, що використовують біполярні і МДН-транзистори. Принципи побудови залишаються тими ж, але транзистори можуть поєднувати в собі функції елемента зв'язку і підсилювального елемента.

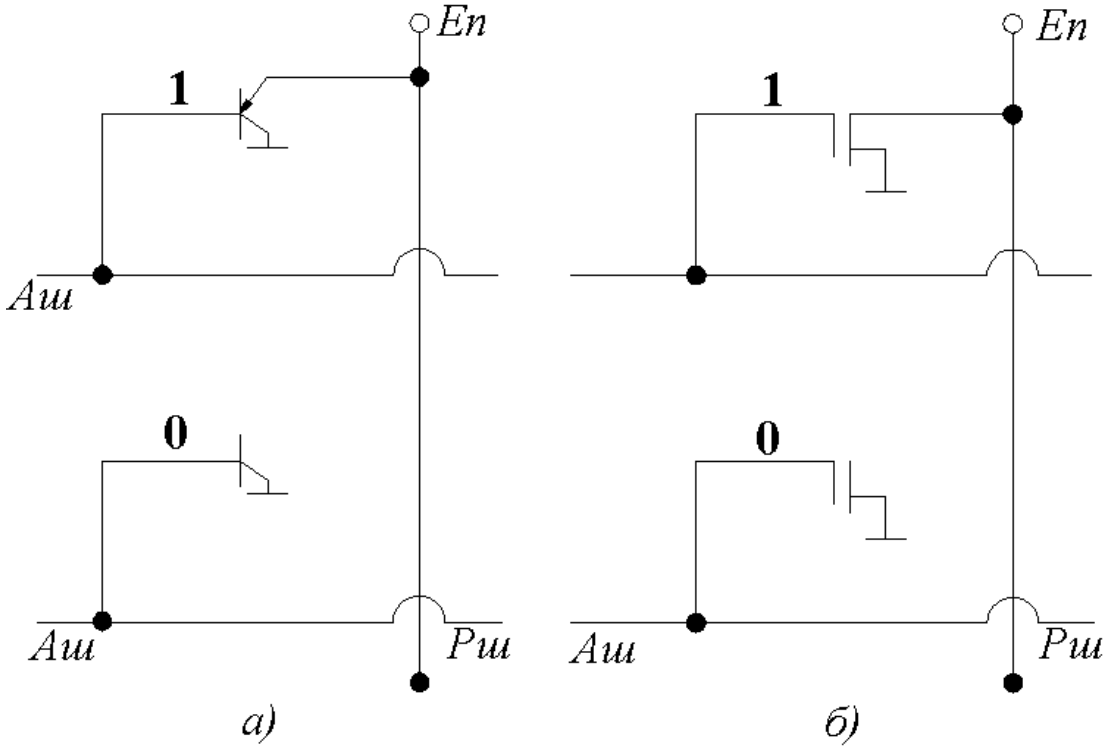


Рис. 5.4. Комірки ПЗП на біполярних (а) і МДН-транзисторах (б)

Якщо ПЗП виготовлений таким чином, що користувач може

електричним (або будь-яким іншим) способом записувати інформацію в пам'ять, то такий ПЗП є програмованим. Часто використовують таку схему, де в кожному осередку пам'яті попередньо встановлені одиниці: на кожному перетині матриці є плавкі перемички або їх аналоги. Запис або програмування НПЗП проводиться "перепалюванням" цих перемичок електричним струмом певної величини. Іноді пам'ять у початковому стані у всіх комірках містить нулі, а одиниці вводяться користувачем.

Специфіка роботи НПЗП полягає у тому, що вміст пам'яті може бути встановлено за бажанням користувача, а пізніше цю інформацію можна стерти і записати нову. Розроблено типи НПЗП з інформацією, яка стирається, а отже, що дозволяють неодноразово записувати необхідну інформацію. Стирання можна здійснювати електричним струмом або ультрафіолетовим випромінюванням. Як правило, НПЗП витримують більше тисячі циклів запису-стирання до виникнення незворотних змін порогових напруг і провідності каналу запам'ятовуючих елементів.

При використанні для створення програмованої пам'яті бістабільних МДН-транзисторів матриця запам'ятовуючих елементів у початковому стані містить транзистори з однаковими граничними напругами. Запис інформації здійснюється в результаті інжекції носіїв заряду в шар підзатворного діелектрика, що призводить до зміни граничної напруги заданих транзисторів.

У разі бістабільних МДН-транзисторів з плаваючим затвором програмування осередку здійснюється шляхом заряду плаваючого затвора. Прикладаючи до затвору досить велику напругу, викликають пробій у діелектрику, в результаті чого у ньому накопичуються електрони. Відповідно змінюється порогова напруга. Заряд електронів зберігається протягом тривалого часу, і записану інформацію можна відтворювати багаторазово, обстежуючи (у процесі комутації) провідність між витоком і стоком. Стирання запису (нейтралізація заряду) проводиться при опроміненні матриці ультрафіолетовим (або рентгенівським) випромінюванням.

У НПЗП на МНОН-транзисторах введення і виведення зарядів у діелектрик здійснюється за допомогою коротких високовольтних імпульсів різної полярності, що подаються на затвор.

5.3.2.5. Флеш-пам’ять

Найновішим типом змінного накопичувача є флеш-пам’ять (англ.: Flash-memory). Флеш-пам’ять можна означити як особливий вид енергонезалежної, напівпровідникової пам’яті з можливістю перезапису. Вона:

1. Енергонезалежна, оскільки не вимагає додаткової енергії для зберігання даних. Енергія потрібна тільки для запису.
2. Має можливість перезапису даних як окремих блоків пам’яті, так і пам’яті цілком.
3. Напівпровідникова (твердотільна), оскільки побудована на основі інтегральних мікросхем і не має рухомих механічних частин (як жорсткі диски або CD).

Історично флеш-пам’ять походить від ROM-пам’яті і функціонує

подібно RAM-пам’яті. Принципова відмінність флеш-пам’яті від RAM полягає в її енергонезалежності. Ця пам’ять може на протязі необмеженого часу (десятки років) зберігати інформацію при відсутності зовнішнього живлення. Взагалі кажучи, існує декілька типів енергонезалежної пам’яті (наприклад, RDM), флеш-пам’ять лише одна із їх різновидів.

Основною структурною одиницею, яка використовується для зберігання біта інформації, у флеш-пам’яті є МДН транзистор з плаваючим затвором. Заміни пам’яті DRAM і SRAM флеш-пам’яттю не відбувається через наступні причини:

1. Суттєво повільніша робота.
2. Обмеження по кількості циклів перезапису (10^4 - 10^6).

2.9.1.Архітектура флеш-пам’яті

Комірка флеш-пам’яті на основі транзистора з плаваючим затвором може використовуватись для створення масивів енергонезалежної пам’яті. Для цього потрібно певним чином об’єднати в один масив множину таких комірок, тобто створити архітектуру пам’яті. Існують два основних види архітектур флеш-пам’яті: NOR і NAND

Архітектура NOR була розроблена для флеш-пам’яті фірмою Intel у 1988 році. Логічний елемент, який складає основу осередків пам’яті отримав назву (NOR (Not OR) - у булевій математиці означає логічну функцію Пірса „або - не”). За допомогою відповідної схеми здійснюється перетворення вхідної напруги у вихідну, яка відповідає логічним „0” і „1”. Архітектура NOR найчастіше застосовується в мобільних телефонах, фото -, відеокамерах та для збереження програмного коду (BIOS, RAM кишенькових комп’ютерів тощо).

Архітектура NAND флеш-пам’яті розробила фірма Toshiba в 1989 році. Логічний елемент, який складає основу осередків пам’яті, отримав назву (NAND (Not AND) - у булевій математиці означає логічну функцію Шеффера „і - не”). Архітектура NAND найчастіше застосовується в картах пам’яті.

Існують альтернативні архітектури NOR і NAND. Серед них можна виділити DiNOR, розробки Міцубісі, і superAND - Хітачі. Схематично вони комбінують кращі якості NOR і NAND.

5.3.2.6. Твердотільні накопичувачі

Твердотільний накопичувач (англ.: SSD (Solid State Drive)) - це напівпровідниковий накопичувач, що складається з мікросхем пам’яті і контролера (подібно до флеш-пам’яті). Існують два види SSD - накопичувачів, які базуються на використанні енергозалежної (RAM SSD) і незалежної (NAND або Flash SSD) пам’яті. Перші характеризуються швидким читанням, записом і пошуком інформації в пристрої пам’яті і використовуються в основному для прискорення роботи великих систем управління базами даних і потужних графічних станцій. Основним їх недоліком є надзвичайно висока вартість. Інші ж мають набагато нижчу вартість і характеризуються відносно невеликими розмірами і низьким енергоспоживанням, саме вони є найбільш перспективними.

Використовується дві технології для виробництва твердотільної пам’яті:

1. NAND SSD (SLC).

2. MLC.

SLC (англ.: Single Level Cell) — технологія, при якій кожна комірка пам’яті використовується для зберігання одного біта даних. У свою чергу MLC (англ.: Multi Layer Cell) дозволяє зберігати у комірці 4 біта даних. Зрозуміло, що на основі MLC можна створювати більш місткі SSD - диски. Недоліком є те, що вони при цьому програють в швидкості читання/запису в порівнянні з технологією SLC (приблизно у півтора рази).

Велика різниця і в вартості пам’яті, оскільки MLC - мікросхеми у двічі дешевші за SLC - мікросхеми при однаковій ємності. Варто відзначити, що MLC SSD також поступаються SLC в тривалості роботи - кількість циклів перезапису комірок у них приблизно вдесятеро менша.

Найочевидніша перевага SSD перед звичними жорсткими дисками полягає в його монолітності. Якщо HDD мають рухомі частини (в більшості вінчестерів диски обертаються зі швидкістю 7200 об/с), то в SSD рухомих частин немає. Це гарантує вищу надійність роботи пам’яті — адже чим менше рухомих деталей, тим надійніший пристрій. Це також гарантує повну безшумність флеш- дисків.

Окрім очевидних, SSD має також ряд інших переваг. Зокрема, варто відзначити, що твердотільні накопичувачі мають в 2-3 рази меншу вагу ніж вінчестери. Але більше значення має мале енергоспоживання SSD - дисків в порівнянні з HDD - дисками.

Окрім переваг, на зразок низької шумності і надійності, в SSD - накопичувачів є свої переваги при читанні/запису даних. Твердотільні накопичувачі працюють на однакових фізичних елементах - елементах пам’яті. При читанні файлу, що займає декілька блоків, весь процес фактично займає час, потрібний для доступу до одного блоку, оскільки SSD може працювати паралельно з декількома елементами пам’яті. Магнітна головка HDD працює послідовно з кожною коміркою пам’яті, тому вона буде послідовно проходити блоки і зчитувати з них інформацію. Швидкість зчитування при цьому досить суттєво падає, оскільки потрібна інформація знаходиться в різних секторах диску. І тому HDD витрачає в середньому 12-13 мс на позиціювання головки і дообертання диску до потрібного місця. В SSD на цей процес витрачається близько 0,01 мс.

Серед недоліків SSD слід зазначити малий життєвий цикл. Так, життя комірки пам’яті SSD в середньому складає близько 10 тис. перезаписів. Крім того, у SSD неможливо записати нову інформацію поверх старої без попередніх дій. Щоб записати дані у комірки пам’яті SSD, необхідно спочатку стерти те, що в них знаходиться. У сучасних носіїв при заповненні 50-60% ємності носія особливих проблем з цим не виникає, а надалі доводиться вдаватися до вимушеної процедури стирання блоків, що призводить до зношення елементів пам’яті. У сучасних SSD - накопичувачах за ці процеси відповідає контролер, який контролює рівномірність розподілу даних по об’єму носія. Це призводить до вирівнювання зношеності всіх комірок пам’яті SSD.

Інший суттєвий недолік, який і є визначальним для користувача, -

висока ціна SSD - накопичувачів. Потрібно також враховувати, що ціна на SSD - диски зростає прямо пропорційно їх об’єму. В той же час при збільшенні об’єму HDD - дисків співвідношення вартості за гігабайт об’єму істотно знижується.

Очевидно, що на даний момент SSD - накопичувачі не зможуть вважатися повноцінною заміною „класичним’' HDD. В той же час, вже зараз вони використовуються в нових ноутбуках, а також деяких інших портативних пристроях. Також дуже цікавими виглядають гібридні системи зберігання даних, коли швидкий SSD комбінується з жорстким диском. У таких накопичувачах масив незалежної флеш-пам’яті використовується як проміжна ланка між ОЗП і магнітним вінчестером, що входить в „гібрид”. Гібридні накопичувачі демонструють підвищену швидкодію при певних типах операцій читання/запису, дозволяють прискорити процес первинного завантаження і зменшити енергоспоживання.

5.3.3. Оптичні пристрої пам'яті

Використання оптичних методів зберігання і обробки інформації розглядається як одна з альтернатив звичайним запам'ятовуючим пристроям. Принципова перевага оптичної пам'яті полягає у тому, що оптика робить можливим створення ЗП великої ємності з щільно "упакованими" даними. Щільність представлення інформації в оптичних ЗП, по суті, обмежена тільки дифракційною межею.

Серед переваг оптичних методів збереження інформації над іншими методами можна відзначити:

- високу щільність запису інформації (10^5біт/мм^2 і вище);
- можливість паралельної обробки інформації і швидкий доступ до масивів;
- відсутність (у більшості випадках) безпосереднього контакту між носієм і системою запису/читання;
- швидкодія;
- завадостійкість;
- різноманітність способів практичної реалізації, яка базується на великій кількості механізмів взаємодії світла з реєструючими середовищами.

5.3.3.1. Побітовий і голографічний запис інформації

Принципово можливі два способи запису інформації в оптичному ЗП: *побітовий і голографічний*. У першому випадку будь-якій елементарній ділянці інформаційного носія відповідає один біт інформації, у другому - вся поверхня деякої ділянки носія рівномірно забезпечує зберігання масиву інформації, тобто будь-яка область, що входить у цю ділянку, зберігає з тією чи іншою достовірністю інформацію про весь масив відразу.

У загальному випадку *для побітового запису* інформації можна використовувати будь-яке джерело випромінювання. Кращими джерелами когерентного світла вважаються лазери, щільність потоку енергії і можливості фокусування випромінювання яких багаторазово перевищують відповідні

параметри всіх інших джерел.

Характерна особливість оптичних ЗП - велике число оптичних елементів і блоків, частина яких обов'язково використовується у всіх різновидах оптичної пам'яті, а інші специфічні лише для деяких її типів. Зокрема, будь-яка оптична система містить три основні блоки: модулятор, процесор і приймальний пристрій.

У модуляторі світлова хвиля "навантажується" інформацією. Тут у результаті просторової модуляції хвилі формується просторовий оптичний сигнал, що зазвичай називається вхідним оптичним сигналом. Процесор, що представляє собою набір різних транспарантів і оптичних елементів, здійснює задану обробку вхідного оптичного сигналу, перетворюючи його у вихідний сигнал. У приймальному пристрої проводиться виймання інформації, яка може бути або перетворена в електричні сигнали, або збережена.

Основними компонентами системи оптичної пам'яті з побітовим записом інформації є лазерне джерело випромінювання, модулятор, дефлектор для адресації променя, формуюча і фокусуюча оптика і середовище запам'ятовування.

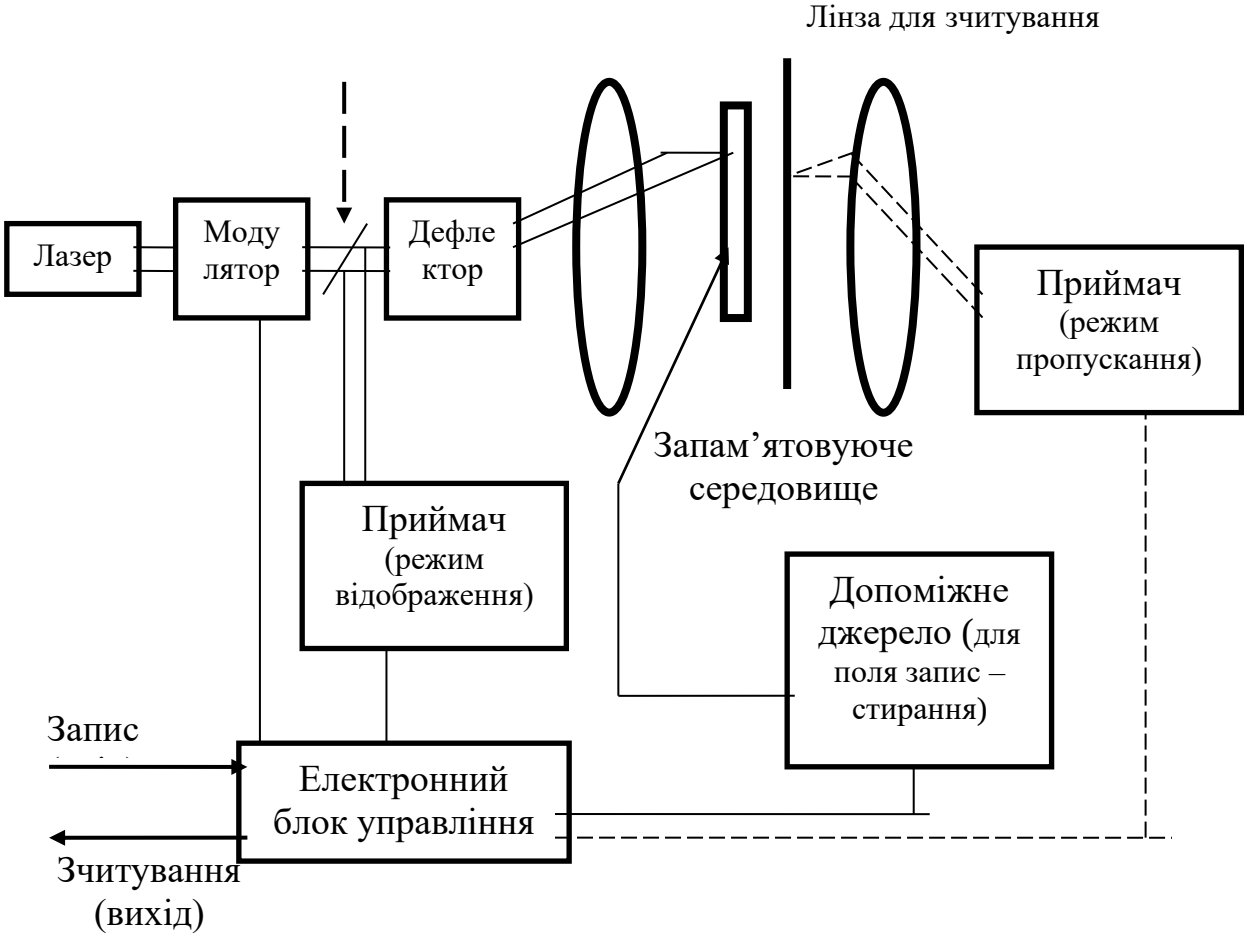


Рис.5.5. Структурна схема оптичного ЗП з побітовим записом інформації

У пристроях оптичного зберігання даних запис (читання) здійснюється за допомогою лазерного променя який направленний на диск, що обертається.

Історична назва такого диску - компакт-диск (англ.: Compact Disk, CD, КД).

Компакт-диск - це полікарбонатна, прозора для широкого діапазону світлових хвиль, пластина діаметром 120 мм (4,75 дюйма) або 80 мм (3,1 дюйма) і товщиною 1,2 мм, в центрі якої розміщений отвір діаметром 15 мм. На цій штампованій або литій основі розміщена одна спіральна доріжка, яка починається на внутрішній і закінчується на зовнішній частині диску. Крок цієї спіралі становить 1,6 мкм. Вся інформація записується на доріжку у вигляді виступів на ній (штрихи, піти, pits) і плоских поверхонь між ними (площадки, ленди, lands). Висота піта, його ширина і довжина, довжина ленда, а також відстань між витками доріжки визначаються стандартом компакт-диску. Зазвичай компакт-диск має від трьох до шести різних шарів. Для відбиття лазерного променя тильна сторона диску покривається світловідбиваючим шаром речовини, найчастіше - алюмінієм.

Принцип зчитування інформації з компакт-диску базується на явищі інтерференції світлових променів. При зчитуванні інформації з компакт-диску лазерний промінь проходить крізь прозору полікарбонатну основу і сканується вздовж доріжки диску. Відбитий від доріжки промінь вловлюється фотоприймачем і перетворюється в електричний сигнал. Глибина ленда доріжки по відношенню до піта має важливе значення для зчитування інформації. Вона повинна дорівнює 1/4 довжини хвилі лазерного променя. Відбитий від ленда промінь накладається на падаючий промінь у фотоелектричному елементі (фотоприймачі). У результаті інтерференції ці промені взаємно гасять один одного, фотоприймач не отримує світлової енергії і не перетворює її в електричний сигнал. В результаті такого сканування доріжки в фотоприймач буде надходити світло, відбите від пітів, яке буде уриватися на час проходження лазера над лендом (ленд стає „чорним", тобто не відбиваючим світло). Фотоприймач сприймає систему таких спалахів, перетворючи їх в логічні „1". Перехід від піта до ленда (кінець спалаху світла) і від ленда до піта (поява світла) відповідає логічній „1". Той час, який лазер проходить над пітом чи лендом (без переходу між ними), при зчитуванні заповнюється логічними „0"

На даний час найбільш поширеними стандартами оптичних технологій запису інформації є:

1. CD (CD-ROM, CD-R, CD-RW);
2. DVD (DVD-ROM, DVD-RAM, DVD-R, DVD-RW, DVD+R, DVD+RW);
3. BD (BD-ROM, BD-R, BD-RE).

Формати оптичних дисків описані в так званих „райдужних книгах" (англ.: Rainbow books).

Використання *флуоресценції* для зчитування інформації з цифрових оптичних дисків дозволяє виключити з їх конструкції відбиваючі шари. Під флуоресценцією тут розуміємо поглинання речовиною світла певної довжини хвилі і випромінювання його вже іншої (більшої) довжини хвилі. На фотоприймач (оптична система читання) попадає не відбитий зондуючий промінь, а світло, що випромінюється розміщеними у товщі диску

скупченнями флуоресцентного барвника (пітами). Флуоресцентні піти можуть бути як внесені в задані місця диску при заводському виготовленні (подібно до CD-ROM), так і утворені при фотохімічній трансформації речовини при спрямуванні на неї лазерного променя під час запису.

Переваги флуоресцентних дисків:

- прозорість, яка дає можливість реалізувати багатошарову систему (10-ки шарів);
- некогерентність випромінювання, звідси відсутність інтерференційних завад;
- зсув флуоресцентного відклику по довжині хвилі від оптичного випромінювання і мінімалізації впливу розсіяного світла;
- можливість використання форматів сумісних з DVD.

Розроблені варіанти флуоресцентних багатошарових дисків відомі під назвами HyperCD-ROM (10-100 ТБ), FMD (англ.: Fluorescent Multilayer Disk), DMD (англ.: Digital Multilayer Disk) (22-32, потенційно - до 100 ГБ).

Вже проходять тестування 300 - шарові диски FMD з інформаційною ємністю 1 ТБ.

При *голографічному записі* представлення інформації здійснюється в інтерференційній формі з використанням когерентного джерела випромінювання. Інформаційне навантаження при голографічному записі несе один з двох світлових пучків, на які поділяється світловий потік джерела випромінювання, - його називають сигнальним або об'єктним. Просторова структура сигнального випромінювання, тобто характер розподілу енергії у площині поперечного перерізу пучка, пов'язана з ємністю масиву, що записується на носій, і розподілом у ньому інформації. Обидва пучки - інформаційний (сигнальний) і допоміжний (опорний) – інтерферують у площині носія інформації.

Голографічний принцип запису полягає в реєстрації одночасно об’єктної (яка несе інформацію про об’єкт) і опорної хвиль. При цьому в результаті накладання цих двох когерентних хвиль відбувається перетворення фазових співвідношень в амплітудну структуру інтерференційної картини. Реєстрація цієї інтерференційної картини в об’ємі фоточутливого шару голографічного оптичного диску і приводить до запису голограми (рис. 5.5). Зміни в матеріалі такого диску можуть бути у вигляді модуляції поглинання, показника заломлення або товщини.

Окрім складнішої оптики у голографічній системі пам'яті потрібно два істотних додаткових елемента - пристрій формування масивів (сторінок) інформації, що називається управляючим транспарантом (УТ), і фотоприймальна матриця. У голографічному ЗП з посторінковим записом лазерний промінь розщеплюється на два пучки - опорний і сигнальний. Сигнальний промінь, проходячи через керований транспарант, надходить на носій інформації, де взаємодіє з опорним пучком, утворюючи інтерференційну картину, яка фіксується у реєструючому середовищі. Кожне положення відхилення променя використовується для адресації цілої сторінки.

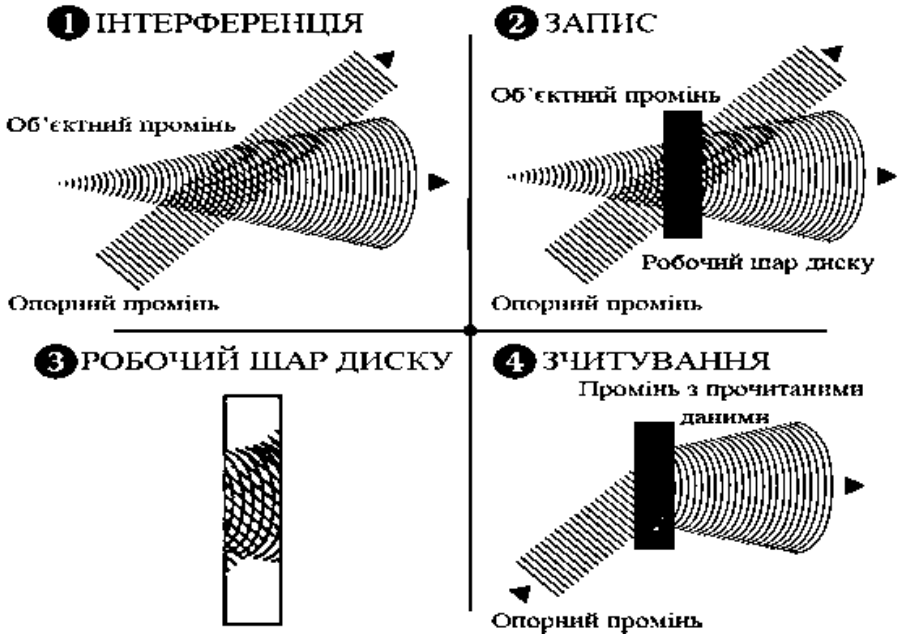


Рис 5.6. Запис / відтворення голограми.

При зчитуванні сигнальний промінь блокується затвором; опорний пучок стає зчитуючим і проектує відтворене зображення сторінки інформації на матрицю приймачів. У результаті при зчитуванні ціла сторінка інформації відразу ж виявляється доступною для електронної вибірки. Оптична система забезпечує збіг опорного і сигнального променів у записуючому середовищі і поворот сигнального променя щодо УТ при записі за різними адресами.

В якості матеріалу для робочого шару диску використовується двокомпонентна полімерна система. Один із її компонентів формує сітку, де розчинений другий світлочутливий компонент. Під дією світла він полімеризується, внаслідок чого виникає градієнт концентрації неполімеризованого компонента. Результатом його дифузії є утворення структури зі змінним коефіцієнтом відбивання, коливання якого якраз і несуть у собі записану інформацію.

Голографічна система запису та зберігання інформації у наш час реалізується у HVD (англ.: Holographic Versatile Disk - багатоцільовий голографічний диск).

5.3.3.2. Оптоелектронні пристрої пам'яті

Оптоелектроніка заснована на застосуванні як електричних, так і оптичних методів обробки інформації і розглядає методи і пристрої перетворення електричних сигналів у світлові і у зворотному напрямку, досліджує процеси отримання, передачі, обробки та зберігання інформації, яку переносять за допомогою світла.

Істотна особливість оптоелектронних пристроїв полягає у тому, що елементи у них оптично пов'язані, а електрично - ізольовані.

У ланцюгах із звичайними приладами вакуумної і напівпровідникової

електроніки неможлива ефективна розв'язка між входом і виходом, що пов'язано з наявністю у електрона електричного заряду. Оптичний же зв'язок, здійснюється за допомогою фотонів, і може бути реалізована між ділянками схеми з потенціалами, що значно відрізняються, тобто у оптоелектронних пристроях здійснюється ефективна розв'язка між входом і виходом. Окрім того, оптоелектронним пристроям притаманні і інші переваги: можливість просторової модуляції світлових пучків і значного розгалуження і перетину світлових пучків під час відсутності гальванічного зв'язку між каналами; велика функціональне навантаження світлових пучків, яка зумовлена великою варіабельністю їх параметрів (амплітуди, напряму, частоти, фази, поляризації).

До складу оптоелектронних пристроїв входить кілька видів приладів, які пов'язані між собою і забезпечують зберігання і видачу інформації у залежності від потреб.

Основним структурним елементом оптоелектронних пристроїв є оптрон - прилад, що складається з джерела і приймача світла, пов'язаних оптично. Оскільки схемотехнічні можливості оптрона визначаються головним чином характеристиками фотоприймача, цей елемент і дає назву оптрона у цілому. До найважливіших різновидів елементарних оптронів відносяться: транзисторні, діодні, резисторні і тиристорні (рис. 5.7).

Функціональні можливості оптрона можуть бути істотно розширені при введенні зворотних зв'язків (електричних або оптичних). Найбільш відомий оптрон, у якому приймач і випромінювач з'єднані електрично, а також є оптична позитивний зворотний зв'язок. Такий пристрій, що отримало назву регенеративного оптрона, придатне для використання в якості перемикача, підсилювача, генератора як електричних, так і світлових сигналів.

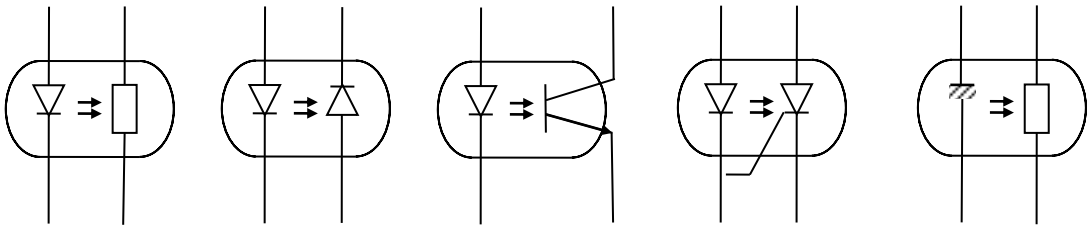


Рис. 5.7. Елементарні оптрони: а - резисторний: б-діодний; в - транзисторний; г - тиристорний; д - резисторний з електролюмінісцентним конденсатором

Для здійснення в оптоелектронних пристроях широкої і гнучкої системи оптичних зв'язків часто застосовують волоконну оптику.

Оптичні волокна являють собою ефективні світлопроводи, що забезпечують передачу випромінювання за заданим шляхом; їх можна групувати у пучки будь-якої форми і згинати під будь-якими кутами.

Волокнисті світловоди виключають необхідність у фокусуючих і

відхиляючих системах. Тому оптоелектронні ЗП можуть мати багатоплатну конструкцію, причому кожна плата має свої джерела світла і свої фотоприймачі, число яких дорівнює кількості бітів інформації, що зберігається.

Оптоелектроніка пред'являє до джерел світла такі вимоги, як мініатюрність, мала споживана потужність, високі ефективність і надійність, великий термін служби, технологічність. Вони повинні мати високу швидкодію, допускати можливість виготовлення у вигляді інтегральних пристроїв. Планарна технологія інтегральних схем дозволяє створювати мініатюрні пристрої з розщепленням випромінювання, сформовані разом з електронними схемами управління. Осередки матриць випромінювачів і фотоприймачів можуть мати пам'ять.

Найбільш поширеними елементами матриць некогерентних джерел світла є інжекційні світлодіоди, в яких випускання світла визначається механізмом рекомбінації електронів і дірок. Як матеріали для світлодіодів використовують арсенід і фосфід галію, карбід кремнію, тверді розчини арсеніду галію-алюмінію і т.д.

Перспективними джерелами світла є інжекційні лазери, що дозволяють отримувати високу щільність енергії у вузької спектральної області при високих ККД і швидкодії (десятки пікосекунд). Зауважимо, що швидкодія світлодіодів ~ 0,5 мкс. Інжекційні лазери можна виготовляти у вигляді матриць на одному базовому кристалі за тією ж технологією, що і інтегральні мікросхеми.

Для перетворення світлових сигналів у електричні використовують фотодіоди, фоторезистори, фототранзистори і інші прилади. Їх можна використовувати і для виготовлення інтегральних матриць, які можуть мати координатну організацію, що дозволяє вибирати будь-який, але тільки один, фотоприймач у певний момент часу, можуть бути організовані через підрядник (за словами), у кілька регістрів або з самосканування.

Матриці фотоприймача крім світлочутливих елементів містять комутуючі елементи, а у деяких випадках і елементи пам'яті. Найпростіший осередок містить фотодіод і послідовно включену ємність. Запам'ятовування інформації у матриці фотодіодів реалізується у вигляді накопичення зарядів на ємностях фотодіодів.

5.3.3.3. Магнітооптичні (МО) пристрої пам'яті

Перші МО диски з’явились у 1988 році. Вони об’єднали в собі компактність гнучких дисків і дискет, швидкість середнього жорсткого диску, надійність компакт-диску і достатню, на той час ємність. Але поширенню МО заважає відносно висока вартість і конкуренція сучасних жорстких дисків. В порівнянні з сучасними жорсткими дисками, вони більш повільні і поступаються їм максимальною місткістю. Це робить неможливим застосування МО в якості вінчестерів. Проте МО диски мають великі перспективи як вторинні накопичувачі для резервного зберігання інформації.

Принцип роботи МО накопичувача базується на суміщенні магнітного і оптичного принципів зберігання інформації. Запис даних відбувається на

магнітний робочий шар диску магнітним полем головки за допомогою променя лазера відносно великої потужності (метод теплового магнітного запису (англ.: Heat Assisted Magnetic Recording - HAMR)). В сучасних МО накопичувачах для запису використовується два цикли: цикл стирання і цикл запису. За цикл стирання диску, або його ділянки, лазер нагріває послідовно всю ділянку. Магнітне поле головки намагнічує доріжку вибраної ділянки в одному певному напрямку, що відповідає логічному „0". Таким чином, вся вибрана ділянка диску переводиться в стан послідовності „0". В циклі запису для запису „1" в необхідних місцях диску вмикається лазер і це місце перемагнічується в зворотному напрямку. Такий подвійний цикл запису суттєво знижує його швидкість. Але розігрів робочої поверхні диску променем лазера підвищує надійність зберігання даних, завдяки малій імовірності перемагнічення ділянки.

Принцип читання інформації з МО-диску базується на магнітооптичному ефекті. Він полягає у впливі намагнічення середовища на інтенсивність і поляризацію світла, відбитого від його поверхні. Цей ефект досить помітний для речовин зі здатністю до значного намагнічення і з високим коефіцієнтом поглинання, тобто для металічних феромагнетиків. Якщо плоскополяризований промінь відбивається від поверхні намагніченого феромагнетика, то він стає еліптично поляризованим, при цьому велика вісь еліпса поляризації повертається на деякий кут по відношенню до площини

Відбиваюч им елементом для лазерного променя, що повертає площину його поляризації, в випадку МО-диску є намагнічена при записі точка поверхні робочого шару. Фотоприймач (ФП) оптичної головки зчитування сприймає відбитий промінь і аналізує величину повороту площини поляризації променя. Таким чином, визначається напрямок намагнічення ділянки диску і значення біта інформації на цій ділянці.

При читанні використовується лазерний промінь невеликої інтенсивності, що не приводить до нагріву поверхні і її деформації.

5.3.4. Надпровідникові пристрої пам'яті

Для всіх найбільш важливих елементів традиційної електроніки є сьогодні надпровідні аналоги. Тому можна думати, що практично будь-яке електронне обладнання може бути сконструйовано на основі надпровідних інтегральних схем.

Не ставлячи перед собою завдання більш-менш докладного розгляду цієї галузі електроніки, зупинимося лише на описі фізичних принципів роботи деяких пристроїв зберігання і обробки інформації на надпровідниках.

Принципова можливість використання *надпровідності* для створення перемикаючих елементів відома досить давно. Ще у середині п'ятдесятих років був створений надпровідний прилад - *кріотрон,* у якому використовується можливість управління станом надпровідності за допомогою магнітного поля.

Як відомо, явище надпровідності полягає у тому, що опір багатьох металів і сплавів при охолодженні їх до деякої критичної температури,

властивої даному матеріалу, стає рівним нулю. Цей стан може бути зруйновано не тільки підвищенням температури вище $T_к$, але і зовнішнім магнітним полем або самим струмом, що протікає по надпровіднику, якщо він перевищує деяке критичне значення.

До останнього часу всі відомі надпровідники переходили у стан надпровідності при надзвичайно низьких температурах-як правило, від 1 до 20 К, тобто поблизу абсолютного нуля. Ці надпровідники доводилося охолоджувати рідким гелієм. Прорив у галузі "азотних" температур відбувся на початку 1987 р. Був виявлений клас матеріалів (кераміки на основі рідкісних металів, міді і кисню), температура переходу в надпровідний стан яких 100 К і вище.

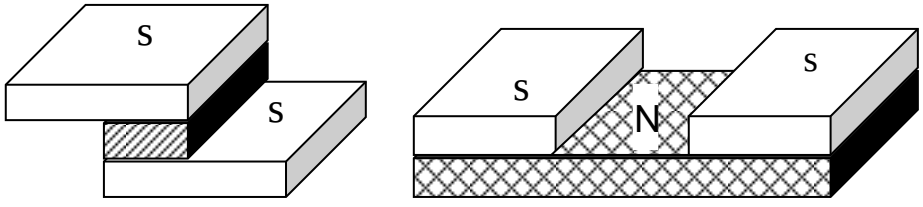
Надпровідність матеріалів з $T_к \leq 23К$ пояснюється наявністю в речовині пар електронів, що володіють енергією Фермі, протилежними спінами і імпульсами (пари Купера), які утворюються завдяки взаємодії електронів з коливаннями іонів грат – фононами. Всі пари знаходяться, з погляду квантової механіки, в одному стані (вони не підкоряються статистиці Фермі оскільки мають цілочисельний спін) і злагоджені між собою за всіма фізичними параметрами, тобто утворюють єдиний надпровідний конденсатор.

Надпровідність керамік пояснюється взаємодією електронів з іншими квазічастинками. По взаємодії з магнітним полем надпровідники діляться на дві основні групи: надпровідники I і II роду.

Якщо два надпровідники з'єднати один з одним «слабким контактом», наприклад якнайтоншою смужкою з діелектрика, через нього піде тунельний надпровідний струм, тобто відбудеться тунелювання надпровідних куперовських пар. Завдяки цьому обидві системи надпровідників зв'язані між собою. Зв'язок цей дуже слабкий, оскільки мала вірогідність тунелювання пар навіть через дуже тонкий шар ізолятора.

Активними елементами надпровідникової мікроелектроніки є так звані *джозефсоновські прилади*: тунельні і місткові контакти або переходи. Властивості їх були передбачені у теоретичній роботі Джозефсона ще у 1962 р. З того часу було виконано великий обсяг експериментальних досліджень, у тому числі з відпрацювання технології виготовлення джозефсоновських приладів, однак вирішального успіху, який би поставив надпровідникову мікроелектроніку на один рівень з напівпровідниковою (кремнієвою), до останнього часу досягти не вдалося.

Існує два основних типи джозефсоновських контактів - типу сендвіч і типу місток (рис. 5.8. а, б).



а) б)

Рис 5.8. Типи джозефсоновських контактів: а - сендвіч; б – місток.

Класичний джозефсоновський контакт є тунельним переходом з товщиною діелектричного шару менше 5 нм, що розділяє два надпровідника. У такій структурі струм може протікати через перехід навіть при нульовій напрузі на ньому за рахунок квантово-механічного тунельного ефекту, хоча у класичній фізиці діелектрик не може проводити струм.

Відкриття Джозефсона полягало у тому, що він передбачив можливість тунелювання надпровідного струму через діелектричний бар'єр.

При великих струмах або при дії на контакт хоча б слабкого магнітного поля на переході виникає різниця потенціалів, що означає появу в переході певного опору. На цьому принципі побудовані тунельні джозефсоновські кріотрони.

Різні напрямки технологій зберігання інформації розвиваються нерівномірно. Пов'язано це як з наявністю необхідної елементної бази, так і з недостатністю традиційних засобів реалізації. Якщо весь шлях розвитку того чи іншого напрямку умовно уявити у вигляді ланцюжка: фізичні принципи - знаходження і створення необхідних матеріалів - розробка конструкцій - створення технології - промислове виробництво, то на сьогоднішній день представляється справедливою наступна картина. Магнітна пам'ять, напівпровідникова пам'ять на ВІС і НВІС, оптичні дискові накопичувачі, електронно-оптичні, акустичні ЗП досягли стадії розвиненого виробництва; голографічні, оптоелектронні, надпровідникові пристрої пам'яті починають виходити поступово у дослідне виробництво, а у деяких випадках і у стадію промислового освоєння; знаходяться у стадії лабораторних досліджень розробки молекулярних і біохімічних носіїв. Очевидно, перспективи розвитку штучних систем зберігання інформації пов'язані з використанням нових фізичних принципів і явищ.

5.4. Організація процесу зберігання інформації

5.4.1. Класифікація та представлення даних

Загальновідомо, що поряд і паралельно з терміном «інформація» при описі інформаційних процесів часто використовується термін «дані».

Для розгляду поняття «дані», відносно процесів збереження інформації, необхідно зробити наступні зауваження, що роз'яснюють співвідношення між поняттями інформація і дані:

- дані - це конкретна форма представлення змісту інформації. Наприклад, інформацію про результати спостереження за температурою навколишнього середовища можна представити у вигляді числового масиву (таблиці), але можна і у вигляді графіка, і у вигляді текстового опису за допомогою визначеної мови;
- на відміну від ненаправленої (неадресної, розсіяної) інформації, яка існує у природі незалежно від нас і наших потреб у ній, даними називається тільки така інформація, яка має значення для споживача і, отже, передбачається її використання для вирішення будь-яких завдань. Іншими словами, практичний статус і важливість даних вище, ніж у природної інформації.

Отже *дані* - це відомості представлені у певній формі та призначені для подальшого використання, що характеризують деяку систему, явище, процес або об'єкт.

Безумовно, при вирішенні практичних завдань за допомогою технічних пристроїв форми представлення інформації завжди конкретні і у інформації хтось зацікавлений, тому вживання терміну «дані» цілком виправдане.

Зміст поняття «дані» досить великий. Він охоплює як якусь окрему величину, наприклад рік народження людини або її ім'я, так і свідчення якого-небудь датчика або виробничі відомості фірми. На побутовому рівні дані ототожнюються з відомостями, і тому не будь-який інформаційний масив вважається даними. Наприклад, текст літературного твору або підручника, картина художника, фільм не розглядаються як дані, проте, даними є відомості, які у них містяться. У комп'ютерних системах такої відмінності немає і будь-яка інформація, представлена у допустимій для комп'ютера формі - тексти, малюнки, музика та ін. - вважаються даними. У інформатиці до даних відносяться також тексти програм, що зберігаються на зовнішніх носіях або завантажені для виконання у пам'ять комп'ютера. Саме таке розширене за змістом тлумачення терміна дані буде матися на увазі далі.

Дані мають декілька класифікаційних ознак. Найважливішою із них є *тип даних.* Тип даних визначає:

- набір їх допустимих значень;
- правила їх обробки (перетворення);
- порядок їх розміщення в ОЗП і ЗЗП при зберіганні;
- порядок доступу до них (тобто звернення і витяг при необхідності з місця зберігання).

Допустимий набір типів даних і їх особливості визначаються програмною системою або мовою програмування, на якій система написана. При цьому можливості мов за різноманітністю допустимих типів, а також побудови нових типів даних доволі сильно відрізняються. Ясно, що чим ширшою і гнучкою виявляється типізація даних у програмній системі або мові, тим більше можливостей надається користувачеві у вирішенні задачі оптимального представлення, зберігання і застосування даних. Типізація впливає і на компактність самої виконуваної програми. Наприклад, у мові BASIC відсутній тип даних «записи», і для створення і використання бази даних довелося б організовувати паралельну обробку декількох масивів.

Наступною ознакою є поділ даних на елементарні (одиночні, прості) і структуровані (складні).

До *елементарних* даних відносяться символи, числа і логічні дані. Загальною і обов'язковою особливістю одиночних даних є те, що кожне з них має одне значення і власне ім'я. *Значення* - це вміст тих осередків пам'яті, де дане розташовується. *Ім'я* (його називають також ідентифікатор) - це позначення даного у тексті програми. Правила побудови ідентифікаторів елементарних даних визначаються мовою програмування написаної програми.

Елементарні дані є «цеглинками», шляхом об'єднання яких будуються складні дані. Варіантів об'єднання існує багато, що і призводить до появи багатьох типів структур даних.

Інформаційний масив, який об'єднує дані і зв'язки (відношенння) між ними називається *структурованими даними*.

Перелік об'єднуючихся одиночних даних, їх характеристики, а також особливості зв'язків між ними утворюють *структуру даних*.

Прикладами структурованих даних є сторінка з класного журналу з прізвищами учнів, датами занять і оцінками, телефонний довідник, організаційна структура установи і т.ін.

Перелік допустимих структур даних, як уже було сказано, визначається мовою програмування або прикладною програмою. Він може бути фіксованим (не розширюваним), як в мові BASIC або прикладних програмах без вбудованих можливостей програмування. У розвинених мовах програмування (PASCAL, C та ін.) і ряді прикладних систем поряд з зарезервованими типами структур даних допускається створення нових типів, причому, елементами структури можуть бути складні дані, наприклад, масив записів.

Складні дані, як і елементарні, мають значення і ідентифікатори. Значення розміщуються в осередках ОЗП за певними схемами. Правила побудови ідентифікаторів встановлюються мовою програмування або програмною системою. Виняток становлять правила формування імен файлів - вони задаються операційною системою і повинні дотримуватися всіма працюючими у ній програмами і мовами. Наприклад, у MS-DOS як імена файлів допустимі комбінації з латинських букв, цифр і деяких спецсимволів загальною довжиною не більше 8 знаків; в Windows з 32-х розрядною файловою системою, дозволені імена довжиною до 255 символів без

обмежень застосовуваного набору символів.

За можливістю зміни значень даних (як простих, так і структурованих) у ході спільної обробки їх підрозділяють на *змінні* і *постійні* (константи). З назви очевидно, що змінні можуть змінювати своє значення по ходу виконання програми, а константи - ні. На рівні операційної системи відмінність між змінними і постійними величинами відсутня, тому у них однаковий порядок розміщення в ОЗП і доступу до них. Поділ може проводитися у мові програмування і, відповідно, у створеній з її допомогою прикладній програмі. Такий поділ служить додатковим заходом синтаксичного контролю коректності програми.

Залежно від того, на якому етапі обробки дані використовуються, вони поділяються на вхідні, проміжні і вихідні.

До *вхідних* відносяться дані, необхідні для виконання програми, і які вводяться в неї до, або в процесі роботи. Вхідні дані можуть бути попередньо записані на деякому носії і вводитися з нього, вводитись по лініям зв'язку від датчиків або з інших комп'ютерів, вводитися користувачем програми за допомогою пристроїв введення.

Проміжні дані формуються у ході виконання програми і, найчастіше, користувачеві недоступні; вони не відображаються на пристроях виведення, але існують в ОЗП або на ЗЗП. Ідентифікатори проміжним даним присвоює розробник програми або задає сама програма за закладеними в неї правилами.

Вихідні дані є результатом роботи програми - заради них і проводиться обробка вхідних. Вихідні дані, призначені для людини, представляються у необхідній для нього формі (тексти, малюнки, звуки); при зберіганні вихідних даних на носіях або передачі по мережах зберігається двійковий комп'ютерний формат їх представлення. Таким чином, роботу програми можна розглядати як дії з перетворення вхідних даних у вихідні через необхідні для цього проміжні дані. З точки зору самої програми всі ці види рівноправні, тобто обробляються тільки відповідно до їх типів, а не функціонального призначення або етапу.

Представлення даних при їх зберіганні та обробці вимагає вирішення трьох основних завдань:

- визначити способи представлення елементарних (простих) даних;
- визначити способи об'єднання даних у структури;
- встановити способи розміщення інформації на матеріальному носії.

Виділяють три рівні представлення даних - концептуальний, логічний і фізичний.

На *концептуальному* рівні визначається загальна структура інформаційного масиву - вона називається моделлю даних. Відомі й використовуються кілька моделей даних: ієрархічна, мережева, реляційна, об'єктно-орієнтована. Відповідно до обраної моделі даних будується інформаційна система, в якій дані будуть зберігатися, а також програми, що ведуть їх обробку (маніпулювання даними).

Логічний рівень визначає способи представлення елементарних даних, їх перелік при об'єднанні у структуру, а також характер зв'язків між ними у межах обраної моделі даних.

Фізичний рівень визначає формати розміщення створеної логічної структури даних на зовнішніх носіях інформації (магнітних або оптичних дисках, папері, в пам'яті комп'ютера). Представлення даних є важливим фактором, що забезпечує компактний (тобто економний з точки зору витрачання носія) спосіб запису інформації при зберіганні і швидкий доступ до потрібних даних при їх використанні. Далі будуть розглянуті варіанти вирішення перерахованих завдань у комп'ютерних системах.

5.4.2. Представлення елементарних даних в ОЗП

Як уже сказано, що різними типами елементарних даних є символи, цілі числа, дійсні числа і логічні дані. Логічний і фізичний рівні їх представлення визначаються конструктивними особливостями ОЗП комп'ютера. Зокрема, оскільки пам'ять комп'ютера має байтову структуру, до неї прив'язується представлення будь-яких даних. Більш точним є твердження, що для представлення значень елементарних даних у пам'яті комп'ютера використовується машинне слово. Цей термін у інформатиці застосовується у двох значеннях: (1) *машинне слово* - сукупність двійкових елементів, що обробляється як єдине ціле у пристроях і пам'яті комп'ютера; (2) *дані,* що містяться в одній комірці пам'яті комп'ютера.

З технічної точки зору машинне слово об'єднує запам'ятовуючі елементи, що слугують для запису 1 біта інформації, в єдиний осередок пам'яті. Кількість таких елементів, що об'єднуються кратна 8, тобто цілому числу байт. Наприклад, у ЕОМ БЕСМ-6 довжина машинного слова становила 48 біт (6 байт), у машинах СМ і IBM - 16 біт (2 байти). Доступ до машинного слова в операціях запису і зчитування здійснюється за номером комірки пам'яті, яка називається адресою комірки.

Запам’ятовуючі пристрої, в яких доступ до даних здійснюється за адресою осередку, де вони зберігаються, називаються *пристроями з довільним доступом.* Саме з цієї причини в англомовній літературі замість ОЗП використовується термін RAM - Random Access Memory - «пам'ять з довільною вибіркою».

Час пошуку потрібного осередку, а також тривалість операцій зчитування або запису в ЗП довільного доступу однаково для всіх осередків незалежно від їх адреси.

Для логічного рівня важливим є те, що представлення значень будь-яких елементарних даних має бути орієнтоване на використання машинних слів певної і єдиної для даного комп'ютера довжини, оскільки їх представлення на фізичному рівні проводиться саме в осередках ОЗП (на ЗЗП елементарні дані в якості самостійних не подаються і доступ до них відсутній).

Розглянемо особливості представлення всіх типів елементарних даних за допомогою 16-бітного машинного слова. Порядок розміщення значень даних представлений на рис. 5.9.

Для представлення символів (літерних даних) машинне слово ділиться на групи по 8 біт, у які і записуються двійкові коди символів. Ясно, що в 16-бітному машинному слові можуть бути записані одночасно два символи

(рис. 5.9, а).

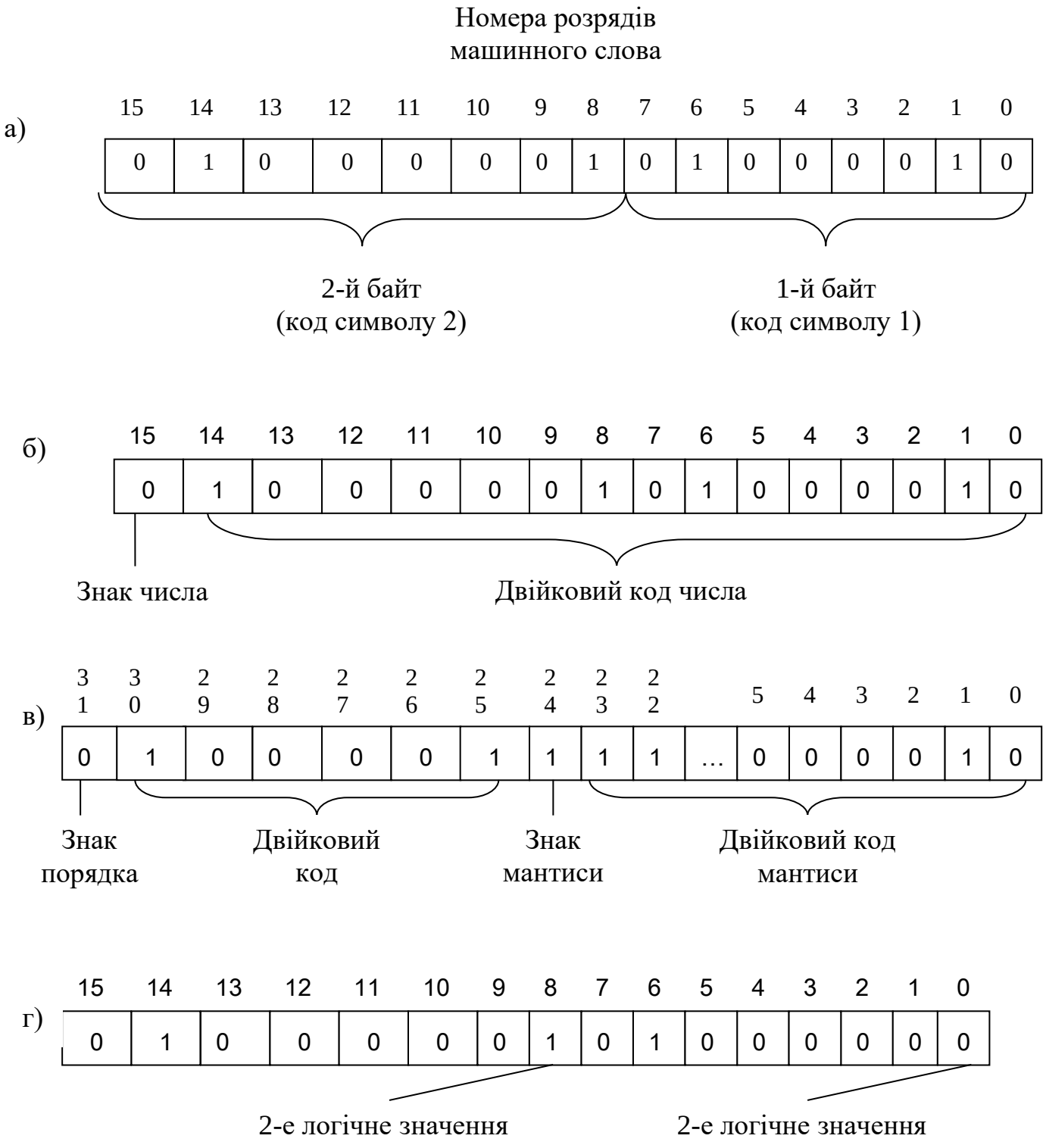


Рис. 5.9. Представлення значень елементарних даних за допомогою 16-бітних машинних слів: а) – символи; б) – цілі числа зі знаком; в) – натуральні числа з плаваючою комою: г) логічні дані

Значеннями одиночних літерних даних є коди символів. Множина допустимих значень даних цього типу для всіх кодувань, заснованих на однобайтового представленні, становить 2^8 - 256; двобайтове кодування

Unicode допускає 65536 значень. Сукупність символів утворює алфавіт, тобто для них встановлено лексикографічний порядок проходження відповідно до числових значень коду. Це, в свою чергу, дозволяє визначити над множиною символьних даних операції математичних відношень >, <, =. Безпосередньо над одиночною символьною змінною визначена єдина операція - зміна значення з одного коду на інший. Всі інші дії здійснюються зі складними символьними даними, наприклад, типу String у мові PASCAL.

У представленні цілих чисел зі знаком (тип Integer у мові PASCAL) старший біт (15-й), відводиться під запис знака числа (0 відповідає «+», 1 - «-»), а решта 15 двійкових розрядів - під запис прямого (для позитивного) або зворотного (для негативного) двійкового коду числа (рис. 5.9, б). При цьому можливі значення чисел обмежені інтервалом [-32768 + 32767].

Поряд з описаним використовується і інший формат представлення цілих чисел - беззнаковий; очевидно, він застосовується лише для запису позитивних чисел. У цьому випадку під запис числа відводяться всі 16 двійкових розрядів, і інтервал дозволених значень виявляється [0 * 65535] (у PASCAL такий числовий тип називається Word). Крім математичних відношень над цілими числами визначені операції додавання, віднімання і множення (у тих випадках, коли вони не приводять до переповнення розрядної сітки), а також цілочисельного ділення і знаходження залишку від цілочисельного ділення.

Представлення дійсних чисел з плаваючою комою при записі числа перекладається у нормалізовану форму з виділенням і окремим зберіганням знака мантиси, знака порядку, порядку і мантиси. Для представлення числа відводиться декілька машинних слів. Ситуація, відповідає числовому типу Single у мові PASCAL, коли для представлення числа відводиться два машинних слова, проілюстрована на рис. 5.9, в.

Цією формою охоплюється діапазон модулів мантиси $[1{,}5\cdot10^{-45}\div3{,}4\cdot10^{38}]$ з 7-ма десятковими цифрами мантиси. Запис мантиси починається з 23-го розряду. Оскільки мантиса вибирається такою, щоб її модуль відповідав умові $0{,}1_2 \le |M_2| < 1$, завжди значення старшого розряду числа 0 (цілих) - воно не відображається під час запису, а значення наступного розряду завжди 1. У процесі виконання операцій може статися переповнення розрядної сітки (на 1 розряд) або, навпаки, її звільнення (тобто у першому відображуваному розряді виявиться 0) - з цієї причини після кожної операції з числами у такій формі проводиться *нормалізація результату*, яка полягає у такій зміні порядку числа і зсуві мантиси, щоб першою значущою цифрою знову опинилася 1. Зміна порядку в представленні числа еквівалентна переміщенню роздільника цілої і дробової частин числа. Така форма отримала назву «*з плаваючою комою*». Завдяки застосуванню плаваючої коми проводиться автоматичне масштабування чисел у ході обчислень, що знижує похибку їх обробки. Над числами визначені всі чотири арифметичні операції. До того ж є операції перетворення дійсного типу до цілого (наприклад, round і trunc у PASCAL).

Логічні дані можуть приймати одне з двох значень - 0 або 1 (0 відповідає логічному False, 1 - True, причому, приймається False<True). Для їх запису

було б достатньо відвести всього один двійковий розряд. Однак у ОЗП комп'ютера немає доступу до окремого біта, тому для представлення логічних даних виділяється цілий байт, у молодший розряд якого і розміщується значення. Таким чином, у машинному слові логічні дані розташовуються у 0-му і у 8-му бітах (див. рис. 5.9, г). Над логічними даними визначені операції: логічне множення (кон'юнкція, ^), логічне додавання (диз'юнкція, v), логічне заперечення (¬). Прикладом логічних даних може служити тип Boolean у PASCAL.

Значення елементарних даних формується у ході виконання програми і мають фізичне представлення у ОЗП. На відміну від них ідентифікатори даних існують тільки на рівні логічного представлення - вони використовуються для позначення даних у тексті програми, однак при трансляції програми з мови програмування у машинний код імена замінюються номерами осередків, у яких дані розміщуються. При виконанні такої програми звернення до даних здійснюється за адресою осередку, а не ідентифікатора. Адреси можуть бути абсолютними - у цьому випадку вони не змінюються при завантаженні програми в ОЗП - саме такий спосіб адресації застосовується у виконавчих програмних файлах з розширенням сот. Однак у силу деяких особливостей розподілу пам'яті комп'ютера розмір таких програм не може перевищувати 64 Кб. У файлах з розширенням exe на етапі трансляції встановлюються відносні адреси даних, які конкретизуються при розміщенні програми у ОЗП - це дещо уповільнює початок виконання, зате знімає вказане вище обмеження на розмір програми.

Необхідно зауважити, що у деяких прикладних програмах у якості елементарних використовуються і інші типи даних, наприклад, тип «Data» або «Грошовий» у MS Excel і MS Access. Однак вони є самостійними тільки для користувача програми, самою ж програмою вони зводяться до деякої комбінації розглянутих вище елементарних даних.

5.4.3. Структури даних та їх представлення у ОЗП

Можна вказати ряд причин, що пояснюють необхідність і зручність використання даних, організованих у деяку структуру:

- відображення в організації даних логіки завдання, об'єктивно існуючого взаємозв'язку і взаємозумовленості між даними;
- оптимізація послідовності обробки даних;
- широке застосування при обробці даних циклічних конструкцій - у них при перебиранні можна автоматично змінювати ім'я змінної, однак, можна змінювати і індекси;
- незручність використання великої кількості одиночних даних, оскільки це веде до необхідності використання багатьох імен.

Перераховані фактори призводять до того, що у сучасних мовах і системах програмування резервується широкий спектр різних структур даних і, крім цього, передбачається можливість створення структур зручних і необхідних користувачеві.

Щодо структур даних необхідно зробити наступні загальні зауваження:

- логічний рівень організації даних відбивається у тексті програми - він визначає порядок обробки даних;
- фізичний рівень представлення структур у ОЗП має всього два різновиди: послідовні списки і зв'язані списки, а на ЗЗП всі структури подаються у вигляді файлів;
- обробка даних можлива тільки після їх розміщення в ОЗП, а з ЗЗП визначені тільки операції запису і читання;
- ідентифікатори, як і у одиночних даних, існують тільки у тексті програми і на етапі трансляції переводяться в адреси елементів пам'яті.

5.4.3.1. Класифікація та приклади структур даних

Як випливає з наведеного вище визначення, структурування даних передбачає існування (або встановлення) між ними якихось відношень (зв'язків). Залежно від характеру цих відношень можна виділити кілька класифікаційних ознак структур даних.

Першим з них розглянемо відношення *порядку*. За порядком даних структури діляться на впорядковані і невпорядковані.

У *впорядкованих структурах* елементи розміщуються за порядком відповідно до значення деякої ознаки. Найбільш простою ознакою є порядковий номер елемента: встановлення порядку відповідно до номера називається нумерацією. При цьому якщо весь набір має один загальний ідентифікатор (наприклад, M), то окремим даним присвоюються власні ідентифікатори - індекси (наприклад, M5 або Mb). Найчастіше індекс задається цілим числом, хоча це необов'язково. У якості індексу може виступати будь-який знак з кінцевого алфавіту. Лексикографічний порядок індексів визначає відношення слідування між елементами структури, тобто елемент M6 слід за елементом M5, а елемент Ma розташовується перед елементом Mb.

Прикладом структур, у яких впорядкування здійснюється за номером елемента, є *масиви*. Порядковий номер елемента можна вважати зовнішньою ознакою, яка може присвоюватися елементу незалежно від його значення. Наприклад, реєстраційний номер документа визначається тільки часом його надходження в установу, а не його змістом. Крім нумерації у структурах даних використовується упорядкування за значенням деякоїо внутрішньої ознаки, наприклад, розміщення прізвищ у алфавітному порядку або групи підприємств у порядку зменшення їх рентабельності - таке впорядкування називається ранжируванням.

Прикладом невпорядкованих структур є, *множини* - у них не визначений порядок елементів; єдине, що можна встановити для якихось конкретних даних, так це їх приналежність (або не приналежність) обраній множині.

Наступною класифікаційною ознакою структур є *однорідність*. До *однорідних* відносяться структури, що містять елементарні дані тільки одного типу. *Неоднорідні* структури об'єднують дані різних типів. Прикладами однорідних структур є масиви, множини, стеки. Неоднорідні структури

називають *записами.*

Ще однією ознакою є *характер відношень* між елементами. За взаємною підпорядкованістю елементів структури даних підрозділяються на *лінійні* і *нелінійні*.

В лінійних структурах всі елементи рівноправні. До них відносяться масив, множина, стек, черга.

У *нелінійних* структурах між елементами існують *відношення підпорядкованості* або вони можуть бути пов'язані логічними умовами. До них відносяться дерева, графи, фрейми.

Грунтуючись на виділених класифікаційних ознаках, розглянемо і охарактеризуємо деякі структури даних.

Масив

Масив – це упорядкована лінійна сукупність однорідних даних.

Коментарі до визначення:

- термін «впорядкована» означає, що елементи масиву пронумеровані;
- термін «лінійна» свідчить про рівноправність усіх елементів;
- термін «однорідних» означає наступне: у тому випадку, коли масив формується з елементарних даних, це можуть бути дані лише якогось одного типу, наприклад, масив чисел або масив символів; однак, не виключено, коли елементами масиву виявляться складні (структурні) дані, наприклад, масив масивів - у цьому випадку «однорідних» означає, що всі елементи мають однакову структуру і розмір.

Кількість індексів, що визначають положення елемента в масиві, називається мірність масиву.

Так, якщо індекс єдиний, масив називається *одновимірним*; часто такий масив називають також вектором, рядком або стовпцем. Для запису елементів одновимірного масиву використовується позначення mi; у мовах програмування прийняті позначення *m(i)* або *m [i]*.

Масив, елементи якого мають два індекси, називається *двовимірним* або матрицею. Приклад позначення: G [3,5]; при цьому перший індекс є номером рядка, а другий індекс - номером стовпця, на перетині яких знаходиться даний елемент.

Масиви з трьома індексами називаються *тривимірними* і т.д. Максимальна мірність масиву може бути обмежена синтаксисом деяких мов програмування, або не мати таких обмежень.

Максимальне значення індексів визначає *розмір масиву*. Розмір масиву вказується у блоці опису програми, оскільки при виконанні програми для зберігання елементів масиву резервується необхідний обсяг пам'яті. Якщо у процесі виконання програми розмір масиву не змінюється (або не може бути змінений), то у цьому випадку говорять про масив фіксованого розміру. Якщо визначення розмірів масиву або їх зміна відбувається по ходу роботи програми, то такі масиви називаються *динамічними* (динамічно описаними).

Допустимий набір операцій над елементами масиву визначається типом даних (елементарних або структурованих), з яких масив сформований. У деяких мовах програмування над масивом у цілому визначена операція

присвоювання *M: = <вираз>* - у цьому випадку всім елементам масиву присвоюється однакове значення, рівне обчисленому значенню виразу. Можлива також операція присвоювання для двох однакових за типом, розміром і розмірністю масивів *M2:= M1* - проводиться поелементне присвоювання значень *(M2 (i, j, k ...): = M1 (i, j, k ...)).*

Особливе місце займають символьні масиви - вони називаються *рядками* або *рядковими даними* (наприклад, тип String у PASCAL). З ними можливий цілий набір операцій, невизначених для одиночних символьних даних. У першу чергу, це операція конкатенації (об'єднання) рядків з формуванням нового рядка. До того ж є операції заміщення частини рядка, а також визначення її числових характеристик.

Стек, черга

Стек (магазин) і черга є впорядкованими, лінійними, неоднорідними структурами.

Ці структури реалізуються у вигляді спеціальним чином організованих областей ОЗП комп'ютера або у якості самостійних блоків пам'яті. У стеці осередки пам'яті (або регістри стековой пам'яті) з'єднуються один з одним таким чином, що при занесенні даних у перший осередок вміст всіх інших зсувається у сусідні вниз, при зчитуванні - вміст зсувається вгору по осередках, як показано на рис. 5.10.

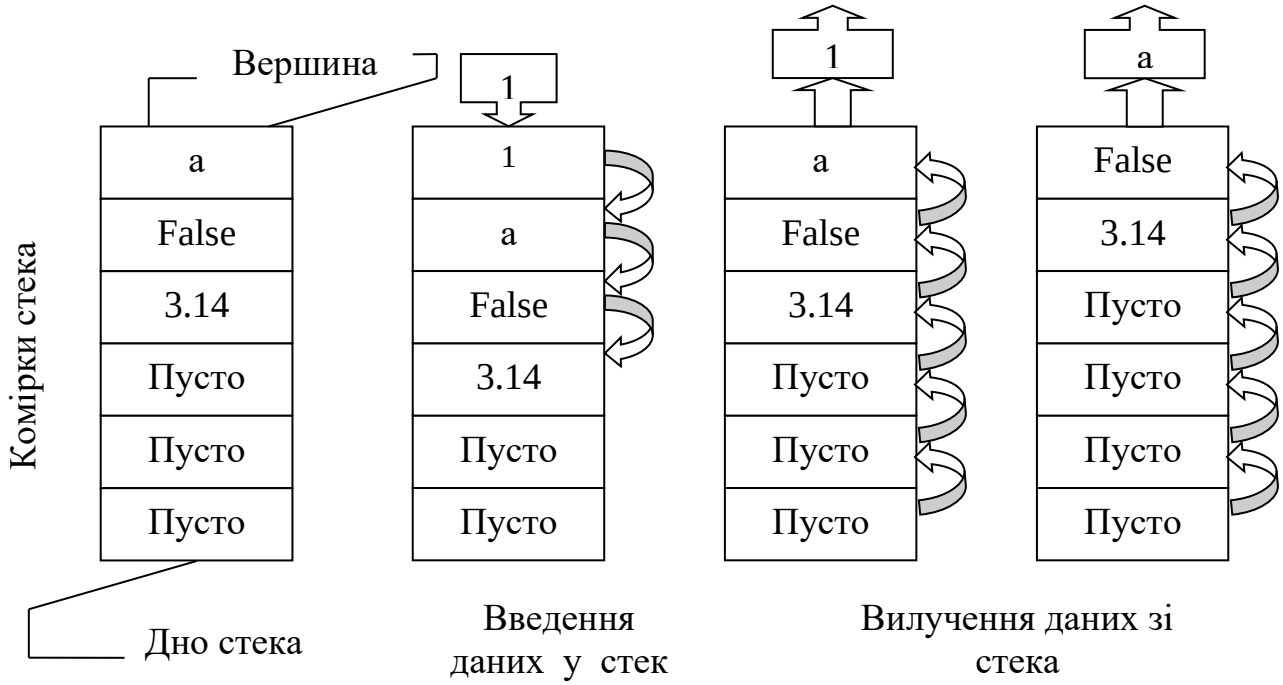


Рис. 5.10. Структура стека

Іншими словами, вхід у стек можливий тільки через перший осередок (вершину стека), тому вийматись першою буде та інформація, яка була занесена останньою, подібно пасажиру переповненого автобуса, тому часто стек називають пам'яттю типу LIFO (Last-In First-Out: «останнім увійшов - першим вийшов»).

Відмінність черги від стека тільки у тому, що виймання інформації

проводиться у порядку «першим увійшов - першим вийшов», тобто з дна стека

Таким чином, дані мають порядок розташування і вони рівноправні - тому структура є впорядкованою і лінійною. Однак у загальному випадку в осередках стека можуть міститися дані різних типів - за цією ознакою структура виявляється неоднорідною.

Описаний спосіб організації збереження даних є зручним при роботі з підпрограмами, обслуговуванні переривань, вирішенні багатьох завдань.

Дерево

Дерево або ієрархія є прикладом нелінійної структури. У ній елемент кожного рівня (за винятком самого верхнього) входить у один і тільки один елемент наступного (вищого) рівня. Елемент найвищого рівня називається коренем, а самого нижнього рівня - листям. Схема такої структури показана на рис. 5.11. Окремі елементи можуть бути однорідними чи ні. Прикладом подібної організації служать файлові структури на зовнішніх запам'ятовуючих пристроях комп'ютера.

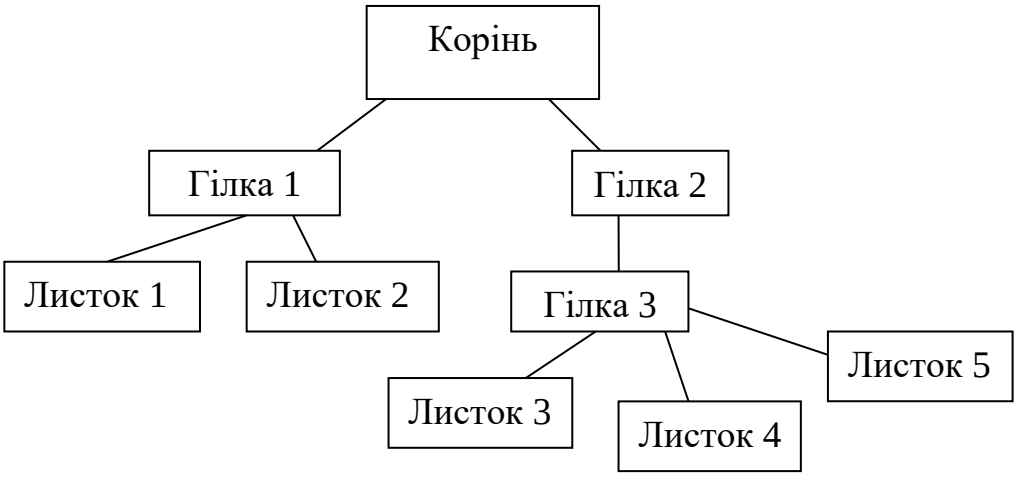


Рис. 5.11. Нелінійна структура «дерево»

Граф

Відношенння між даними можна представляти у вигляді графа - сукупності точок і ліній, у якій кожна лінія з'єднує дві точки. У інформатиці точка отримує сенс елемента структури (системи, даних і ін.), а лінії - сенс відношенння між елементами. Точки називаються вершинами графа, лінії - ребрами. Якщо ребро з'єднує дві вершини, то говорять, що ребро інцидентне цих вершин, а самі вершини називаються суміжними. Число ребер, інцидентних вершині, називається ступенем вершини. Якщо два ребра інцидентні одній і тій же парі вершин, вони називаються кратними. Ребро, у якого збігаються обидві вершини, називається петлею.

На рис. 5.12, а. граф 1 задається списком вершин *{1,2,3,4}* і списком ребер, у якому для кожного ребра вказується пара інцидентних йому вершин: *a(1,2); b(1,4); c(2,.4); 6(2,3); e(3,4); f(2,3); g(4,4).*

Суміжні пари вершин: *(2,3), (2,4), (1,2), (1,4), (3,4).* Ребро *d* є петлею; ребра *d і f* - кратні. Ступені вершин *2* і *4* рівні 4; вершини *3-3*; вершини *1 - 2.*

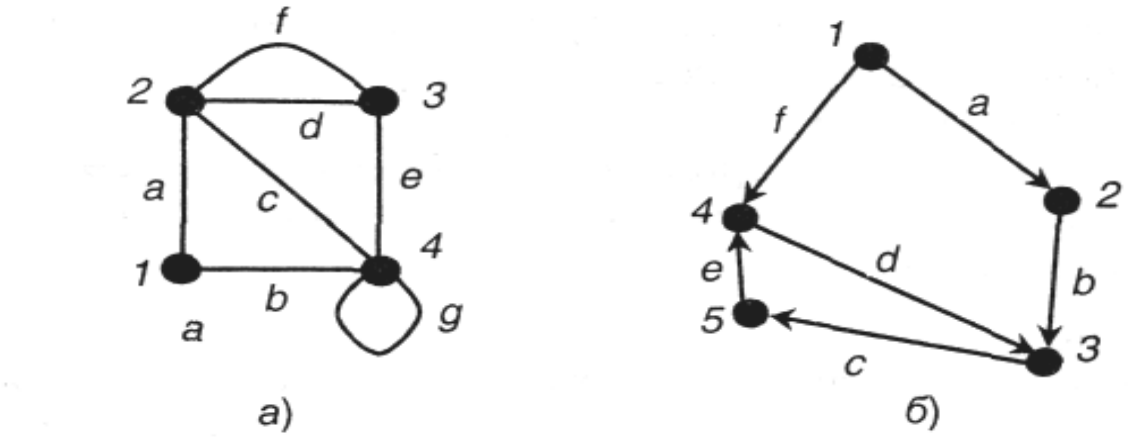


Рис. 5.12. Приклади графів: а – неорієнтований граф; б - орієнтований граф.

Ребро, що з'єднує вершини, може мати напрямок - тоді воно називається орієнтованим і зображується стрілкою. Граф, у якому всі ребра орієнтовані, називається орієнтованим; його ребра називають дугами. Дуги називають кратними, якщо вони з'єднують одні і ті ж вершини і збігаються за напрямком. При позначенні дуги завжди спочатку вказується вершина, з якої вона починається, наприклад, на рис. 5.12, *б (2,3)*

Маршрут - це послідовність ребер, у якому кінець попереднього ребра збігається з початком наступного, наприклад, *a, c, e* на графі *1*. Маршрут, у якому кінцева вершина збігається з початковою, називається циклом, наприклад, *c, e, d* на графі *2*. Граф називається *зв'язним*, якщо між будь-якими двома його вершинами є маршрут. Зв'язний граф з *n* вершинами містить не менше *n*-1 ребер.

За розглянутої раніше класифікації граф є впорядкованою, нелінійною, неоднорідною структурою. Поняття графа завдяки його наочності та високої спільності в інформатиці виступає у якості основного засобу опису структур даних, систем, порядку виконання дій. Прикладом може служити блок-схема програми.

З точки зору практичного використання достатньо цікавим є ще один тип даних - *таблиця*, що утворює впорядковану, лінійну, неоднорідну структуру. Таку структуру можна розглядати як масив неоднорідних структурованих даних. У таблиці її окремий рядок називається записом (логічним записом). З огляду на велику значущість даної структури вона буде розглянута більш докладно.

5.4.3.2. Поняття логічного запису

Логічний запис є поіменованою сукупністю елементарних даних, що має смислову завершеність. Приклад запису - рядок списку студентів:

Прізвище	**Рік народження**	**Рік вступу до університету**	**Курс**	**Номер залікової книжки**

Визначення вимагає ряду коментарів і доповнень:

1. *Логічний запис об'єднує не будь-які розрізнені (за змістом) дані, а ті,*

що відносяться і характеризують певну систему або об'єкт. Саме у цьому сенсі слід розуміти поєднання «смислова завершеність» у визначенні. Запис у цілому відображає різні властивості (атрибути) системи.

2. *Логічні записи мають багаторівневу структуру*. Елементами найнижчого рівня є елементарні дані - символи, числа, логічні дані. Елементарні дані зберігаються і зчитуються цілком, доступ до їх частин неможливий. Сукупності елементарних даних, що мають певний сенс, але не володіють смисловою завершеністю, утворюють поля, кожне з яких відповідає одному атрибуту системи. Поле характеризується типом елементарних даних, з яких воно будується, а також інформаційним розміром (тобто зазначенням кількості байт, які відводяться для представлення даного поля у записі).

3. *Поля записів пов'язані між собою*. Зв'язки між ними можуть мати функціональний характер (значення одного поля за допомогою деякого перетворення (правила) визначає значення іншого, наприклад, дві перші цифри поля «Номер залікової книжки» дорівнюють двом останнім поля «Рік вступу»), або зв'язки можуть бути причинно-наслідковими (наприклад, поле «Рік народження» визначається значенням поля «Прізвище»).

4. *Логічні записи самі можуть об'єднуватися і утворювати структури, які визначаються моделлю даних.* Наприклад, сукупність зазначених вище записів для всіх студентів, що навчаються в одній групі, утворюють масив, який називається базою даних (реляційного типу). Звернення до бази при збереженні і використанні здійснюється за її ідентифікатором *(Група 21)*. Можливі й більш високі структурні об'єднання, наприклад, структури, елементами яких будуть бази даних (об'єднання баз даних за всіма групами факультету). Програмні системи, що дозволяють створювати і використовувати бази даних називаються системами управління базами даних (СУБД).

5. *Логічний запис має власний ідентифікатор, за яким можна звернутися до запису в цілому* (наприклад, порядковий номер студента у групі). Поля також мають ідентифікатори, за якими вони стають доступні для перегляду або зміни значення. Ідентифікатор поля будується з ідентифікатора бази, ідентифікатора запису і власне імені поля, наприклад, *Група_21 (13). Прізвище.*

Таким чином, існує ієрархічна багаторівнева структура даних, показана на рис. 5.13. Кожен вище розташований рівень містить попередні у якості складових елементів. У цій ієрархії запис є першим елементом структури, що має смислову завершеність і, отже, самостійність. Більш високі структури утворюються повторенням записів з однаковою і незмінною структурою.

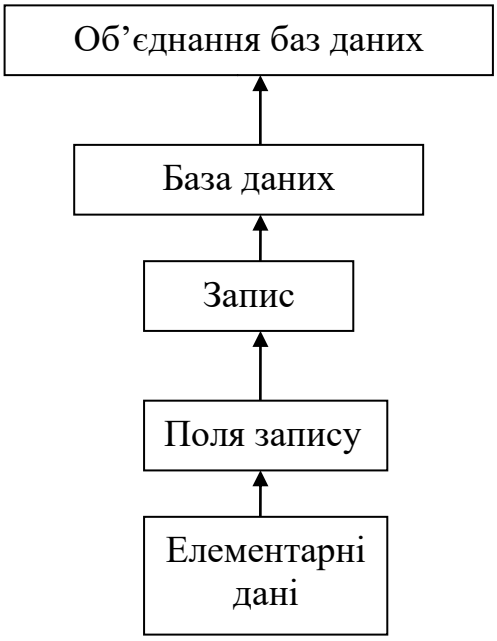


Рис. 5.13. Ілюстрація багаторівневої ієрархічної структури даних

5.4.3.3. Організація структур даних у ОЗП

Структура інформаційного масиву визначається один раз на етапі його створення і у процесі використання вже не змінюється. У мовах програмування це досягається описом структури у блоці описів програми, а у СУБД - встановленням переліку і послідовності полів записів на початковому етапі створення бази даних. Будь-яка зміна структури (наприклад, введення додаткового поля запису або видалення наявного) еквівалентно створенню нової структури. Що ж стосується кількості записів у структурованому інформаційному масиві, то при представленні його у ОЗП комп'ютера можливі дві ситуації: або під нього виділяється область ОЗП фіксованого розміру, або розмір області при необхідності може змінюватися.

У першому варіанті на початку роботи програми відбувається резервування областей ОЗП для зберігання інформаційних масивів. З цією метою у тексті програми вказується, якого типу і розміру інформаційні масиви будуть у подальшому використані. У процесі виконання програми можуть змінюватися значення елементів інформаційного масиву, але не його розмір. З цієї причини у разі, якщо розмір (число елементів) масиву не відомий заздалегідь (наприклад, кількість учнів у класі), доводиться здійснювати надмірне резервування, що, безумовно, призводить до нераціонального використання пам'яті комп'ютера. Саме таким чином відбувається резервування пам'яті при описі масивів та інших структурних даних у мові PASCAL. Відсутність можливостей динамічного опису масивів (тобто введення нових масивів або зміни розмірів наявних у процесі виконання програми) вважається одним з істотних недоліків мови програмування.

Інформаційні масиви, що допускають зміну розміру (але не структури!) Називаються динамічними. У цьому випадку дані можуть мати *послідовне* або

зв'язне представлення у ОЗП.

Послідовне представлення ілюструється рис. 5.14.

№ запису	№ комірки	Зміст
1	3000	Запис A
2	3012	Запис B
3	3024	Запис D
…	…	…
N	3000+(N-1)·12	Запис N

а)

№ запису	№ комірки	Зміст
1	4000	Запис A
2	4012	Запис B
3	4024	Запис C
…	…	…
N	4000+(N-1)·12	Запис N
N+1	4000+N·12	Запис N+1

б)

№ запису	№ комірки	Зміст
1	4000	Запис A
2	4012	Запис C
3	4024	Запис D
…	…	…
N-1	4000+(N-2)·12	Запис N
N	4000+(N-1)·12	Запис N+1

в)

Рис. 5.14.Схеми послідовного динамічного розміщення даних в ОЗП: а-розміщення в ОЗП; б-додання запису; в-видалення запису.

У цьому варіанті дані (окремі записи) розміщуються у сусідніх послідовно розташованих комірках пам'яті. На розміщення одного запису може знадобитися кілька осередків (машинних слів), але їх кількість однакова для кожного із записів (у представленому на рис. 5.14, а прикладі - 12), тому ідентифікатор запису однозначно пов'язується з номером першого осередку, починаючи з якого запис розміщується. Фізичний порядок проходження повністю відповідає логічному. Така сукупність записів називається послідовним списком. Для його зберігання у ОЗП виділяється блок осередків фіксованого розміру. При виконанні команди оброблювальної програми «Додати запис» відбувається збільшення розміру масиву на один рядок у кінці блоку і при необхідності проводиться перезапис масиву в ОЗП (можливо, зі зміною адрес). У доданому рядку розміщується новий запис, як це показано на рис. 5.14, б. При вилученні якихось записів за командою «Видалити запис»

відповідний рядок очищається і після перезапису заповнюється вмістом наступних осередків (рис. 5.14, в).

Зв'язне представлення даних засновано на тому, що у записі дописується додаткове поле, в якому розміщується покажчик адреси, тобто посилання на те місце в ОЗП, де розташовується наступний запис (рис. 5.15.).

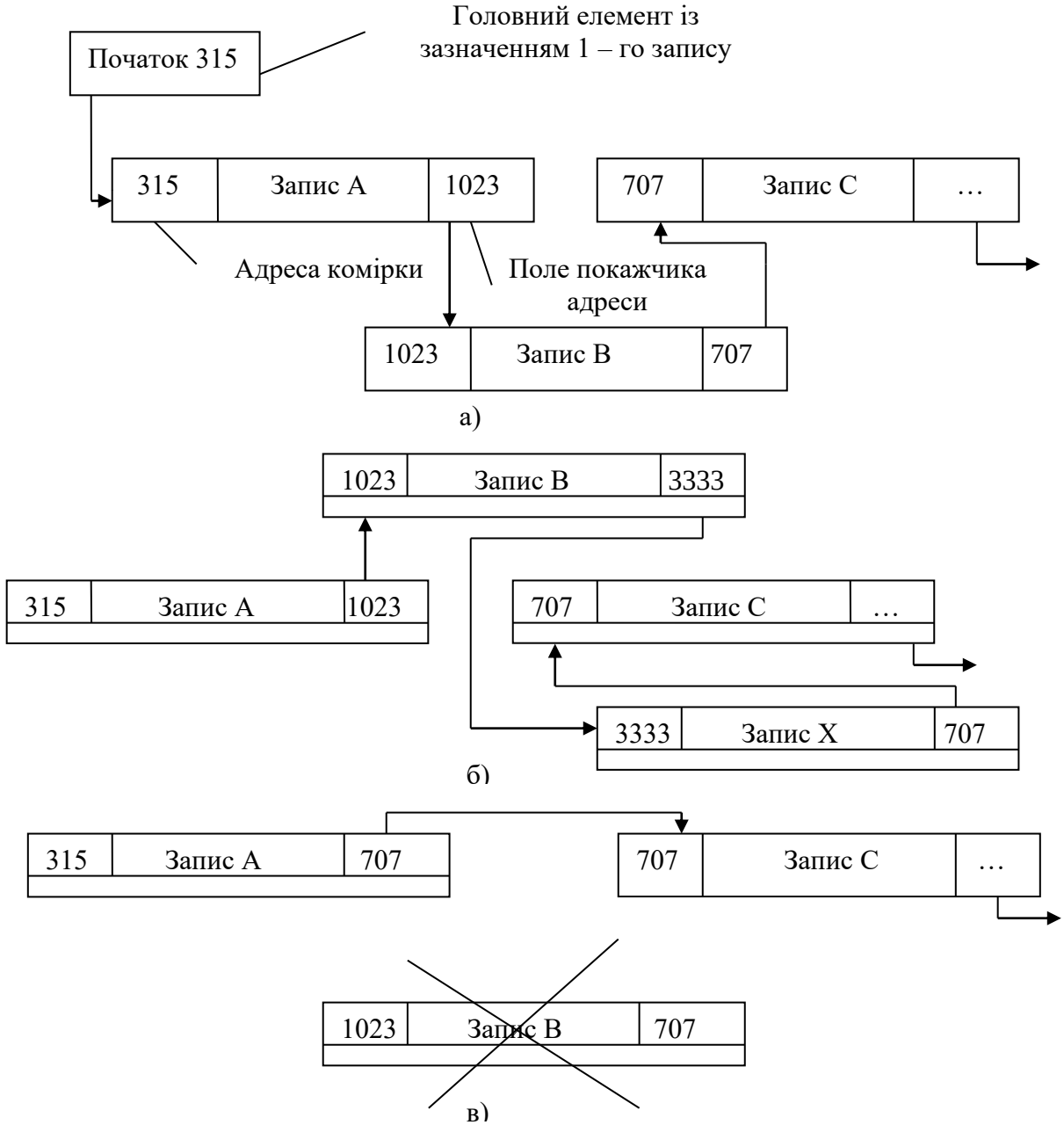


Рис. 5.15. Схема зв'язного динамічного розміщення даних в ОЗП: а – організація зв'язків між записами; б- додавання запису; в) видалення запису

При цьому фізичний порядок розміщення записів не відповідає логічному - записи розташовуються у будь-яких вільних осередках ОЗП, причому, не обов'язково підряд. Такі структури називаються зв'язковими списками. Їх зручність полягає у гнучкості структури - без перезапису інших

елементів можна легко додавати нові або виключати наявні - для цього достатньо лише змінити стан поля покажчика адреси.

Недоліком описаного способу представлення інформаційного масиву у ОЗП є те, що у ньому неможливо безпосередньо звернутися до потрібного запису - пошук його здійснюється по ланцюжку переходів, безумовно, збільшуючи час доступу до даних.

5.4.4. Представлення даних на зовнішніх носіях

У сучасних комп'ютерах дані, що зберігаються на зовнішніх носіях, оформляються у вигляді файлів - сукупностей записів, об'єднаних за деякою загальною смисловою ознакою або за групою ознак (заробітна плата, рахунки, премії і т.д.) і мають унікальне ім'я.

Файли можуть мати різну довжину і займати цілком блок інформації на носії. Допускається також зблоковані записи, коли кілька записів об'єднуються у одному блоці. Але різні операційні системи по-різному організують свою файлову структуру.

5.4.4.1. Ієрархія структур даних на зовнішніх носіях

Основними інформаційними одиницями при збереженні даних на зовнішніх носіях є:

- логічний запис;
- фізичний запис;
- файл;
- каталог (папка).

Логічний запис при зберіганні на зовнішніх носіях є тією ж інформаційної одиницею, що і при зберіганні в ОЗП. Відмінність полягає у тому, що при зберіганні на носії запис є мінімальним і неподільним елементом представлення даних. Це означає, що після розміщення запису на носії немає доступу до її окремих полів, а операції перенесення на носій і зчитування з нього здійснюються цілком з усім записом.

Оскільки обробка записів при їх зберіганні не відбувається, не потрібні і відмінності типів даних, тобто запис може складатися з одного елементарного даного, групи даних або містити структуровані дані. Єдиною характеристикою окремого запису є його довжина, а допустимими операціями є перенесення на носій і зчитування з нього. Після розміщення даних на носії вони перетворюються у фізичний запис.

Фізичний запис є елементом поверхні носія, на якому відповідно до фізичних принципів функціонування носія розміщуються дані, що становлять логічний запис.

Об'єднання фізичних записів утворює файл.

Файл є певним чином оформлена сукупність фізичних записів, що розглядається як єдине ціле і має опис у системі зберігання інформації.

Коментарі до визначення:

- *«оформлена сукупність записів»* означає, що, крім безпосередньо

записів файл завжди має ім'я (ідентифікатор) і ознаку кінця файлу EOF (End-Of-File). За іменем файл відшукується на носії, а ознака EOF необхідна, оскільки по ній встановлюється найближче до даного файлу вільне місце, в яке можна вести запис наступного файлу, а при пересиланні даних з носія в ОЗП за нею визначається межа інформаційного масиву;

- *«як єдине ціле»* означає, що при зверненні до файлу немає доступу до окремих його записів. Файл записується і зчитується тільки цілком. У операційних системах над файлами визначено цілий ряд дій: копіювання, переміщення, видалення, перейменування і деякі інші, проте, у кінцевому рахунку, всі вони зводяться лише до операцій читання і запису, а також змін у описі файлу;
- *«опис у системі»* означає збереження на носії не тільки самих файлів, але і відомостей про них і їх розміщення. Ці відомості використовуються у операціях з файлами.

Будь-які файли містять дані, закодовані за допомогою двійкового алфавіту. Однак способи кодування і призначення файлів можуть бути різними. З цієї причини файлам приписується ще одна характеристика - *тип*.

Тип входить у ідентифікатор файлу і вказується у вигляді розширення імені, наприклад, Глава_7.doc, proba.pas або calc.exe. Принципово різними за типами слід вважати програмні (виконавчі) файли і файли даних.

Програмні файли містять тексти програм у машинному коді. Вони можуть бути завантажені в ОЗП і виконуватися. Програмні файли мають розширення *com* або *exe*. До цієї ж категорії відносяться так звані командні файли (bath-файли; розширення *bat*), що містять у текстовому форматі команди MS DOS, які можуть послідовно виконуватися як програма.

Файли даних формуються у результаті роботи якої-небудь програми. Вони не є виконавчими і служать тільки як сховища даних. Багатопрограмні системи при формуванні файлів даних приписують їм цілком певні розширення, і за ними можна встановити, якою програмою файл створений. Наприклад, розширення *txt, doc, rtf* мають файли, підготовлені у текстових редакторах, *bmp, jpg, gif, cdr* - графічні файли, *pas, bas, c* - файли з текстами програм і т. д. Тип файлу, як і його власне ім'я, є частиною опису файлу і зберігається системою, що відповідає за розміщенням файлів на носії.

Верхнім рівнем представлення даних на зовнішніх носіях є структури файлів - *каталоги* («теки, папки») - у них містяться файли, об'єднані за якоюсь ознакою, наприклад, приналежності до однієї програмної системи або однієї інформаційної бази. Як правило, каталоги допускають утворення вкладених структур, тобто підкаталогів (або, що те ж саме, каталогів у каталогах). Каталоги утворюють ієрархічну структуру, тому є правомірним використання терміна «дерево каталогів». При цьому каталог, розташований на вершині ієрархії, називається кореневим.

Частина операційної системи комп'ютера - файлова система створює і підтримує файлові структури, визначає максимальний рівень вкладеності каталогів, а також робить всі операції з файлами і каталогами.

5.4.4.2. Особливості пристроїв зберігання інформації

Розглянемо деякі особливості пристроїв, що використовуються для зберігання інформації у комп'ютерах.

Пристрої, що виконують операції, пов'язані зі збереженням і зчитуванням даних на матеріальному носії, називаються зовнішніми запам'ятовуючими пристроями (ЗЗП) або пристроями зовнішньої пам'яті (ПЗП).

Будь-який ЗЗП реалізує один з двох можливих принципів розміщення інформації - *послідовний* доступ або *прямий* доступ. Перший варіант використовується при збереженні інформації на стрічкових носіях, наприклад, магнітній або паперовій стрічці - у цьому випадку записи розміщуються одна за одною, тобто послідовно. Зчитування записів також проводиться послідовно, і для того, щоб відшукати потрібний запис, вимагає переглянути всі попередні, подібно пошуку кадру на кіноплівці.

Для реалізації *прямого доступу* на носії повинні бути позначені (пронумеровані) області для запису інформації - такі області називаються блоками. Блок, подібно осередку ОЗП, служить контейнером для розміщення даних. Звернутися до даних для запису-зчитування можна за номером (кодом) блоку. Операція розбиття поверхні носія на блоки називається *форматуванням* - вона здійснюється у обов'язковому порядку і передує використанню носія. Блок зазвичай має строго певну для даного носія інформаційну ємність, наприклад, для змінного магнітного диска ємністю 1,44 Мб - 512 байт. Блок може містити тільки ціле число фізичних записів - через це частина блоку довжиною менше, ніж розмір запису, марна і не використовується. Наприклад, при довжині записів по 150 байт у один блок розміром 512 байт помістяться 3 записи, а 62 байта залишаться вільними. На носіях великої ємності, наприклад, жорстких магнітних дисках (вінчестерах) блоки об'єднуються у групи - кластери (наприклад, на сучасних комп'ютерах IBM кластер охоплює 8 блоків) - запис файлів здійснюється у них і застосовується адресація за номерами кластерів (це зменшує загальну кількість адрес і, отже, прискорює пошук і доступ до файлу).

На дискових носіях імена файлів зберігаються окремо від фізичних записів. У певному місці диска при його форматуванні створюється спеціальна область, у якій розташовується таблиця розміщення файлів - FAT (File Allocation Table). У цю таблицю заносяться імена і атрибути файлів (дата і час створення, розмір, атрибути доступу), а також номер кластера, з якого починається розміщення файлу. Таким чином, звернення до файлу відбувається у два етапи: спочатку за допомогою файлової таблиці за іменем файлу знаходиться номер кластера, а потім зчитувально-записуюча головка ЗЗП встановлюється над ним і здійснює операції. Ситуація ілюструється рис. 5.16. Зміст файлової таблиці можна переглянути за допомогою команд операційної системи (наприклад, dir у MS DOS).

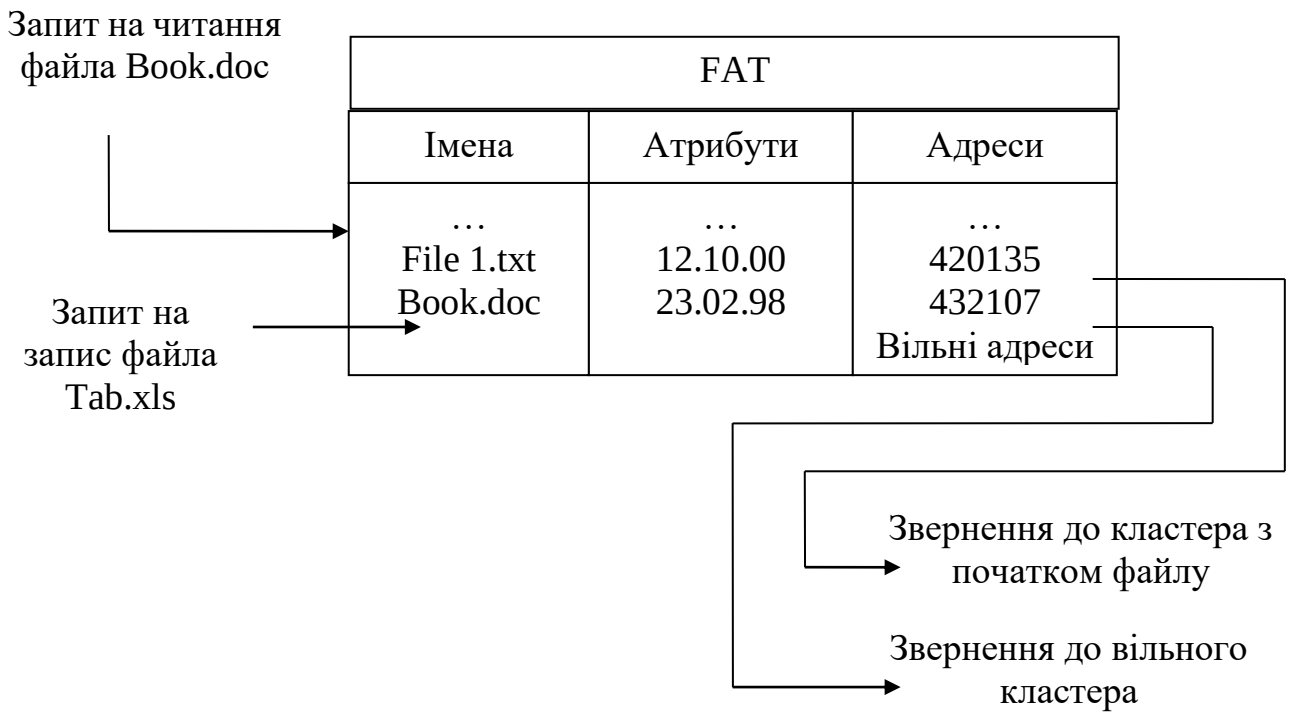


Рис. 5.16. Схема читання-запису даних у ОЗП

При обміні між ЗЗП і ОЗП дані пересилаються не окремими записами, а блоками, розмір яких збігається з розміром блоку ЗЗП - 512 байт; схема обміну представлена на рис. 5.17.

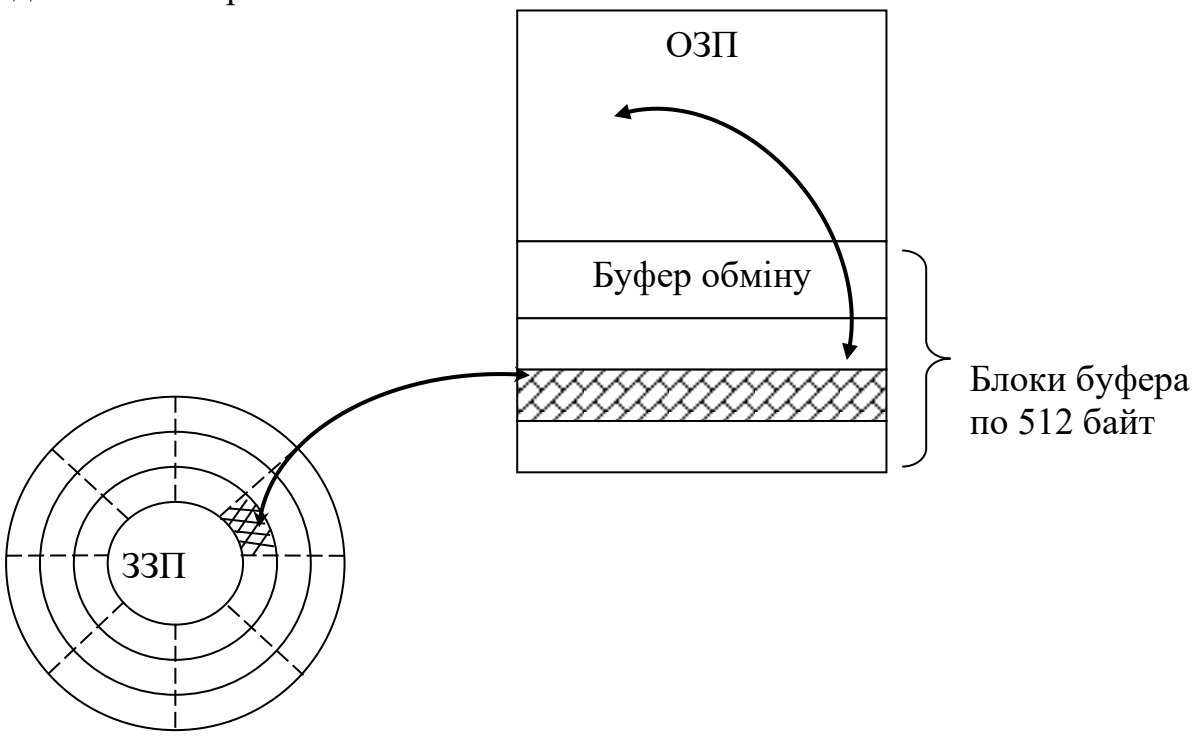


Рис. 5.17. Схема обміну блоками даних між ОЗП та ЗЗП

Для організації обміну в ОЗП виділяється спеціальна область - буфер обміну; розмір буфера встановлюється при конфігуруванні операційної

системи комп'ютера. При пересиланні з ОЗП у ЗЗП дані (записи, що входять у файл) спочатку з ОЗП пересилаються у буфер, поки він не заповниться, потім цілим блоком відправляються у підготовлений блок ЗЗП. Зчитування йде зворотним шляхом. Обмін може йти минаючи центральний процесор - у цьому випадку одночасно з обміном може проводитися обробка даних.

Слід зауважити, що, хоча організація прямого доступу до даних на ЗЗП дуже нагадує організацію довільного доступу до осередків ОЗП (те й інше проводиться за адресою; час доступу не залежить від адреси), між цими способами є відмінність. З осередків ОЗП можуть бути вийняті окремі дані (наприклад, елементи полів логічного запису); крім того, ОЗП безпосередньо пов'язаний з пристроєм обробки даних (центральним процесором). При бажанні використовувати дані з ЗЗП, по-перше, спочатку весь інформаційний масив повинен бути перенесений у ОЗП (з ЗЗП ніякої обробки не ведеться); по-друге, потрібні дані у цьому масиві відшукуються послідовним чином. Іншими словами, прямий доступ виявляється певною комбінацією довільного і послідовного.

Розділ 6. Реалізація процесів представлення інформації

Споживачем інформації найбільш часто виступає людина, і для прийняття рішень йому необхідні результати обробки інформації. Проте людина не здатна відчути машинне представлення інформації, а може сприймати її лише органами чуття (зір, слух, дотик, нюх і т. д.), Тому для організації взаємодії людини з інформаційними моделями об'єктів інформаційна система повинна бути наділена спеціальними засобами відображення даних.

Для представлення переданої або збереженої інформації споживачеві використовуються процеси відтворення і відображення.

Відтворення інформації - це процес, при якому раніше записана на носії інформація зчитується пристроєм відтворення.

Відображення інформації – є визначеною формою представлення інформації, тобто генерацією сигналів на основі вихідних даних, а також правил і алгоритмів їх перетворення у формі, прийнятною для безпосереднього сприйняття людиною.

Оскільки зір використовується для сприйняття інформації найбільш активно, то засоби відображення у сучасних ІС повинні представляти інформацію у формі придатній для комфортного візуального спостереження. Зауважимо, що мультимедіа-системи дозволяють також представляти інформацію у формі аудіо- і відеосигналів, однак для сучасних інформаційних систем найбільш характерно відображення інформації у текстовій і графічній формі, що здійснюється за рахунок використання моніторів і пристроїв друку (принтерів, плоттерів і ін.).

Для того щоб отримати на екрані дисплея (або на папері принтера) зображення, яке відображає виведену з комп'ютера інформацію, дані (машинне представлення цієї інформації) повинні бути відповідним чином перетворені, потім адаптовані (узгоджені) з параметрами дисплея і, нарешті, відтворені. Всі ці операції повинні виконуватися у суворій відповідності із заданою формою відтворення і можливостями відтворюючого пристрою. Узгодження операцій процедури відображення проводиться за допомогою керуючої процедури ООП (організації обчислювального процесу).

6.1. Засоби відображення і виведення даних

Організація технологічних процесів збирання, підготовки і обробки інформації, процесів функціонування різних інформаційних систем істотно полегшується і спрощується при наявності засобів візуалізації - пристроїв відображення інформації. Вони забезпечують наочність і зручність представлення інформації, оперативність її використання.

Основною ланкою пристроїв відображення інформації є індикатор, тобто пристрій перетворення інформації, що надходить на його вхід у вигляді електричних сигналів, у візуальне зображення, зоровий образ. У якості індикаторів використовуються електролюмінесцені, газорозрядні, світлодіодні, рідкокристалічні та інші прилади і панелі. Електронно-променеві

трубки забезпечують відтворення чорно-білих і кольорових двовимірних і тривимірних зображень. Рідкокристалічні плоскі панелі володіють високою якістю зображення, малими розмірами, масою і енергоспоживанням. Монітор персонального комп'ютера є ідеальним пристроєм відображення різної (складної) інформації.

Спорідненим пристроєм монітора є проектор - оптико-механічний, або оптико-цифровий прилад, який за допомогою джерела світла проектує зображення об’єктів на екран.

Перші монітори були дуже примітивні, текст у них відображався тільки в одному, зеленому кольорі. Все ж їх поява стала важливим технологічним проривом, оскільки дала можливість вводити і виводити дані в пам’ять комп’ютера в режимі реального часу. Пізніше з’явились кольорові монітори, збільшився розмір екрану, виникли різноманітні технології їх виготовлення. Технічні характеристики сучасних моніторів можуть задовольнити найвибагливішого користувача.

Серед великої кількості технічних параметрів моніторів, мабуть, найголовнішим є роздільна здатність монітора. Це лінійний розмір мінімальної деталі, яку можна розрізнити на екрані. Даний параметр характеризується кількістю елементів розкладу - пікселів (англ.: pixel, PICture ’S Element) - по горизонталі і вертикалі екрана. Чим більша кількість пікселів, тим більш детальне зображення формується на екрані.

Друкувальні пристрої (принтери) забезпечують представлення даних у вигляді готового документа – найзручнішої форми для сприйняття і використання людиною.

Розглянемо основні технології виготовлення сучасних пристроїв виведення інформації, а також принцип дії, особливості, переваги і недоліки.

6.1.1. Електронно-променевий монітор, кінескоп

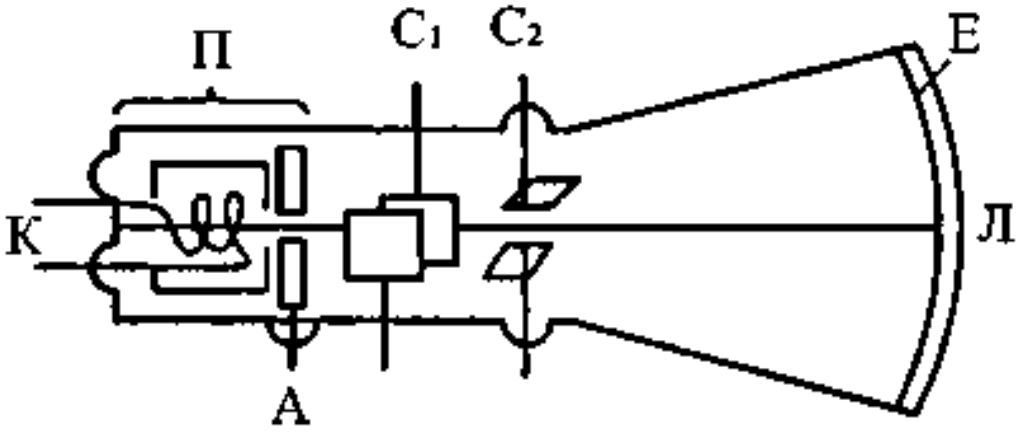


Рис. 6.1. Електронно-променевий монітор

Електронно- променевий монітор, кінескоп (англ.: CRT - Cathode Ray Tube, ЕПТ - електронно-променева трубка).

Принцип роботи цього монітора базується на технології емісії електронів. Отримуючи сигнал від керуючих систем комп’ютера (див. рис.

6.1), монітор електронно-променевою гарматою П випускає потік електронів з катода К через отвір в аноді А на екран Е, який складається з „тіньової маски” (для кольорових моніторів) і скляної пластини з люмінесцентним покриттям (люмінофор) Л. На екрані створюється зображення. Керує потоком електронів система відхилення C_1 і C_2, яка за допомогою електромагнітного поля змінює напрямок руху потоку електронів. Цей потік, проходячи через тіньову маску, попадає на люмінофор. Люмінофор - речовина, атоми якої випромінюють світлові промені видимого діапазону при бомбардуванні її зарядженими частинками.

Отже, ЕПТ мають наступні основні елементи:

1. Електронна гармата (для чорно-білих моніторів - одна, для кольорових - три);
2. Система відхилення, тобто набір електронних „лінз” для формування пучка електронів;
3. Тіньова маска, яка забезпечує точне попадання електронів від певної гармати в необхідну точку екрану;
4. Шар люмінофору, який формує зображення при попаданні електронів на екран.

В свою чергу електронна гармата складається із підігрівача, катода, що емітує потік електронів, і модулятора, що прискорює і фокусує пучок електронів.

Переваги: висока швидкодія оновлення зображення.

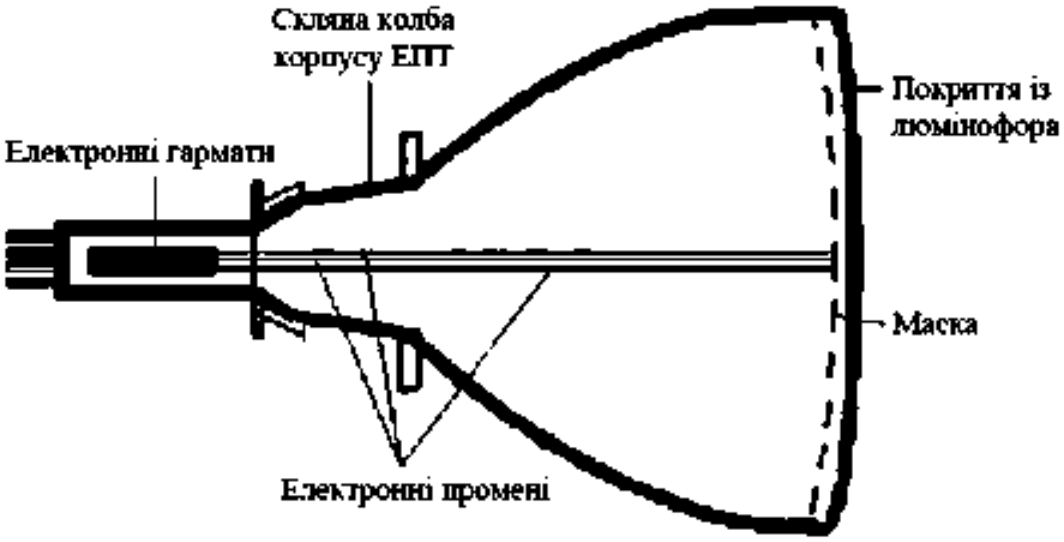


Рис. 6.2. Кольоровий електронно-променевий монітор

Недоліки: високе енергоспоживання і тепловиділення, складність отримання „ідеальної” геометрії картинки.

До недавнього часу CRT були найпоширенішими серед моніторів. Зараз їх майже витіснили рідкокристалічні монітори, крім поліграфії, де вони здали ще не всі позиції.

У кольорових CRT основним елементом є три електронні гармати, які формують зображення, кожна з яких відповідає за одну із складових кольору - червону, синю, або зелену (див. рис. 6.2).

Переваги: можливість якісної передачі кольору, висока роздільна здатність, достатня контрастність.

Недоліки: велика вага, складність монтажу і настроювання.

6.1.2. Монітори електростатичної емісії

Монітори електростатичної емісії (англ.: FED - Field Emission Display - дисплей на основі ефекту польової емісії електронів, з люмінофором). Технологія FED подібна до CRT, тому що в обох випадках застосовується люмінофор. Відмінність полягає у тому, що у FED свічення люмінофорів екранах не застосовуються електронні гармати. Натомість використовується велика кількість маленьких джерел електронів, розміщених за кожним елементом екрану. Кожне джерело електронів керується окремим електронним пристроєм і кожний піксел може світитися завдяки дії електронів на люмінофор.

Один із варіантів FED - технологія SED (англ.: Surface-conduction Emission Display – дисплей з люмінофором на основі ефекту емісії електронів з поверхневою провідністю).

В основу технології SED покладено дві базові ідеї:

1. Замість трьох катодів CRT для трьох кольорів використовується індивідуальний катод для кожного субпіксела. При цьому не використовується схема розгортки - найбільш енергоспоживаючий вузол CRT;

2. Замість теплової емісії електронів використовується емісія за рахунок тунельного ефекту.

Джерелом електронів в SED - панелі на відміну від ЕПТ є плоскі мікроскопічні точки оксиду паладію, нанесені на електродну матрицю на задній скляній стінці (див. рис. 6.3).

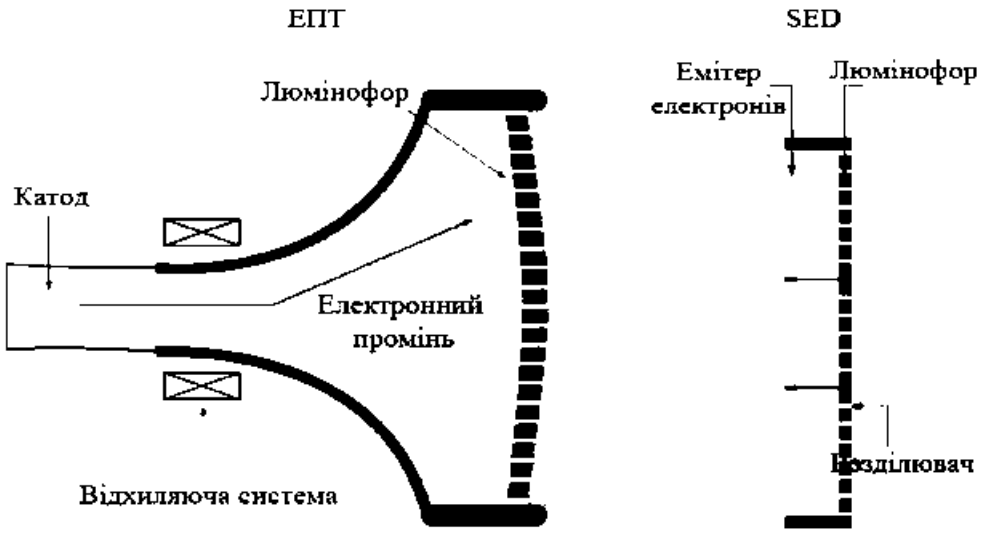


Рис.6.3. SED - монітор

Дисплей утворюють дві скляні панелі, між якими знаходиться вакуум. На переднє скло нанесені розділені між собою точки люмінофора трьох основних кольорів. Невелика керуюча постійна напруга прикладається між половинками електронного емітера, відстань між якими складає 4-6 нм. Внаслідок тунельного ефекту відбувається емісія електронів з емітера. Прискорююча напруга забезпечує попадання електронів на люмінофор. Принцип роботи піксела SED - панелі показаний на рис. 6.4, а субпіксела - на рис. 6.5.

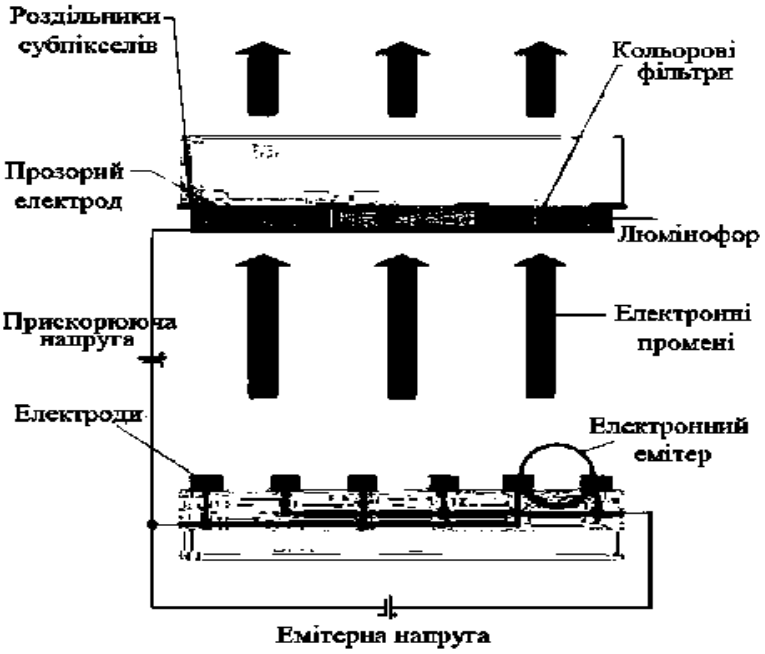


Рис. 6.4. Принцип роботи піксела SED – панелі

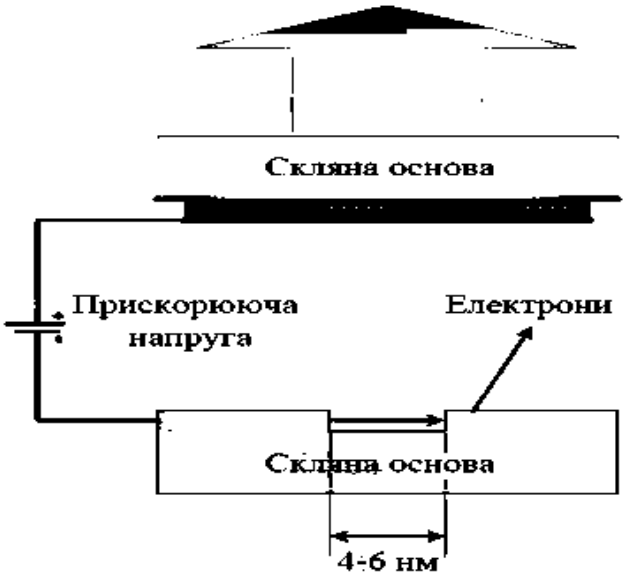


Рис. 6.5. Принцип роботи субпіксела SED - панелі

Переваги: невелике енергоспоживання, висока контрастність, широкий

кут спостереження, висока швидкодія, хороша передача кольору.

6.1.3. Монітори на основі вуглецевих нанотрубок

Вуглецеві нанотрубки (англ.: CNT - Carbon NanoTubes (CNT-FED), ВНТ).

Принцип дії: в якості катодів використовуються вуглецеві нанотрубки. Відомо, що вони є ефективними джерелами холодної польової емісії електронів. На рис 6.6 показана принципова схема монітора з катодом на основі ВНТ і аноду з люмінофором на основі оксиду цинку. Міжелектродна відстань складає близько 0,6 мм. Під дією прикладеної напруги з кінців ВНТ випускаються електрони, які рухаються в напрямку люмінофора і викликають свічення піксела. Отримане таким чином зерно зображення становить близько 1 мкм. При напрузі 1,7 кВ струм емісії складає 10 мА.

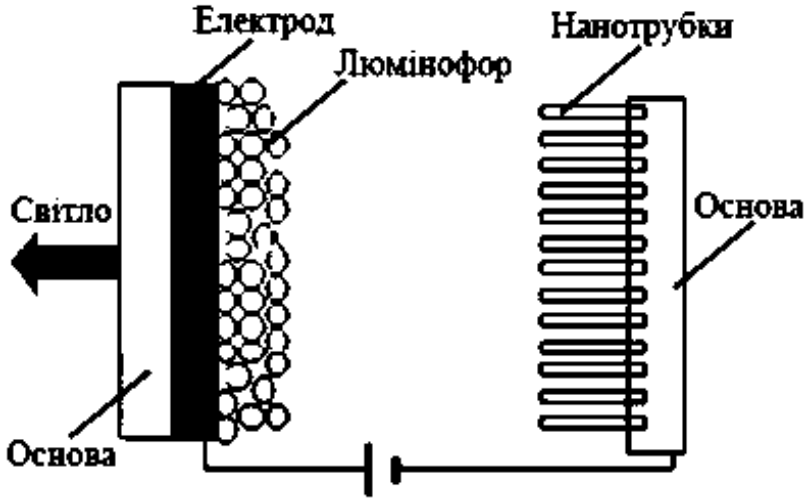


Рис. 6.6. Монітор на основі нанотрубок

Переваги: можливість розміщувати нанотрубки безпосередньо на основі при контрольованих відстанях, розмірах і довжині гарантує високу якість зображення при оптимальному рівні емісії електронів; малий час відгуку; широкий кут спостереження; високоякісна передача кольору; тривалий час функціонування дисплеїв.

6.1.4. Електролюмінісцентні екрани

Принцип дії електролюмінісцентних екранів (англ.: EL - ElectroLuminescent) базується на прикладанні електричного поля до багатошарової структури з двох електродів (напівпрозорого і алюмінієвого), двох шарів діелектрика, між якими знаходиться порошковий люмінофор (ZnS:Mn). На такий конденсатор подається змінна напруга звукової частоти, яка за величиною близька до напруги пробою. На поверхні частинок люмінофора під дією змінної напруги концентрується сильне електричне поле, яке прискорює вільні електрони, здатні іонізувати атоми. Утворені дірки захоплюються центрами люмінесценції, на яких при зміні напрямку поля рекомбінують електрони. Цей процес супроводжується випромінюванням

світла. Принципова схема EL - панелі показана на рис. 6.7.

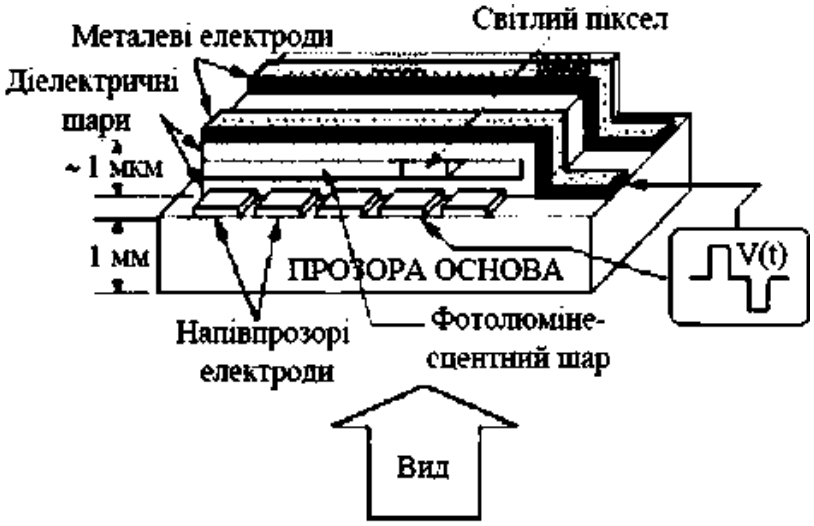


Рис. 6.7. Будова EL - панелі

Переваги: хороша роздільна здатність, контрастність, великі кути спостереження (більше 160 градусів), невелике енергоспоживання, малий час відгуку пікселів (1 мс).

Недоліки: кольори не такі чисті як у рідкокристалічних (РК) - моніторів, зображення на яскравому світлі тьмяніє.

6.1.5. Плазмові монітори

Принцип дії плазмових моніторів (англ.: PDP - Plasma Display Panel, ПМ) базується на свіченні люмінофора під дією ультрафіолетового випромінювання, яке виникає після плазмового розряду. Кожний субпіксел PDP - панелі є флуоресцентною мініампулою (200 мкм х 200 мкм х 100 мкм), яка може випромінювати світло тільки однієї довжини хвилі (див. рис. 6.8).

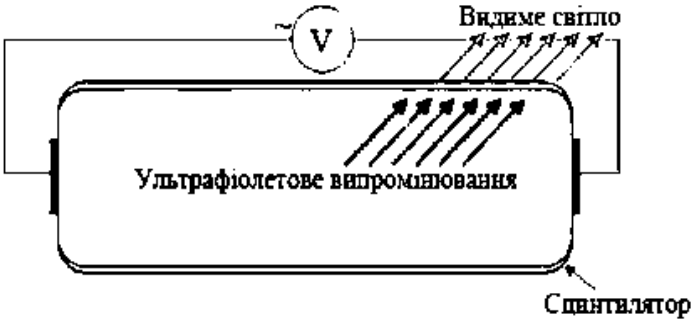


Рис. 6.8. Будова субпіксела плазмової панелі

Це забезпечується покриттям поверхонь ламп трьома видами люмінофора. На таку лампу з інертним газом (ксеноном або неоном), що знаходиться між прозорими хромо-мідними електродами, подається висока напруга, яка викликає плазмовий розряд. Відбувається розпад інертного газу на позитивнозаряджені іони і електрони, які під дією прикладеної напруги

рухаються до катода і анода відповідно. Під час руху електрони збуджують нейтральні атоми газу, які випромінюють хвилі ультрафіолетового діапазону. Ультрафіолетове випромінювання, попадаючи на основу піксела, покриту люмінофором, викликає свічення останнього у видимому діапазоні хвиль. На поверхню кожного піксела нанесений свій люмінофор для отримання світла певного кольору. Величиною керуючої напруги регулюється яскравість свічення піксела. Принципова схема PDP - екрана представлена на рис. 6.9.

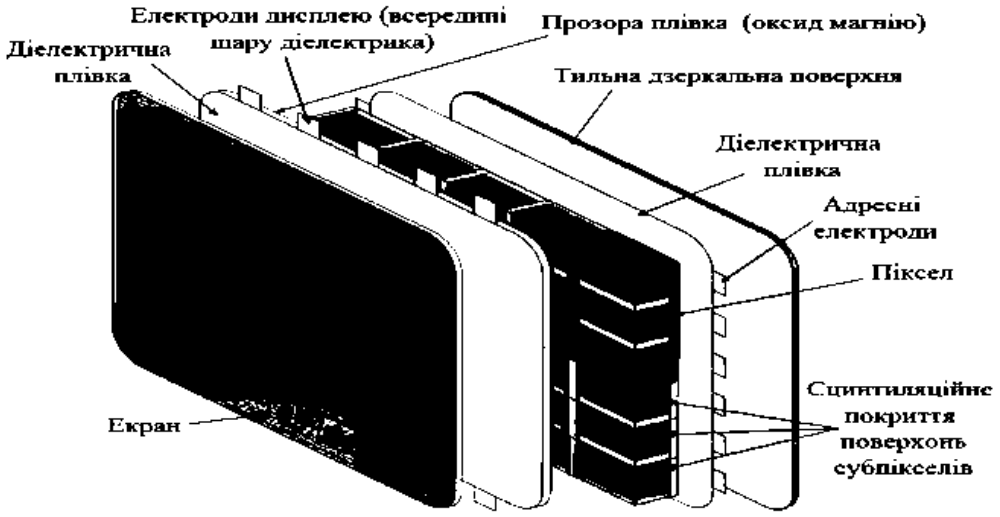


Рис. 6.9. Принципова схема PDP-екрана

Переваги: великі кути спостереження, висока яскравість і контрастність, мала товщина.

Недоліки: велике енергоспоживання, відносно великий розмір піксела не дає можливості добитись високої роздільної здатності, високі вимоги до якості матеріалів.

6.1.6. Рідкокристалічні монітори

Головним елементом рідкокристалічних моніторів (англ.: LCD - Liquid Crystal Display, РК) є молекули цианофенілу - речовини, яка знаходиться в рідкому стані, але має властивості кристалічних тіл. Зокрема вона має властивість поляризувати світло.

LCD - екран має декілька шарів, серед яких важливу роль відіграють дві панелі, виготовлені з вільного від натрію і дуже чистого скляного матеріалу (називають субстратом або основою), між якими власне і знаходиться тонкий шар рідких кристалів (див. рис. 6.10).

Рідкі кристали складаються із видовжених молекул. Міжмолекулярна взаємодія забезпечує в певному інтервалі температур паралельну орієнтацію молекул, наслідок чого в рідині утворюється виділений напрямок. Впорядкування орієнтації молекул поширюється на далекі віддалі. Здебільшого орієнтація молекул в рідкому кристалі задається їхнім напрямком на поверхні. Оскільки, на панелях основи є борозни, то вони направляють молекули рідкого кристалу, надаючи їм певної орієнтації. Борозни двох

панелей основи перпендикулярні між собою. Неполяризоване світло від неонової лампи підсвічення заднього (або бокового) освітлення, проходячи через поляризатор (плівку) потрапляє на перше скло основи поляризованим. За відсутності напруги між двома прозорими електродами (знаходяться на поверхнях пластин субпіксела) рідкі кристали повертають площину поляризації світла на 90 градусів, внаслідок чого воно проходить через скло другої основи, кольоровий фільтр і вихідний поляризаційний фільтр не послаблюючись. Подача напруги між електродами приводить до повороту осей РК. Відбувається так званий перехід Фредерікса — явище переорієнтації молекул рідкого кристалу під дією електричного поля. У матеріалах із позитивною діелектричною анізотропією молекули намагатимуться повернутись вздовж напрямку електричного поля. У матеріалі з негативною діелектричною анізотропією — впоперек напрямку поля. Кут повороту при цьому залежатиме від напруги. Характерною особливістю рідких кристалів є те, що молекули переорієнтуються при дуже малому полі - достатньо напруги в декілька мілівольтів.

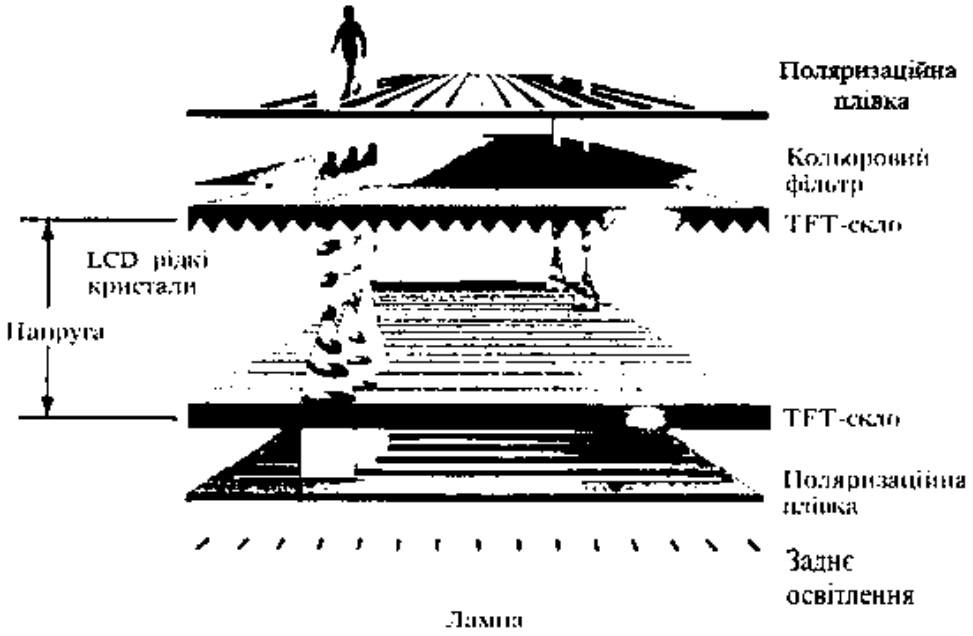


Рис. 6.10. Будова LCD - екрана

Отже, напруга, в залежності від величини, може змінювати орієнтацію головних осей РК - молекул, регулюючи інтенсивність світла на виході з другого поляризатора завдяки повороту площини поляризації світла. Регулювання електричної напруги між електродами субпіксела здійснює управляючий транзистор, найчастіше це - тонкоплівковий польовий транзистор TFT (англ.: Thin Film Transistor), на базі напівкристалічного кремнію.

Переваги: мале енергоспоживання, малі маса і товщина.

Недоліки: не дуже великий кут спостереження, великий час відгуку,

низька контрастність.

Порівняльні характеристики LCD, PDP і CRT представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметр	РК (LCD)	Плазма (PDP)	Кінескоп (CRT)
Принцип роботи	Управління світлом лампи підсвічування, яке проходить через шар рідких кристалів за рахунок зміни ними площини поляризації	Свічення люмінофора екрану під дією ультрафіолетових променів при розряді в плазмі	Свічення люмінофора екрану під дією електронного променя, який формується електронною гарматою
Ресурс роботи	60000 год.- лампа підсвічування; 250000 год. - робота екрану	25000 год.	25000 год.
Яскравість	від 170 до 500 cd/m^2 (кандела/$м^2$)	від 300 до 1000 cd/m^2	від 80 до 300 cd/m^2
Контрастність	від 150:1 до 600:1	від 200:1 до 3000:1	від 350:1 до 750:1
Кут огляду	від 10° до 170°	близький до 180°	близький до 180°
Час реакції піксела	від 15 до 50 мс	не помітно оку	не помітно оку
Дефекти екрану	допускаються	допускаються	ні
Якість фокусування	ідеальна	ідеальна	від задовільного до дуже доброго
Геометричні викривлення	ні	ні	можливі
Можливі роздільні здатності	встановлені	встановлені	різні
Однорідність свічення	незначно яскравіше по краям	рівномірне	незначно яскравіше в центрі
Вплив магнітних полів	ні	ні	Так

Температура корпусу під час роботи	незначна	висока	середня
Потужність, яка використовується	мала	велика	середня
Ціна для великих розмірів екрану	найбільша	висока, але менша РК	дешевша РК та плазми
Вага та габарити	менші плазми та кінескопа	більші РК та менші кінескопа	найбільші

6.1.7. LCD - проектори

Як варіант РК - монітора використовують LCD - проектори, які використовують LCD - матриці на просвітлення, як плівку в кіноапараті і LCOS - проектори, що використовують LCD - матриці на непрозорій кремнієвій основі на відбиття світла.

6.1.8. Світлодіодні екрани

Принцип дії світлодіодних екранів (англ.: LED - Light Emitted Diod): екран є матрицею пікселів, зібраних із трьох напівпровідникових світлодіодів, що формують три світлових потоки (червоний, зелений, синій). Як правило, кристали світлодіодів знаходяться в одному корпусі з лінзою, яка фокусує світловий потік.

Переваги: низьке і ефективне енергоспоживання, механічна міцність, надійність, великий кут спостереження (до 160 градусів), висока швидкодія, волого - і пилостійкість.

6.1.9. Дисплеї на органічних світлодіодах

Принцип роботи дисплеїв на органічних світлодіодах (англ.: OLED - Organic Light Emitting Diode/Organic Light Emitting Display) базується на властивостях світловипромінювальних полімерів, які складаються з декількох шарів наноплівок. Основою для провідних електролюмінісцентних полімерів цих матеріалів є високомолекулярні сполуки, в яких чергуються подвійні зв’язки. Для звільнення електронів застосовуються різноманітні суміші, що створюють можливість переміщення електронів і дірок вздовж молекулярного ланцюга. Такі матеріали мають всі властивості неорганічних напівпровідників, тобто утворювати p-n - перехід і, за певних умов, випромінювати світло. Перевагою над неорганічними напівпровідникам и технології OLED є можливість в широких межах змінювати спектр випромінювання (видимий діапазон) шляхом зміни структури органічних молекул. OLED - екран - це матриця трикоміркових пікселів. В залежності від того, який колір потрібно отримати, регулюється напруга на кожному із субпікселів, і в результаті змішування кольорів отримується необхідний колір. Структура OLED - екрана багатошарова (див. рис. 6.11).

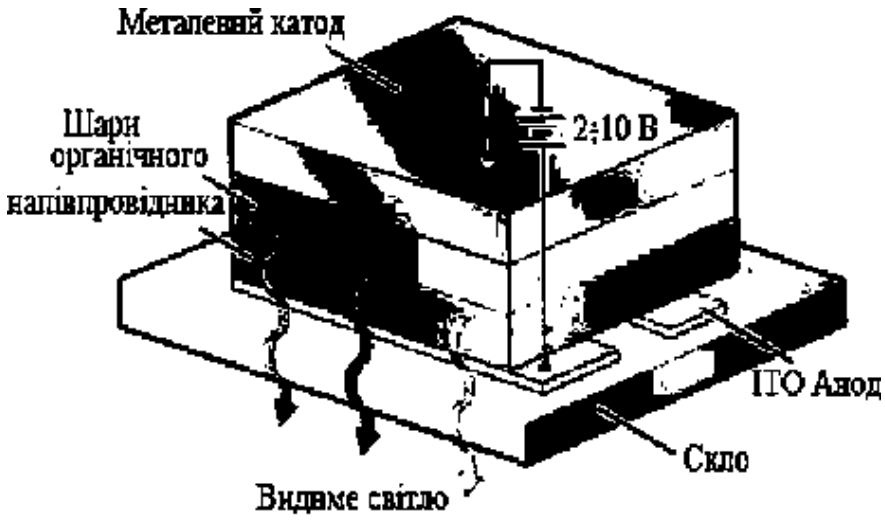


Рис. 6.11. Будова OLED - екрана

Позаду панелі знаходиться металевий катод, попереду - анод (сітка із прозорого провідного матеріалу індій-оксид олова - ІТО). Між ними знаходиться декілька органічних шарів світло діода. Один шар - р- типу (див. рис. 6.12), другий є напівпровідниковим каналом дірок, у третьому відбувається заміщення дірок електронами, яке в даних полімерах супроводжується світловим випромінюваннях, четвертий є напівпровідниковим каналом електронів, п’ятий - n- типу. Катод виготовлений з тонкого металевого сплаву з малою роботою виходу (алюміній покритий фторидом літію).

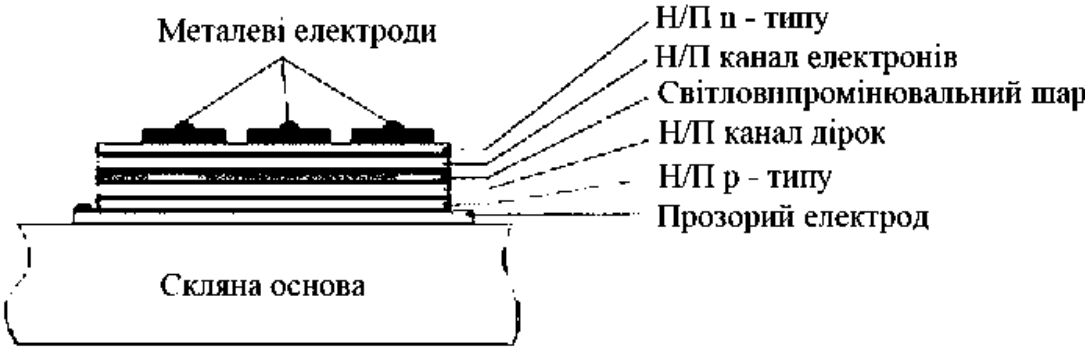


Рис. 6.12. Структура OLED - екрана

Управління OLED - матрицею відбувається аналогічно LCD - матриці за допомогою TFT - транзистора.

В якості основи екрану можна використовувати гнучкий прозорий пластик, що дозволяє створювати гнучкі екрани. При створенні OLED - екранів застосовуються два види органічних сполук: макромолекули і полімери. Першими з’явились OLED - дисплеї на основі макромолекул, проте технологія виготовлення була занадто дорогою (застосовувалось вакуумне напилювання).

Перші полімерні дисплеї були створені у 1989 році на основі синтезованого полімера - поліфеніленвінілена. Дисплеї цього типу можуть бути отримані шляхом нанесення полімерного матеріалу на основу спеціальним струменевим принтером. Основа може бути гнучкою з радіусом вигину менше 1 см.

Переваги: низьке енергоспоживання, відсутність додаткової підсвітки екрану, висока контрастність і частота регенерації зображення, великі кути спостереження, малий час відгуку, робоча напруга - всього декілька вольт, малі маса і товщина, можливість створення гнучких екранів, невисока вартість при масовому виробництві.

6.2. Проектори

6.2.1. Мікроелектромеханічні системи

Мікроелектромеханічні системи (англ.: MEMS Micro Electromechanical System).

6.2.1.1. Мікродзеркальні проектори

Мікродзеркальний проектор (англ.: DLP - Digital Light Processing - цифрова обробка світла). Основою даних відеопроекторів є DMD - матриця (англ.: Digital Micromirror Device), яка складається з мікродзеркал (див. рис. 6.13).

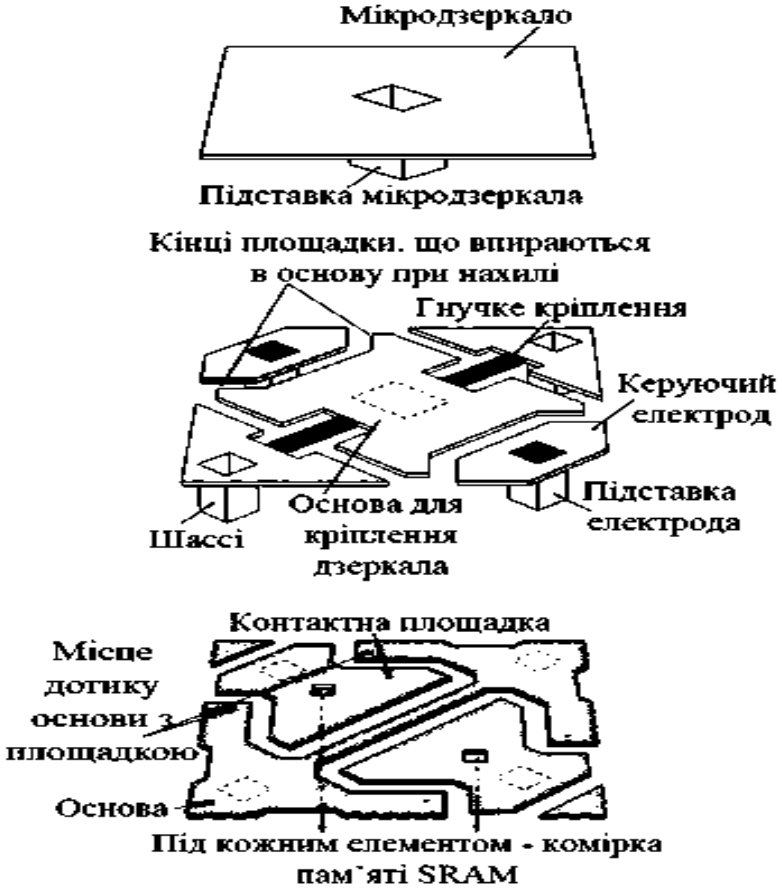


Рис. 6.13. DMD - матриця проектора

Матриця послідовно освітлюється трьома основними кольорами і працює на відбивання світла. DMD - матриця - це кремнієва пластина, розміром близько 1см^2, з розміщеними на поверхні елементами для відбивання світла. Кожен такий елемент (алюмінієве дзеркало розміром приблизно 10 мкм^2) під управлінням електронної схеми може займати два фіксованих положення. В одному – світло направляється на екран для створення зображення, в іншому - на світлопоглинач. Дзеркало знаходиться на відносно масивній основі, яка, в свою чергу, знаходиться на гнучкій, натягнутій між опорами, смужці- підвісі. В двох інших кутах основи (не зайнятих опорами) знаходяться електроди, які за рахунок кулонівських сил можуть притягувати один край дзеркала, нахиляючи його на кут до 12 градусів

Положення дзеркал відповідає темному і світлому пікселам. На рис. 6.14 показано положення одного дзеркала в „темному", а іншого в „світлому" станах. Щоб добавити відтінки сірого кольору, дзеркала примушують коливатись з різними частотами. Це дозволяє досягти 1024 градації сірого кольору.

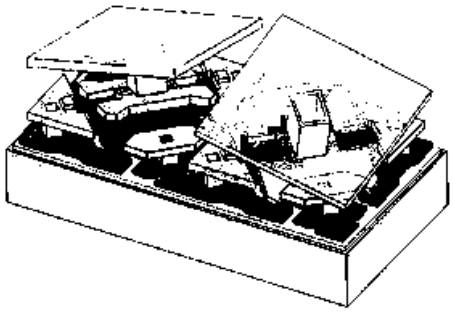


Рис. 6.14. Коливання мікродзеркал проектора

Для забезпечення кольорового зображення на DMD - матрицю направляється біле світло через колесо кольорових світлофільтрів, яке обертається (див. рис. 6.15).

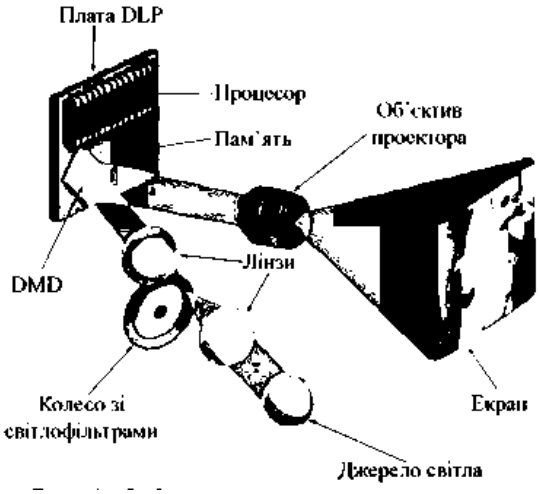


Рис. 6.15. Схема створення зображення проектором

Переваги: компактність, якісне відтворення чорних відтінків.

Недоліки: мала насиченість кольорового зображення.

6.2.1.2. Проектори на основі технології TMA

Як модифікація мікродзеркальних проекторів існують проектори, в яких застосовується технологія TMA (англ.: Thin film Micromirror Array - масив тонкоплівкових мікродзеркал). У ній відхилення дзеркал здійснюється не електростатичним, а п’єзоелектричним способом.

6.2.1.3. Проектори на основі GLV - технології

GLV - технологія (англ.: Grating Light Valve - мікромеханічна фазова решітка).

Головним елементом оптичного шляху GLV - технології є кремнієвий чіп, з закріпленими на ньому паралельними стрічками з нітриду кремнію, які покриті світловідбиваючим шаром алюмінію. Кожна стрічка має довжину 100 мм, ширину - 3 мм і товщину 3 фм. Стрічки знаходяться над чіпом на висоті 650 нм. У вимкненому стані всі стрічки одного чіпа знаходяться в одній площині, утворюючи одну суцільну дзеркальну поверхню. Вони відбивають направлений на них плоский пучок когерентного світла на екран у вигляді однієї білої смужки. Отримуючи заряд від керуючого пристрою стрічки з парними номерами деформуються і притягуються до протилежно зарядженої основи, а стрічки з непарними номерами не деформуються, оскільки електрично з’єднані з основою (див. рис. 6.16). При деформації парних стрічок на чверть довжини хвилі, відбите від поверхонь когерентне випромінювання буде зазнавати інтерференції, причому буде виконуватись умова мінімуму для інтерференції у відбитому світлі.

Рис. 6.16. Мікромеханічна фазова решітка

Рис. 6.17. Чіп GLV – технології

На екрані буде спостерігатись темна смужка. На рис. 6.17 показаний чіп,

який формує один темний піксел. Вибіркове керування зарядами стрічок дає можливість встановлювати бажану яскравість кожного окремого піксела.

Переваги: довговічність, висока швидкість, відсутність зернистості зображення.

6.2.1.4. Проектори на основі технології IMOD

Технологія IMOD (англ.: Reflective Interferometric Modulation - відбиваючий інтерференційної модулятор). Кожний піксел IMOD - матриці є інтерференційним модулятором. Він складається з двох елементів: напівпрозорої плівки на скляній основі і розміщеній під нею відбиваючої мембрани, яка може знаходитись в двох станах: відкритому і закритому. В вимкненому стані мембрана дотикаючись до плівки повністю закриває піксел. При подачі напруги мембрана зміщується на задану відстань від основи і між плівкою і мембраною утворюється невеликий прошарок повітря. Світло, відбите від мембрани проходить назад через плівку, інтерферуючи з падаючим. Змінюючи товщину повітряного прошарку можна формувати будь-який колір піксела. Чорний колір формується при закритому стані елемента (див. рис. 6.18).

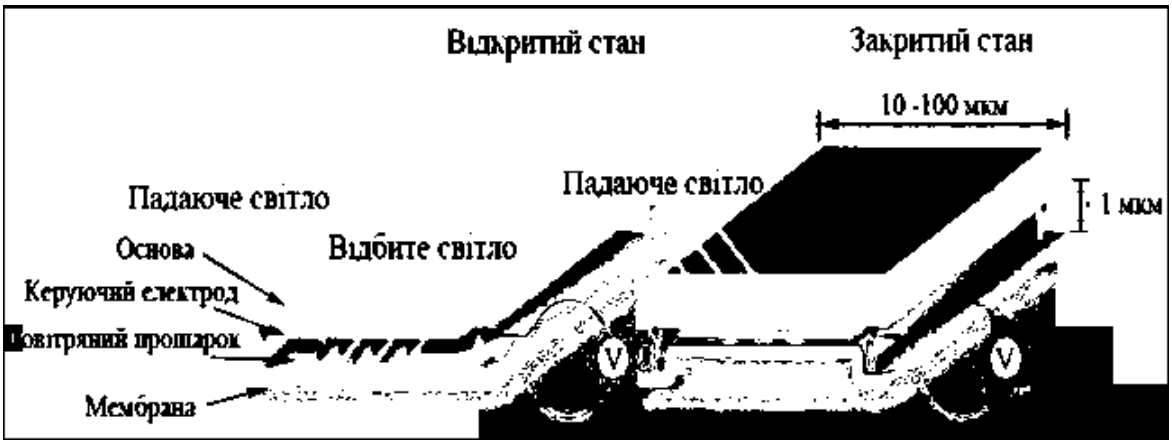


Рис. 6.18. Піксел IMOD – матриці

Переваги: довговічність, мале енергоспоживання, висока швидкість, відсутність зернистості зображення.

6.3. Електронний папір

Електронний папір (англ.: electronic ink display, EID, електронне чорнило) на відміну від моніторів не випромінює світло, а формує зображення у відбитому світлі (так само як у друкованих виданнях).

Вперше таку технологію (технологія E-Ink) було застосовано у 1997 році в Масачусетському технологічному інституті. Головним елементом електронного паперу є мікрокапсули розміром до 0,1 мм, в яких знаходиться деяка кількість частинок пігменту двох кольорів (див. рис. 6.19).

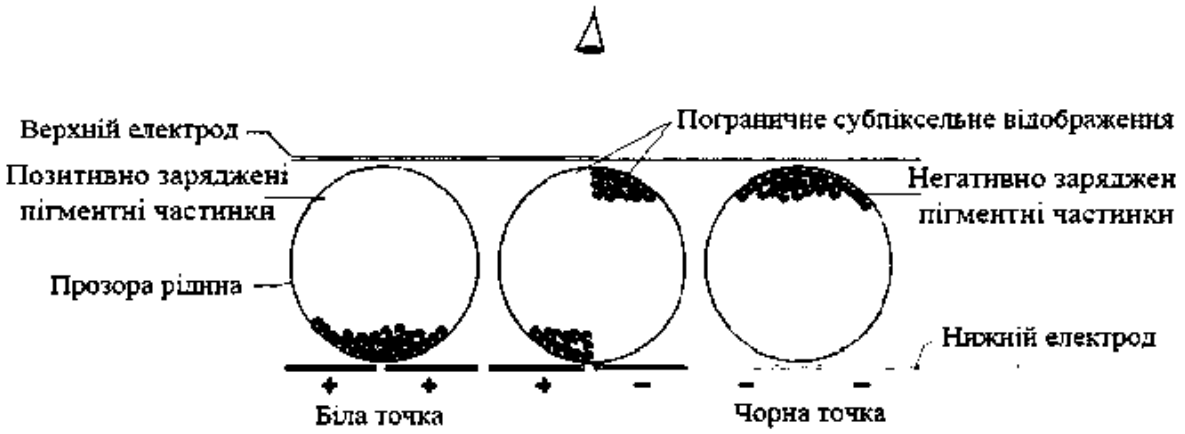


Рис. 6.19. Піксели електронного паперу

Білі частинки (двоокис титану) заряджені позитивно, а чорні (фарба) - негативно. Частинки пігменту вільно плавають в рідині. Такі мікрогранули знаходяться між двома електродами, прозорим верхнім і непрозорим нижнім. При прикладенні до електродів відповідної напруги, одні частинки пігменту можуть підніматись всередині мікрокапсули, а інші опускатись і навпаки. Керуючи зміною полярності можна формувати написи і малюнки чорного кольору на поверхні електронного паперу (див рис. 6.20.).

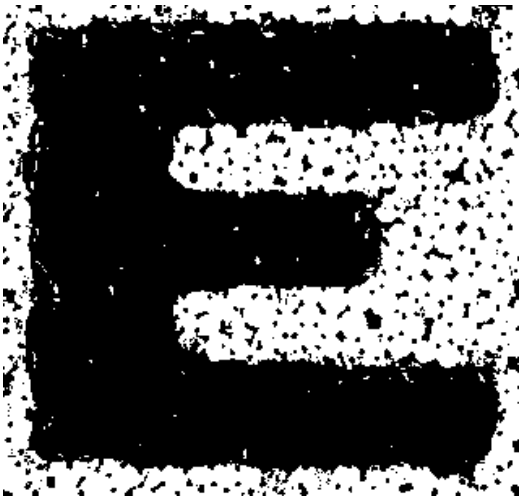


Рис. 6.20. Зображення на електронному папері

Завдяки силам міжмолекулярної взаємодії, а також силам електростатичного притягання і відштовхування часточки суспензії не можуть змінити своє положення в мікрокапсулах. Це означає, що сформовані на поверхні паперу зображення зберігаються і при відсутності електроживлення.

Переваги:

1. Велика стабільність частинок пігменту в мікрокапсулах (зображення може зберігатись декілька тижнів);
2. Мале енергоспоживання;
3. Мала вага;

6. Мала товщина (частини міліметра);

5. Велика ударостійкість;

6. Гнучкість (в робочому стані може бути скрученим в трубку діаметром до 1,5 см без втрати якості зображення);

7. Великий кут огляду (близько 180 градусів);

8. Довговічність;

9. Дешевизна при масовому виробництві.

Недоліки:

1. Інерційність (близько 250 мс, що відповідає зміні приблизно 4 кадрів в секунду);

2. Неможливість зображення великої кількості відтінків сірого кольору (до восьми).

3. Якщо використовувати EID в якості дисплея, то його яскравість, контраст і світлопередача дуже залежить від умов зовнішнього освітлення (як і у звичайного паперу).

6.3.1. Електронний папір на основі технології Gyricon

Як різновид технології E-Ink можна виділити технологію Gyricon розроблену ще у 1970 році Н. Шеридоном (США).

Сторінкою „паперу" Gyricon є прозорий лист пластика, запаяного зі всіх сторін, з масивом декількох мільйонів кулястих порожнин всередині. Кожна порожнина заповнена рідиною з консистенцією рідкого масла, в якій вільно плаває, на відміну від технології E-Ink, лише одна двокольорова кулька діаметром від 20 до 100 мкм. Одна сторона кульки темна, інша - світла (колір не важливий, головне - досягти контрастності) (див. рис. 6.21).

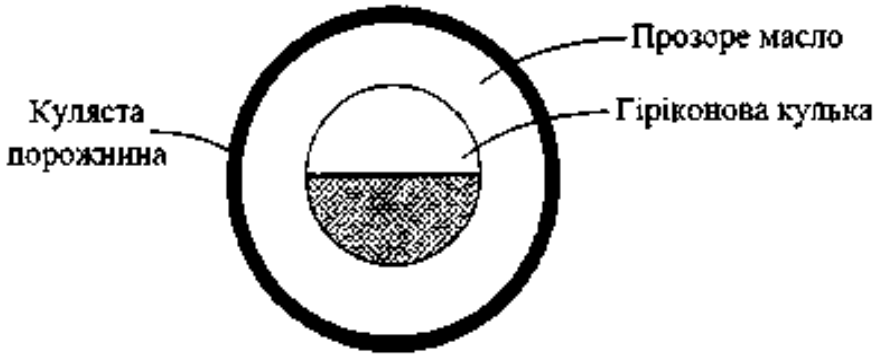


Рис. 6.21. Кулька зображення в технології Gyricon

Кожна із половинок кулі заряджена різнополярним зарядом. Керуючи потенціалами на електродах, кульку можна повернути до поверхні екрана світлою, або темною стороною і сформувати контрастну картинку (див. рис. 6.22).

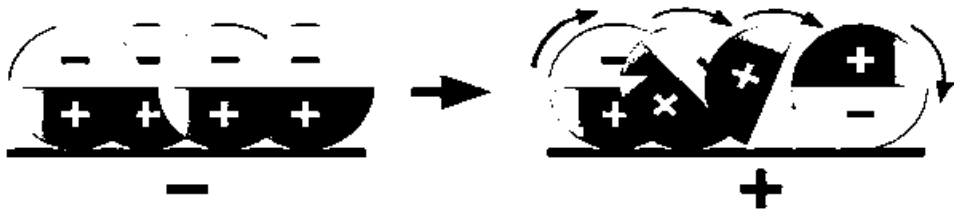


Рис. 6.22. Формування зображення за допомогою технології Gyricon

6.3.2. Електронний папір на основі технології електрозмочування

Ще одна технологія електронного паперу - технологія електрозмочування (англ.: electrowetting). Інша назва - технологія HEOS. Вона з'явилася у 2003 році. Ефект „електричного змочування" базується на керуванні краплиною масляної фарби, яка знаходиться в мікрокапсулі, заповненій водою (див. рис. 6.23). Кожна з мікрокапсул є одним пікселем електронного паперу. В звичайних умовах краплина масла розтікається по всій поверхні комірки, утворюючи під дією сил поверхневого натягу плівку на воді. Якщо створити між електродами електричне поле достатньої величини, масло почне збиратись в краплину, звільняючи при цьому більшу частину поверхні. Основа- електрод виготовляється з водовідштовхуючого матеріалу, тому масло прилипає до неї, а після зникнення напруги, знову розтікається по поверхні. Мікрокапсули розділені перегородками товщиною близько 5 мкм, а зверху вся конструкція герметично закрита шаром скла з напиленим на нього електродом (поки що це одна з причин жорсткості дисплея).

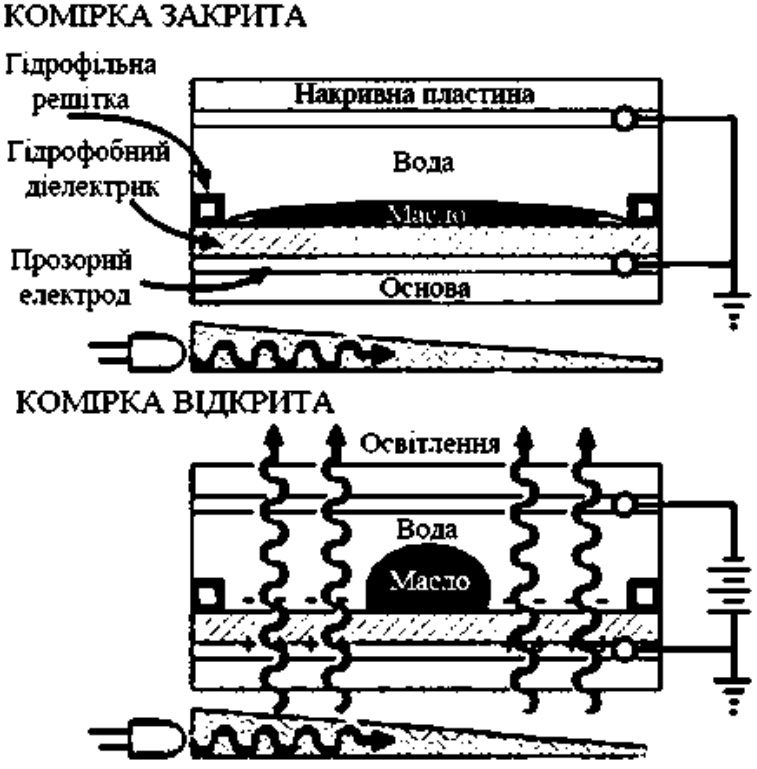


Рис. 6.23. Електронний папір на основі технології HEOS

Малий розмір піксела дозволяє отримати високі контрастність і яскравість елементів, які перемикаються. Час перемикання між білим і кольоровим пікселами (швидкодія) становить приблизно 12 мс, тому такий „папір” можна застосовувати для відеозображень. Товщина і енергоспоживання таких дисплеїв також невеликі. Таким чином, технологія електрозмочування дозволяє створювати повноцінні дисплеї високої яскравості (у чотири рази вищої ніж у РК - дисплеїв відбивного типу і в два рази - ніж у нових дисплеїв на застосуванні інших фізичних принципів).

Існує декілька модифікацій реалізації мікрокапсули. Одна з них зображена на рис. 6.23 - з підсвіченою прозорою основою.

Такі дисплеї використовуються в mp-3 плеєрах, телефонах, DVD-плеєрах, GPS - приймачах та інших подібних пристроях.

6.3.3. Електронний папір на основі нанотехнологій

Ця технологія запропонована ірландською компанією Ntera, яка представляє свій продукт під назвою NanoChromics Display (NCD). Зображення, яке формується на дисплеї, подібне малюнку чорнилом на папері. Кут огляду для даного екрану складає 180 градусів, а швидкість відгуку може забезпечити частоту 60 кадрів за секунду. Енергоживлення NCD - екрана складає лише 10% від живлення РК - дисплея такого ж розміру. Робоча напруга NCD не перевищує 1В.

Для відображення висококонтрастної картинки на дисплеї використовують властивість електрохромних провідних полімерних з’єднань змінювати свої оптичні характеристики (в тому числі і колір) при зміні рівня окислення. Якщо цей рівень регулюється потенціалом електрода, на який нанесений цей полімер, то оптичними характеристиками полімеру можна керувати за допомогою електричного сигналу (електрохромний ефект). В NCD - екранах на тонкий шар наночастинок діоксиду титану (хімічна сполука, яка надає паперу білого кольору) наноситься прозорий полімер - віологен з нанопористою структурою, який при зміні прикладеного до нього потенціалу може втрачати прозорість, досягаючи при цьому рівня насиченого чорного кольору. Простір між діоксидом титану і віологеном заповнений спеціальним електролітом.

Принцип роботи дисплея NanoChromics представлений на рис. 6.24.

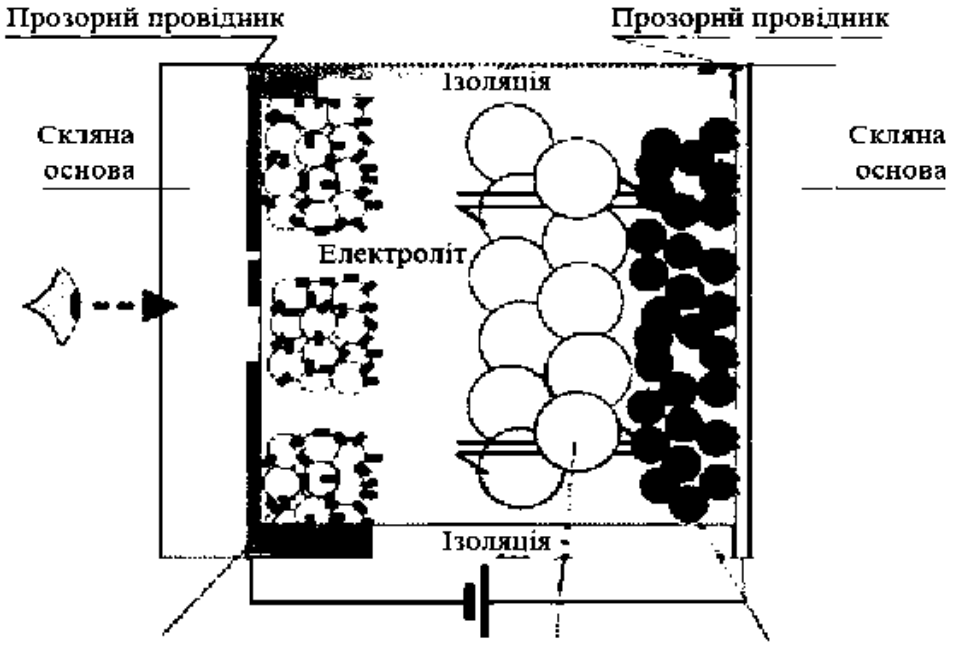


Рис. 6.24. Принцип роботи NCD - екрана

Екран складається із декількох шарів, два із яких формують зображення: зовнішній - із наночастинок діоксиду титану і електро-хромного шару віологену. При відсутності потенціалу між прозорими електродами екран виглядає абсолютно білим, оскільки світло відбивається від наночастинок діоксиду титану. При подачі напруги на електроди віологен зміщується ближче до діоксиду титану, адсорбується ним і зафарбовується в близький до чорного колір. Це дає можливість змінювати колір екрану.

На сьогодні випускаються тільки монохромні дисплеї, але ведуться інтенсивні роботи по створенню кольорових дисплеїв. Ще однією перевагою даної технології є незалежність від температури. Пристрої можуть ефективно працювати в температурному діапазоні від -35 до +80 градусів за Цельсієм.

6.3.4. Електронний папір на основі електрофлюїдної технології

Електрофлюїдна технологія (англ.: ElectroFluidic Display, EFD). Для формування зображення використовуються мініконтейнери з електрочутливою водною дисперсією кольорового пігменту. При прикладенні напруги між двома електродами пігмент виливається з контейнера і прилипає до поверхні піксела. При зміні полярності напруги фарба ховається назад. Оскільки видима площа контейнера не перевищує 5% площі піксела, то в ньому вона майже не помітна (див. рис. 6.25).

Діаметр такого піксела становить 300 мкм, при товщині 15 мкм.

Рис. 6.25. Електронний папір на основі електрофлюїдної технології

6.4. Інші пристрої виведення інформації на екран

Існує багато інших пристроїв виведення інформації на екран:

1. Оверхед-проектори: (кодоскопи, графопроектори);
2. Документ-камери;
3. Інтерактивні дошки;
4. Лазерні проектори.

Одні з них втратили актуальність, а вивчення інших не передбачено програмою даного курсу.

6.5. Принтери

Завдання виведення інформації, представленої в графічній формі, виникло одночасно з появою обчислювальних систем. Пристрої, що виконують функції виведення графічної інформації на паперовий та деякі інші носії, називаються принтерами (англ.: print - друк). Розглянемо основні технології принтерів, переваги та недоліки різних типів принтерів та деякі їх характеристики. Характеристиками, які визначають переваги одних принтерів над іншими є:

1. Швидкість друку. Одиницею виміру швидкості друку є число знаків, які принтер переносить на папір за одну секунду, - cps (з англ. characters per second).

2. Об’єм пам’яті. Визначається внутрішньою пам’яттю принтера (буфером), в якій зберігаються дані, отримані від комп’ютера.

3. Рівень шуму в режимі друку.

4. Роздільна здатність, яка визначається кількістю точок, які друкуються на одному дюймі довжини (з англ. dots per inch, dpi).

Крім того, для матричних принтерів істотну роль відіграють і інші чинники: точність позиціювання головки принтера, частота ударів голок, якість фарбувальної стрічки тощо.

За фізичним принципом роботи (див. рис. 6.26) принтери поділяються на різні типи.

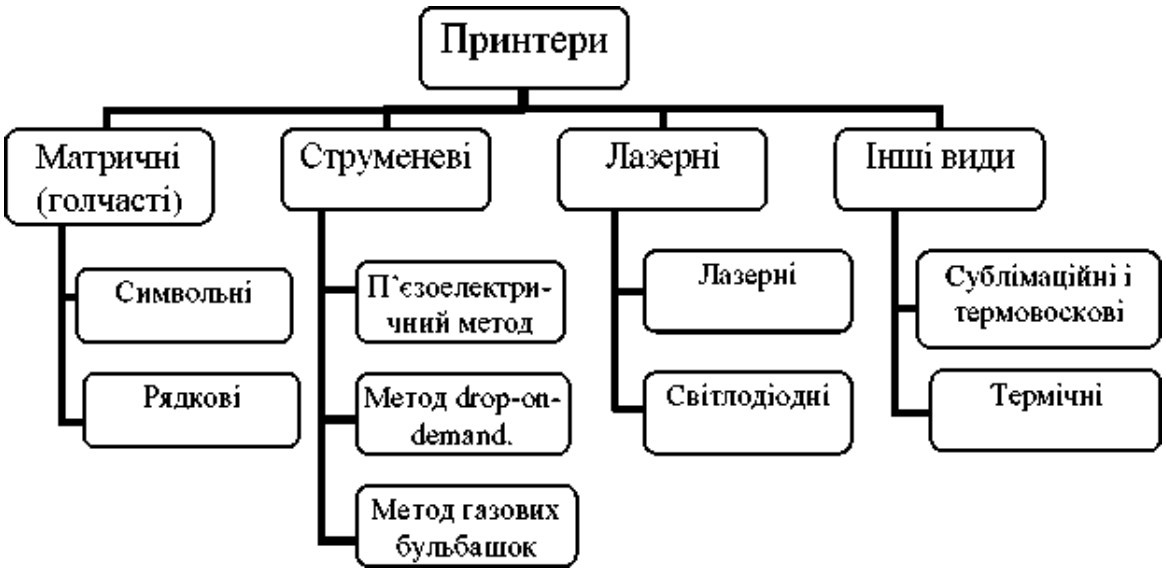


Рис.6.26. Класифікація принтерів

6.5.1. Матричні (голчасті) принтери

Голчасті (матричні) принтери (англ.: Dot Matrix Printer) довгий час використовувалися як стандартні пристрої виведення даних з комп'ютера. Вони часто застосовуються і сьогодні. Переваги цих принтерів визначаються, в першу чергу, їх невибагливістю до якості паперу, а також низькою вартістю друку і можливістю одночасного друку декількох копій.

На відміну від типового або „головкового" принтера, в якому встановлюються різні типи знаків (букви, цифри, розділові знаки - як у типографських машинах), голчастий принтер формує знаки декількома голками, розташованими в головці принтера. Механіка подачі паперу загалом мало змінилася - папір втягується за допомогою валу; між папером і головкою принтера розташовується фарбувальна стрічка. При ударі голки по цій стрічці на папері залишається слід фарби. Голки, які розташовані всередині головки, приводяться в дію електромагнітами. Головка переміщується по горизонтальним направляючим за допомогою крокового двигуна.

В перших голчастих принтерах в головці принтера знаходилося 9 голок, потім з'явилися 18-голкові принтери. Нині більшість фірм- виробників перейшли на виробництво 24-голкових принтерів, де використовується технологія послідовного розташування голок в два ряди по 12 голок.

Завдяки горизонтальному руху головки принтера і. активізації окремих голок надрукований знак утворює матрицю, причому окремі букви, цифри і знаки записані в пам'ять принтера (ПЗП) у вигляді бінарних кодів. Тому головка принтера „знає", які голки і в яких комбінаціях необхідно активізувати, щоб, наприклад, створити за 10 кроків головки букву „К" (див. рис. 6.27).

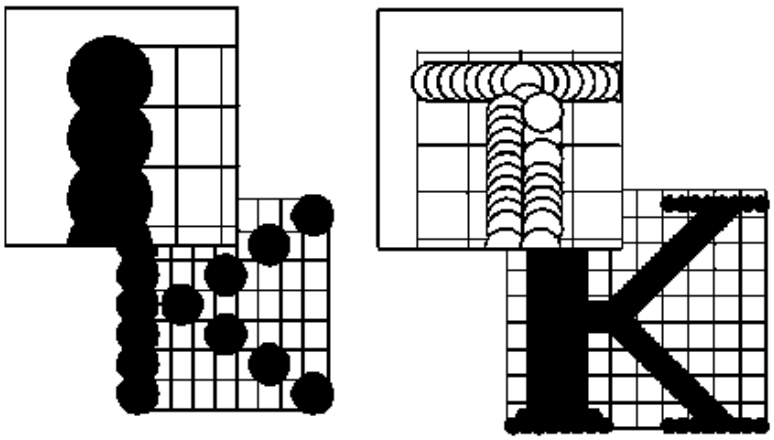


Рис. 6.27. Матриця для букви „К” в залежності від кількості голок в головці принтера і режиму

Оскільки надруковані знаки зовні є матрицею, а відтворює цю матрицю голчастий принтер, то часто його називають матричним принтером.

Переваги: невибагливість до якості паперу; друк на нестандартному папері; простота та надійність; можливість друку під копірку; дешевизна витратних матеріалів.

Недоліки: не друкують графіку; високий рівень шуму; низька швидкість друку; низька якість друку (150 dpi); монохромний друк.

6.5.2. Рядкові принтери

Як варіант голчастого принтера було запропоновано рядковий принтер. У нього відсутня головка, але є друкуюча планка, яка по всій довжині забезпечена голками. Під час друку зображення, матриця, яка відповідає рядку, повністю переноситься на папір.

Істотно зростає швидкість друку, оскільки головка принтера не рухатися і рядок друкується одночасно. Такі принтери випускаються фірмами Genicom і Dataproducts. Швидкість друку досягає 1500 рядків за хвилину (приблизно 20 сторінок формату А4 за хвилину).

6.5.3. Кольорові голчасті принтери

Порівняно невелика кількість голчастих принтерів має можливість кольорового друку. Це пояснюється тим, що до моменту появи на ринку перших моделей 24-голкових принтерів, здатних друкувати кольорові зображення, ціна на кольорові струменеві принтери вже істотно знизилася. А якість друку 24- голкового принтера за допомогою багатокольорової фарбувальної стрічки суттєво гірша в порівнянні з якістю друку на струменевому принтері.

6.5.4. Струменеві принтери

Якість друку струменевого принтера (англ.: Ink Jet) не поступається якості друку лазерних принтерів. Ці принтери прості в обслуговуванні, мають

низький рівень шуму, тому вони широко використовуються в домашніх умовах.

У струменевих принтерах для формування зображення використовуються спеціальні сопла, через які на папір подається фарба. Тонкі сопла знаходяться на головці принтера, де встановлений резервуар з рідкою фарбою, яка у вигляді мікрокрапель переноситься через сопла на матеріал носія. Число сопел залежить від моделі принтера та його виробника і складає від 16 до 64 сопел. Деякі моделі мають набагато більше число сопел, наприклад, головка принтера Deskjet 1600 має 300 сопел для чорної фарби і 416 - для кольорових.

Зберігання фарби в принтері здійснюється двома способами:

1. головка принтера є складовою частиною патрона з фарбою, заміна патрона з фарбою є одночасною із заміною головки;
2. використовується окремий змінний резервуар, який через систему капілярів забезпечує фарбою головку принтера.

Фірми-виробники реалізують різні способи нанесення фарби на папір:

1. П’єзоелектричний метод;
2. Метод газових бульбашок;
3. Метод drop-on- demand.

П’єзоелектричний метод. Для реалізації цього методу в кожне сопло встановлюється плоский п'єзокристал, який приклеюється до діафрагми (див. рис. 6.28). Під дією електричного поля п’єзоелемент деформується. Стискаючи і розтягуючи трубку він наповнює капілярну систему фарбою. Фарба, яка відтискається назад, перетікає в резервуар, а фарба, яка „витіснилася” назовні, залишає на папері точку.

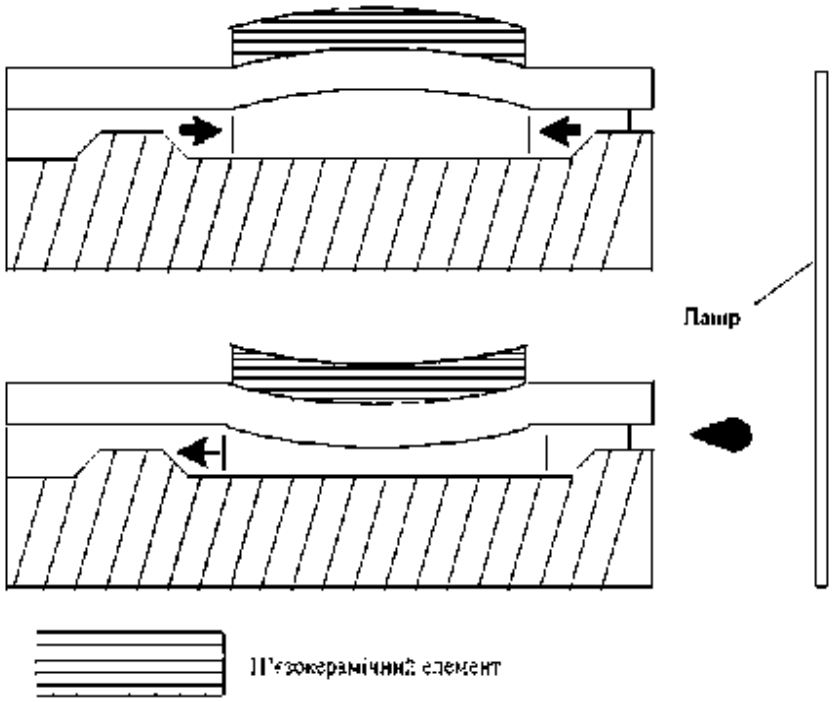


Рис. 6.28. Подача фарби через сопло п'єзоелементом

Подібні пристрої випускають компанії Epson, Brother та ін.

Метод газових бульбашок. Цей спосіб базується на термічному методі і більше відомий під назвою Bubblejet (інжектовані бульбашки). При використанні методу кожне сопло принтера обладнане нагрівальним елементом, який при пропусканні через нього струму за декілька мікросекунд нагрівається до температури близько 500 °С (див. рис. 6.29). Газові бульбашки (bubbles), що виникають при різкому нагріванні, виштовхують через вихідний отвір сопла порцію (краплю) рідкої фарби, яка переноситься на папір. При відклю ченні струму нагрівальний елемент охолоджується, бульбашка пари зменшується і через вхідний отвір в сопло поступає нова порція фарби. Подібну технологію використовує фірма Canon.

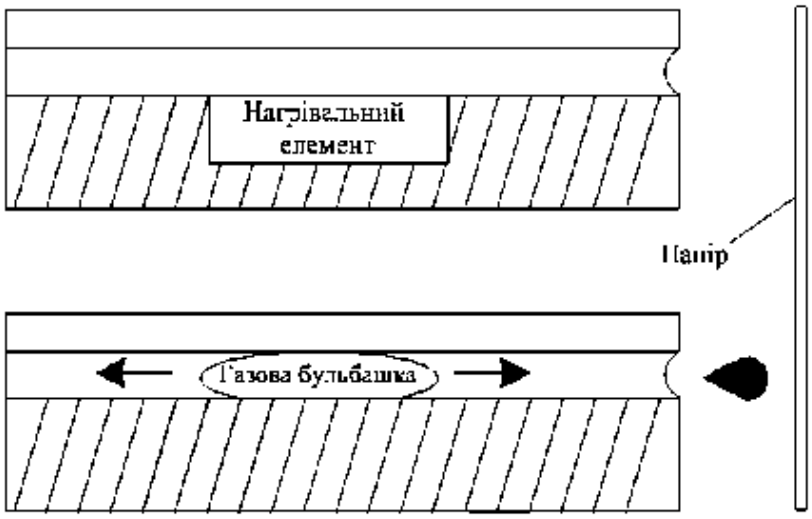


Рис. 6.29. Подача фарби за допомогою газових бульбашок

Завдяки тому, що в механізмах друку, реалізованих з використанням методу газових бульбашок, менше конструктивних елементів, такі принтери надійніші в роботі і термін їх експлуатації триваліший. Крім того, використання цієї технології дозволяє добитися високої роздільної здатності принтерів. Хоча даний метод забезпечує високу якість, він має недоліки при друці областей суцільного заповнення: вони виходять дещо розпливчастими.

Застосування методу газових бульбашок доцільне при друці графіків, гістограм і т. п., тоді як друк напівтонових графічних зображень виходить якіснішим при використанні методу drop-on- demand.

Метод drop-on-demand. Цей метод розроблений фірмою Hewlett-Packard. Подібно до методу газових бульбашок, при подачі фарби із резервуару на папір використовується нагрівальний елемент. При цьому додатково використовується спеціальний механізм (див. рис. 6.30).

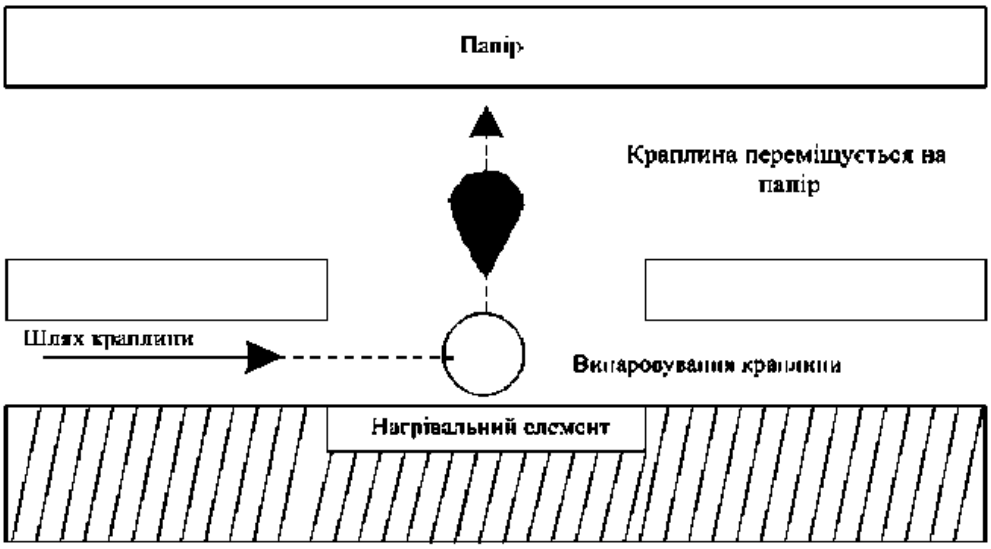


Рис. 6.30. Подача фарби за методом drop-on-demand

6.5.6. Кольорові струменеві принтери

Здатність струменевих принтерів створювати кольорове зображення сприяла їх широкому застосуванню. Кольоровий друк за допомогою голчастих принтерів не забезпечує бажаної якості. Використання для цієї мети інших типів принтерів, лазерних або термічних, обмежене для загалу користувачів через відносно високу вартість. Тому застосування кольорових струменевих принтерів є недорогою, але все ж якісною альтернативою.

При друці звичайне кольорове зображення формується накладанням трьох основних друкарських кольорів: блакитного, пурпурного і жовтого. Теоретично, накладання цих кольорів повинне створювати зображення чорного кольору. На практиці в більшості випадків отримують зображення сірого або коричневого кольору. Тому четвертим основним кольором використовують чорний. Таку колірну модель називають CMYK.

З цієї причини в нових моделях струменевих принтерів застосовується не три, а чотири кольорові патрони для створення кольору (додають додатковий патрон з чорнилом чорного кольору). Завдяки цьому з’явилася можливість широкого використання таких принтерів для звичайного друку текстів і чорно-білих графічних зображень з одночасною економією кольорової фарби.

Переваги:

1. Рівень шуму складає близько 40 дБ, що на 15 дБ менше ніж у голкових принтерів;

2. При чорновому друці (англ.: Draft Mode) струменевий принтер має значно більшу швидкодію ніж голковий;

3. Вирішальна перевага струменевого принтера, в порівнянні з матричним полягає в зображенні шрифту. Для моделей з великим числом сопел характерне досягнення параметрів якості лазерного принтера.

Недоліки:

1. На відміну від голчастого принтера не може використовувати

рулонний папір;

2. При друці з підвищеною якістю (L) швидкість друку значно менша ніж у голкового принтера;

3. Важливим недоліком струменевого принтера є небезпека засихання фарби всередині сопла;

4. Низька економічність, витрати на фарбу при тривалому використанні перевищують вартість пристрою;

5. Низька ємність картриджів;

6. Вимогливість до паперу;

7. Низька стійкість відбитків (швидко вицвітають та змиваються);

8. Відносно низька надійність.

6.5.7. Термічні принтери

Технологія термічних принтерів базується на використанні механізму друку факсимільних апаратів. Фактично більшість термічних принтерів працюють як факсимільні апарати. Головка друку термічного принтера конструктивно подібна аналогічному вузлу матричного принтера. Для таких принтерів необхідний папір із спеціальним термочутливим покриттям. Керовані електричним струмом голки нагрівають папір, залишаючи на ньому відмітки.

Завдяки чіткості графіки і тонових зображень при оформленні проектно-конструкторської документації технологія прямого перенесення знайшла широке застосування в проектно- конструкторських і науково-дослідних роботах. Ця технологія також застосовується в широкоформатних графопобудівниках (англ.: plotter, плотер), що дозволяють друкувати зображення шириною 36 дюймів.

6.5.8. Сублімаційні та термовоскові принтери

Для отримання кольорового зображення з якістю, близькою до фотографічного, або для виготовлення допечатних кольорових проб використовують сублімаційні і термовоскові принтери (кольорові принтери високого класу). Є принтери, які поєднують в собі технологію сублімаційного і термовоскового друку. Такі принтери дозволяють друкувати на одному пристрої як чорнові, так і чистові відтиски.

Загальним для сублімаційної і термовоскової технологій є нагрів барвника і перенесення його на папір (плівку) в рідкій або газоподібній фазі. Багатоколірний барвник, як правило, нанесений на тонку лавсанову плівку товщиною 5 мкм. Плівка переміщується за допомогою стрічкопротяжного механізму, який конструктивно схожий на аналогічний вузол голкового принтера. Матриця нагрівних елементів за 3 - 4 проходи формує кольорове зображення.

Відмінність термовоскового друку від сублімаційного полягає в тому, що в першому випадку плівка покривається воскоподібною мастикою, а в другому - спеціальним барвником. Термовоскові принтери, нагріваючи стрічку з кольоровим воском, переносять розчинений у воску барвник на

папір. Як правило, для подібних принтерів необхідний папір із спеціальним покриттям. Термовоскові принтери зазвичай використовуються для друку ділової графіки.

При сублімаційному друці здійснюється переведення фарбника в газоподібний стан шляхом нагрівання стрічки. Цей газ потім поглинається полістирольним покриттям спеціального паперу.

Дифузійне перенесення фарбника забезпечує отримання високоякісного кольорового зображення без видимих тональних переходів. Будучи однією з найпрогресивніших технологій кольорового друку, кольорова сублімаційна технологія є ідеальним засобом забезпечення фотографічної якості зображення.

6.5.9. Лазерні технології друку

Домінуючими для лазерних принтерів є електрофотографічна та світлодіодна (англ.: LED, Light Emitting Diode) технології. Електрофотографічна технологія подібна до технології, яка використовується в копіювальних апаратах. У світлодіодній технології в якості оптичного пристрою, що формує зображення, використовуються світлодіоди (історично світлодіодні принтери відносяться до класу лазерних). Світлодіодна технологія, як правило, застосовується в широкоформатних принтерах (до 36 дюймів). Електрофотографічна технологія використовується в настільних і офісних лазерних принтерах. Лазерні принтери (англ.: Laser Jet) формують зображення шляхом позиціювання точок на папері (растровий метод). Спочатку сторінка формується в пам’яті принтера і лише потім передається в механізм друку. Растрове представлення символів і графічних образів здійснюється під управлінням контролера принтера. Кожний образ формується шляхом відповідного розташування точок у комірках матриці.

Найпоширеніші лазерні принтери використовують технологію фотокопіювання, яку називають ще електрофотографічною. Вона полягає в точному позиціюванні точки на сторінці за допомогою зміни електричного заряду на спеціальній плівці з фотопровідного напівпровідника. Подібна технологія друку застосовується в ксероксах. Принтери фірм HP і MS, наприклад, використовують механізм друку ксероксів фірми Canon. Найважливішим конструктивним елементом лазерного принтера є обертовий фотобарабан, за допомогою якого відбувається перенесення зображення на папір. Фотобарабаном є металевий циліндр, на якому закріплена тонка плівка з фотопровідного напівпровідника. По поверхні барабана рівномірно розподіляється статичний заряд. На тонкий дріт (сітку), який називається коронуючим дротом (коронуючою сіткою), подається висока напруга, яка створює іонізовану область (корону).

Лазер, керований мікроконтролером, генерує тонкий світловий промінь, який відбивається від рухомого дзеркала. Цей промінь, потрапляючи на фотобарабан, засвічує на ньому елементарні площадки (точки), і в результаті фотоефекту в цих точках змінюється електричний потенціал. Для деяких типів принтерів потенціал поверхні барабана зменшується від -900 до -200 В. Таким

чином, на фотобарабані виникає копія зображення у вигляді потенціального рельєфу (див. рис. 6.31).

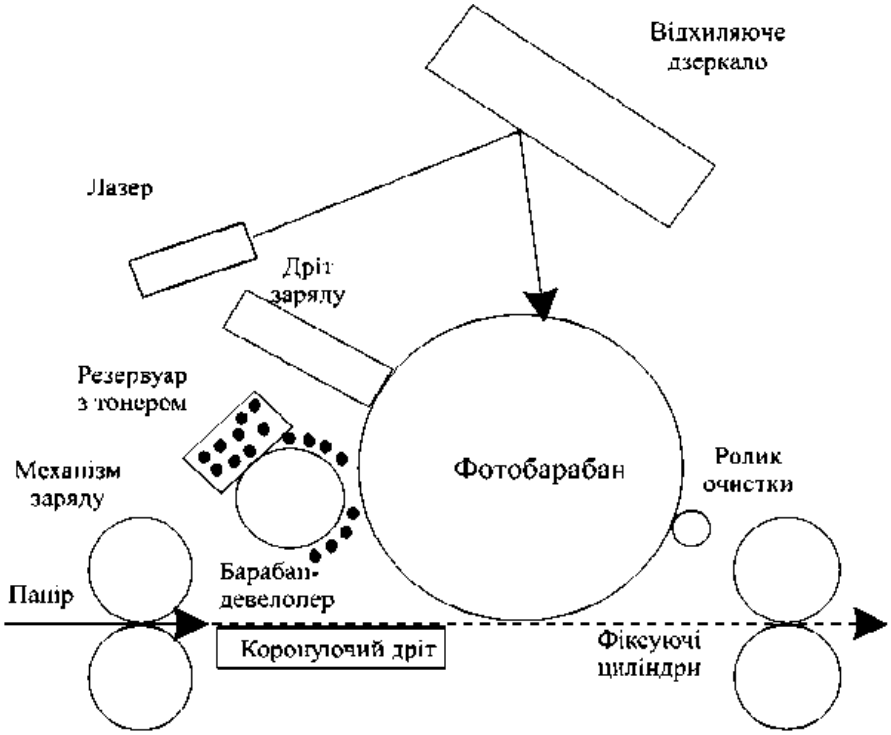


Рис. 6.31. Функціональна схема лазерного принтера

За допомогою іншого барабана, який називається девелопером (англ.: developer), на фотобарабан наноситься тонер - найдрібніший фарбувальний пил. Під дією статичного заряду дрібні частинки тонера легко притягуються до поверхні барабана в точках, що піддалися дії променя, і формують на ньому зображення (див. рис. 6.32).

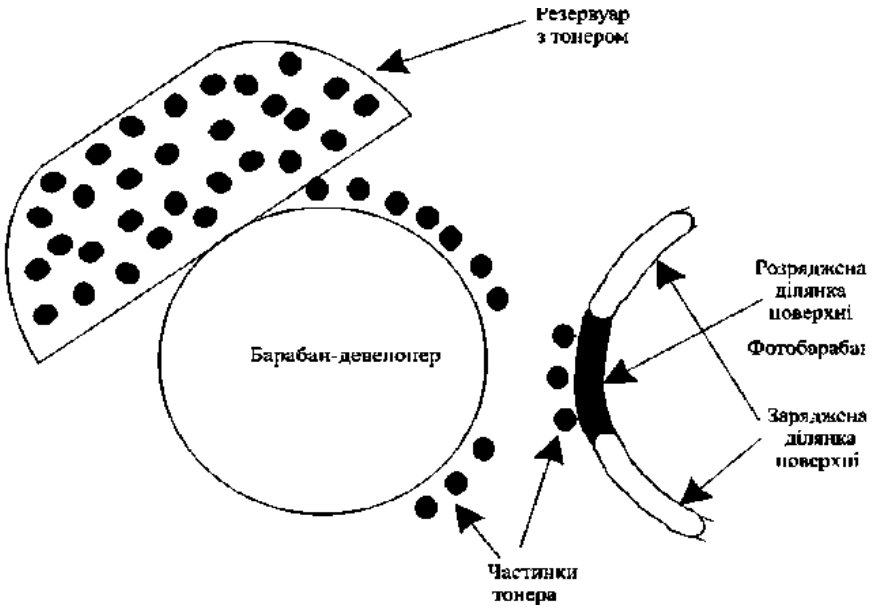


Рис. 6.32. Створення копії зображення на фото барабані

Аркуш з лотка подачі паперу за допомогою системи валиків переміщується до барабана. Йому надається статичний заряд, протилежний по знаку заряду засвічених точок на барабані. При дотику паперу до барабана частинки тонера з барабана переносяться (притягуються) до паперу.

Для фіксації тонера на папері аркуш пропускається між двома роликами, які нагрівають його до температури близько 180°-200°С. Нагрівання забезпечує закріплення фарби тонера на папері. Після процесу друку барабан повністю розряджається, очищається від частинок тонера і готується до нового циклу друку. Описана послідовність дій відбувається дуже швидко і забезпечує високу якість друку.

6.5.10. Лазерні кольорові принтери

При друці на кольоровому лазерному принтері використовуються дві технології. Відповідно до першої, яка широко використовувалась до недавнього часу, револьверний барабан (див. рис. 6.33) повертає по черзі кожен кольоровий картридж (Cyan, Magenta, Yellow, Krimson) до фотовалу. На ньому формується однокольорове зображення, після чого кожен колір збирається транспортною стрічкою, а з неї вже повнокольорове зображення переноситься на папір.

Рис. 6.33. Схема реалізації методу отримання 4-х послідовних зображень в лазерному принтері

Аркуш друкувався за чотири проходи, що, природно,позначалося на швидкості і якості друку.

У сучасних моделях в результаті прогонів на фотобарабан наноситься тонер кожного з 4-х кольорів. Потім при дотику паперу до барабану на нього наносяться всі 4 фарби одночасно, утворюючи потрібні поєднання кольорів на відбитку. В результаті досягається передача відтінків кольорів майже така, як і

при друці на кольорових принтерах з термопресом фарбника.

Переваги:

1. висока надійність;
2. відносно невисока вартість копії;
3. висока швидкість друку (до 19 стор./хв.);
4. висока якість друку (300-1200 dpi).

Недоліки:

Монохромний друк (висока вартість принтера та копії для якісної кольорової копії).

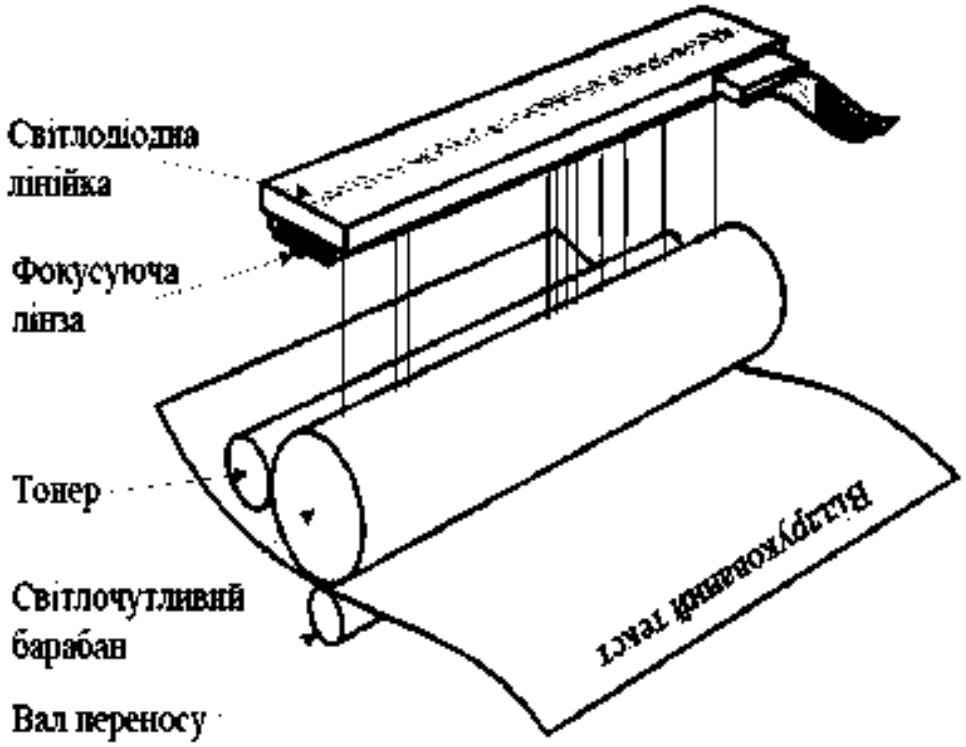


Рис. 6.34. Формування зображення за допомогою LED - технології

6.5.11. Світлодіодні принтери

У світлодіодному принтері для засвічування барабана замість лазерного променя, керованого за допомогою системи дзеркал, використовується нерухомий світлодіодний рядок (лінійка), який складається з 2500 світлодіодів. Ним формується не кожна точка зображення, а цілий рядок (див. рис. 6.34). Подібно працюють лазерні принтери фірми OKI.

6.6. Засоби організації управлінської праці діловодства

Заключний етап інформаційної технології пов'язаний з використанням результатів машинної обробки даних у управлінській, дослідницькій, конструкторській та інших видах діяльності. У цілому ряді інформаційних систем (управлінських, довідкових) де основним носієм інформації є документ. Це накладає певний відбиток на специфіку функціонування таких систем: ефективність систем, оперативність прийняття управлінських рішень, своєчасність видачі довідкових відомостей визначаються не тільки якістю

(повнота, достовірність) отриманої інформації, а й ступенем автоматизації процесів документування інформації, тиражування, обробки і зберігання документів, організацією діловодства та умовами праці виконавців.

Для вирішення цих завдань застосовується спеціальна група ТЗРІП - засоби організаційної техніки (оргтехніки), що забезпечує зниження трудомісткості і підвищення продуктивності праці інженерно-управлінського складу і обслуговуючого персоналу.

Література

1. Сташин В.В. Проектирование цифровых устройств на однокристальных микроконтроллерах / В.В. Сташин, А.В. Урусов, О.Ф. Мологонцева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.
2. Магда Ю.С. Микроконтроллеры серии 8051: практический подход. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 228 с.
3. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
4. Кохц Д. Вимірювання, управління та регулювання за допомогою PIC-мікроконтролерів.: Пер. з нім. – К.: "МК-Прес", 2007. – 304 с.
5. Трамперт В. Вимірювання, управління та регулювання за допомогою AVR-мікроконтролерів.: Пер. з нім. – К.: "МК-Прес", 2007. – 208 с.
6. Кравченко А.В. 10 практических устройств на AVR-микроконтролерах. – К.: "МК-Прес", 2008. – 224 с.
7. Заец Н.И. Радиолюбительские конструкции на PIC-микроконтролерах. – К.: "МК-Прес", 2008. – 336 с.
8. Браун М. Джерела живлення. Розрахунок та конструювання.: Пер. з англ. – К.: "МК-Прес", 2007. – 288 с.
9. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації. Навч. пос. – К.: Вид-во Ліра, 2014. – 344 с.
10. Колодницький М.М. Елементи теорії САПР складних систем: Навч. посібник – Житомир: ЖІТІ, 1999. – 512 с.
11. Березовский В.А., Тарасов В.А. Проектирование и эксплуатация АСУ нефтеперерабатывающими и нефтехимическими предприятиями. М.: «Химия», 1977.- 256 с.
12. Матвеев Л.В., Рудик А.П. Почти все о ядерном реакторе. – М.: Энергоатом издат, 1990. – 240 с.
13. Гудвин Г.К. и др. Проектирование систем управления. Пер. с англ. – М. БИНОМ, 2004. – 913 с.
14. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління: Підручник / Л.С. Ямпольский, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін, М.М. Поліщук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовіченко. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 680 с.
15. Клюев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х., Клюев А.А. Проектирование систем автоматизации ТП. Справочное пособие. 2-ое изд. – М.: Энергоиздат, 1990. – 464 с.
16. Пей Ан. Сопряжение с ПК с внешними устройствами. Пер. с англ. - М.: ДМК Пресс, 2001. – 320 с.
17. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ. К.: «Выща шк., 1990. – 334 с
18. Самотокин Б.Б. Курс лекцій з теорії автоматичного керування. -Житомир, 1997.-301с.

19. Уиликсон Б. Основы проектирования цифровых схем.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 320 с.
20. Щербина. Технические средства автоматизации и управления Учеб. Для вузов. М.: Высш. шк., 2001. – 450 с
21. Ялышев А.У., Разоренов О.Н. Многофункциональные аналоговые регулирующие устройства автоматики. М.: Машиностроение, 1981. – 399 с.
22. I^2C – Википедия. [Електронний ресурс] – Режим доступу.: https://ru.wikipedia.org/wiki/I^2C. – Назва з сайту.
23. I^2C-bus specification and user manual. [Електронний ресурс] – Режим доступу.: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf. – Назва з сайту.
24. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К. Вид-во "Ліра", 2011. – 552с.
25. Емельянов А.И., Капник О.В.. Проектирование систем автоматизации ТП. Спр. пособие, 3-е изд. М.:Энергоиздат,1983.- 400 с.
26. Микропроцессорные средства производственных систем / В.Н. Алексеев, А.М. Коновалов, В.Г. Колосов и др.; Под общ. ред. В.Г. Колосова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 287 с.
27. Пухальский Г.И. и др. Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах. Справочник. М.: «Радио и связь», 1990. – 304 с.
28. Смит Дж.. Сопряжение ПК с внешними устройствамию. М.: Мир, 2000. – 266 с.
29. Томкинс У и Уэбстр Дж. Переход с англ. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC. М.: Мир, 1992. – 592 с.
30. Данильченко И.А. Автоматизированные системы управления предприятиями. М.: «Машиностроение», 1984. – 390 с.
31. Александровский Н. М., Егоров С. В., Кузин Р. Е. Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами. М.: Энергия, 1973. – 272 с.
32. Автоматика и управление в технических системах: В 2 кн. / Отв. ред С.В. Емельянов, В.С. Михалевич. – К.: Вища школа, 1990.
33. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП. /Под ред. Л.А. Широкова.-М: Агропромиздат, 1986,-311с.
34. Головинский О.И. Основы автоматики. М.: Высшая школа, 1987,-207.
35. Грувер М., Зиммерс Э. САПР и автоматизація производства. М., «Мир», 1987.
36. Гуров А.М., Починский С.М. Автоматизация технологических процессов. -М.: Высшая школа, 1979,-380с.
37. Лысенко Э.В. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами. –М.: Радио и связь, 1987.–272с.

38. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов /Р.И. Силин, Я.Ф. Стадник, В.В. Третьяков. Под ред. Р.И. Силина.-Львов. Вища школа. 1985;-120с.
39. Попкович Г.С., Гордеев М.А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: Учеб. Для вузов. – М.: Высш. шк., 1986. – 392 с.
40. Системы технического зрения. Под ред.. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. Л., «Машиностроение», 1988.
41. Тирган В.С., Андреев И.Б., Леберман Б.С. Основы автоматизации производства. - 2 -е изд., -М.: Машиностроение, 1982.-269с.
42. Уланов Г.М. и др. Методы разработки интегрированных АСУ промышленными предприятиями.- М.: Энергоатомиздат, 1983. - 320 с.
43. Хлытчиев С. М., Ворожцов А. С., Захаров И.А. Основы автоматики производственных процессов. - М.: Радио и связь, 1985. – 288 с.
44. Автоматизация производственных процессов и установок /Н.Г. Попович, А.В. Ковальчук, Е.П. Красовский. - К. : Вища школа. Головное изд-во, 1986. – 311 с.
45. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: Учебник для вузов/ А.М. Корытин, Н.К. Петров, С.Н. Радимов, Н.К. Шапарев. – 2-е изд., перераб. И доп. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 432 с.
46. Штефан И.А., Чичерин И.В. Управление процессами и объектами в машиностроении. Кузбас. гос. техн. ун-т. - Кемерово, 2000. - 90 с.
47. Энциклопедия кибернетики. /Под ред. В.М. Глушкова в 2-х томах. – К: Гл. ред. укр. Сов. Энциклопедии, 1975. – 608 с. и 620с.

Зміст

Розділ 1. Основні поняття теорії реалізації інформаційних процесів

1.1. Інформація та інформаційні процеси
1.2. Інформаційна технологія
1.3. Структурний аналіз технічних засобів реалізації інформаційних процесів

Розділ 2. Технічні засоби збирання та підготовки інформації

2.1. Джерела інформації
2.2. Засоби отримання (збирання) і реєстрації даних
2.2.1. Засоби знімання даних.
2.2.2. Засоби організації оперативного контролю.
2.3. Засоби підготовки даних

Розділ 3. Методи, засоби і технології передавання інформації

3.1. Основні поняття систем передачі даних
3.2. Сигнали і системи передачі інформації
3.3. Неперервний канал зв'язку і його характеристики
3.4. Фізичне кодування сигналів у каналі зв’язку
3.5. Типи модуляції у каналі зв’язку
3.6. Технології передачі сигналів
3.7. Бездротовий зв’язок
3.8. Ущільнення сигналів у каналах зв'язку
3.8.1. Ущільнення з просторовим поділом
3.8.2. Ущільнення з частотним поділом
3.8.3. Ущільнення з часовим поділом
3.8.4. Ущільнення з кодовим поділом
3.9. Цифрова передача сигналу
3.9.1. Амплітудна маніпуляція
3.9.2. Частотна маніпуляція
3.9.3. Фазова маніпуляція
3.9.4. Поліпшена частотна маніпуляція
3.9.5. Поліпшена фазова маніпуляція
3.9.6. Модуляція з декількома несними
3.10. Розширення спектра
3.10.1. Розширення спектра методом прямої послідовності
3.10.2. Розширений спектр із перескоком частоти

Розділ 4. Технічні засоби реалізації процесів обробки інформації

4.1. Теоретичні основи процесів обробки інформації
4.1.1. Загальні підходи до реалізації процесів обробки інформації

4.1.2. Формалізована модель обробки інформації
Стиснення і адаптивна дискретизація сигналів.
Переробка текстової інформації
4.2. Алгоритмізація процесів обробки інформації
4.2.1.Основні поняття.
4.2.2. Методи представлення алгоритмів
4.3. Технічні засоби обробки інформації
4.3.1. Основні поняття
4.3.2. Сучасні обчислювальні машини: загальне призначення
4.3.3. Функціональна організація обчислювальних машин
4.3.4. Конструктивна будова комп'ютера
4.3.4. Обчислювальні системи

Розділ 5. Технічні засоби реалізації процесів збереження інформації

5.1. Теоретичні основи процесів збереження інформації
5.2. Основні характеристики запам'ятовуючих пристроїв.
5.3. Фізичні основи функціонування сучасних пристроїв пам'яті
5.3.1. Магнітні пристрої пам'яті
5.3.2. Напівпровідникові пристрої пам'яті.
5.3.3. Оптичні пристрої пам'яті
5.4. Організація процесу зберігання інформації
5.4.1. Класифікація та представлення даних
5.4.2. Подання елементарних даних у ОЗП
5.4.3. Структури даних та їх представлення у ОЗП
5.4.3.1. Класифікація та приклади структур даних
5.4.3.2. Поняття логічного запису
5.4.3.3. Організація структур даних у ОЗП
5.4.4. Подання даних на зовнішніх носіях
5.4.4.1. Ієрархія структур даних на зовнішніх носіях
5.4.4.2. Особливості пристроїв зберігання інформації

Розділ 6. Реалізація процесів представлення інформації

6.1. Засоби відображення і виведення даних
6.2. Проектори
6.3. Електронний папір
6.4. Інші пристрої виведення інформації на екран
6.5. Принтери

Література