

О.О. ЛЕБЕДЬ, В.О. МИСЛІНЧУК, Л.В. ВОЙТОВИЧ

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра хімії та фізики
Рівненський державний гуманітарний університет
Кафедра фізики, астрономії та методики викладання**

**О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук,
Л.В. Войтович**

**ФІЗИЧНІ ОСНОВИ
КОМП'ЮТЕРНО-
ІНТЕГРОВАНИХ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Навчальний посібник

Видання друге, змінене і доповнене

Рівне – 2023

УДК 681.518:53 (075.8)

Л 33

*Рекомендовано Вченою радою
Рівненського державного гуманітарного університету
(протокол № 12 від 29.12.2022 р.)*

Рецензенти:

Галян В.В., доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій Волинського національного університету ім. Лесі Українки;
Мороз М.М., доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри хімії і фізики Національного університету водного господарства та природокористування;

Л 33 Фізичні основи комп'ютерно-інтегрованих інформаційних систем. Навчальний посібник. Видання друге, змінене і доповнене: / О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук, Л.В. Войтович – Рівне: Волинські обереги, 2023. – 352 с.

ISBN 978-966-416-983-4

Навчальний посібник призначено для вивчення фізичних явищ, методик та технологій, які є основою роботи сучасних комп'ютерно-інтегрованих інформаційних систем. Детально розглянуто магнітні явища та фізику напівпровідників, їх роль в функціонуванні основних вузлів комп'ютера. У посібнику викладено елементи теорії хвиль, оптику та оптичні методи, які використовуються в інформаційних системах.

Увага приділена перспективним технологіям елементної бази комп'ютерної техніки та перспективним видам комп'ютерів – молекулярним, оптичним, квантовим, біологічним.

УДК 681.518:53 (075.8)

ISBN 978-966-416-983-4

© Лебедь О.О., Мислінчук В.О.,
Войтович Л.В., 2023

© "Волинські обереги", 2023

ПЕРЕДМОВА

Комп'ютерно-інтегровані системи і їх основа – комп'ютер в сучасному інформаційному просторі відіграють визначальну роль. Сьогодні вже важко уявити повсякденне життя людини без обчислювальної техніки. А здавалося б фантастичний слоган компанії Microsoft, запропонований її главою Білом Гейтсом 25-30 років тому «Комп'ютер на кожному столі і в кожному домі» на сьогодні став реальністю.

Який же зміст вкладається у вираз «**комп'ютерно-інтегрована система**» сьогодні? Це сукупність взаємопов'язаних автоматичних або автоматизованих пристроїв, призначених для збору, обробки та передачі інформації. Конкретний набір пристроїв, які здійснюють обробку інформації, називають обчислювальною системою. Центральним пристроєм більшості обчислювальних систем є електронно-обчислювальна машина (ЕОМ) або комп'ютер.

Комп'ютер (з англ.: computer – обчислювач) – це програмований електронний пристрій, який обробляє дані, виконує обчислення та інші завдання маніпулювання символами. Існує два основні класи комп'ютерів:

- цифрові комп'ютери, що обробляють дані у вигляді двійкових кодів;
- аналогові комп'ютери, що обробляють дані про фізичні величини, які можуть змінюватися неперервно (електрична напруга, час, тощо).

Оскільки в даний час переважна більшість комп'ютерів є цифровими, далі будемо розглядати тільки даний клас комп'ютерів і слово «комп'ютер» вживати в значенні «цифровий комп'ютер».

Основу комп'ютера складає апаратура (англ.: HardWare), побудована, в основному, з використанням електронних та електромеханічних елементів і пристроїв. Принцип дії комп'ютерів полягає у виконанні програм (англ.: SoftWare) – наперед заданих, чітко визначених послідовностей операцій (арифметичних, логічних та ін.).

При розгляді комп'ютерних пристроїв прийнято розрізняти їх архітектуру і структуру.

Архітектурою комп'ютера називають його будову на деякому загальному рівні, що включає опис призначених для користувача можливостей програмування, системи команд, системи адресації, ор-

ганізації пам'яті, тощо. Архітектура визначає принципи дії, інформаційні зв'язки і взаємне з'єднання основних логічних вузлів комп'ютера: процесора, оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП), зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв (ЗЗП) і периферійних пристроїв. Спільність архітектури різних комп'ютерів забезпечує їх сумісність з поглядом користувача.

Основи вчення про архітектуру обчислювальних машин заклав видатний американський математик Джон фон Нейман. Він підключився до створення першої в світі лампової ЕОМ ENIAC у 1944 році, коли її конструкція була вже вибрана. У процесі роботи фон Нейман висловив ідею принципово нової ЕОМ. У 1946 році вчений з колегами виклали свої принципи побудови обчислювальних машин у статті «Попередній розгляд логічної конструкції електронно-обчислювального пристрою» [1].

У статті обґрунтовується використання двійкової системи для представлення чисел. Автори переконливо продемонстрували переваги двійкової системи для технічної реалізації, зручність і простоту виконання в ній арифметичних і логічних операцій. Надалі ЕОМ отримали змогу обробляти і нечислові види інформації – текстову, графічну, звукову та інші, однак двійкове кодування даних, як і раніше, становить інформаційну основу будь-якого сучасного комп'ютера.

Нейман також першим запропонував зберігати програми за допомогою двійкового коду, причому в тій же самій пам'яті, що й оброблювані нею числа. Відсутність принципової різниці між програмою і даними дало можливість ЕОМ самій формувати для себе програму відповідно до результатів обчислень.

Структура комп'ютера – це сукупність його функціональних елементів і зв'язків між ними. Функціональними елементами можуть бути різноманітні пристрої – від основних логічних вузлів комп'ютера до найпростіших схем. Структуру комп'ютера графічно представляють у вигляді структурних схем, за допомогою яких можна дати опис комп'ютера на будь-якому рівні деталізації.

Сучасні комп'ютери, маючи найрізноманітнішу будову, своєю структурою базуються на загальних логічних принципах, що дозволяють виділити в кожному з них наступні головні пристрої:

- пам'ять (оперативний запам'ятовуючий пристрій);
- зовнішня пам'ять (зовнішній запам'ятовуючий пристрій);

- процесор, який включає в себе керуючий пристрій (КП) і арифметично - логічний пристрій (АЛП);
- пристрій введення даних;
- пристрій виведення даних.

Дані пристрої з'єднані каналами зв'язку (*загальною шиною*), якими передаються сигнали адрес, команд управління та живлення.

Зовнішні пристрої (клавіатура, принтер, сканер, тощо) підклю-

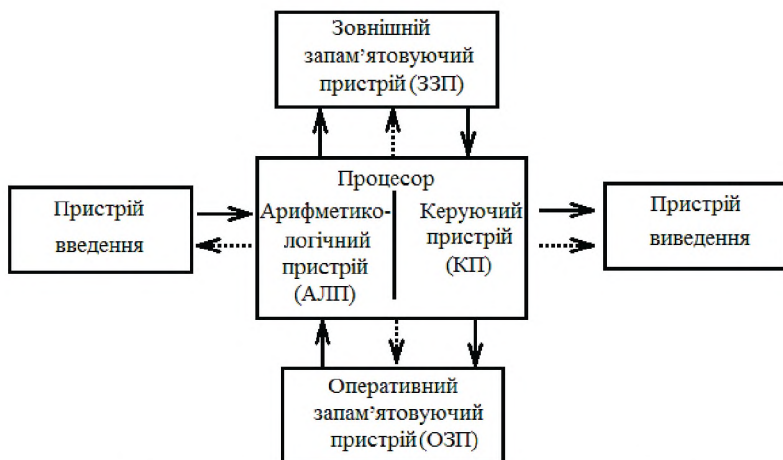


Рис. 1. Структура ЕОМ, побудованої за принципами фон Неймана. Суцільні лінії зі стрілками вказують напрямок потоків інформації, пунктирні – керуючі сигнали від процесора до решти вузлів ЕОМ

чаються до комп'ютера за допомогою *контролерів*, пристроїв, які узгоджують швидкості роботи тих вузлів обчислювальної машини, що з'єднуються між собою.

Важливими елементами сучасного комп'ютера є *таймер* – пристрій вимірювання внутрішнього часу ЕОМ та *КПДП* – контролер прямого доступу до оперативної пам'яті, не звертаючись до процесора.

Надважливим пристроєм комп'ютера є його пам'ять. Вона виконує наступні функції:

- приймання інформації з інших пристроїв;
- запам'ятовування інформації;
- видавання інформації за запитом в інші пристрої комп'ютера.

Зовнішня пам'ять відрізняється від пристроїв введення і виведення тим, що дані в неї заносяться у вигляді, зручному комп'ютеру, але недоступному для безпосереднього сприйняття людиною. Отже, накопичувач на магнітних дисках відноситься до зовнішньої пам'яті, а клавіатура – пристрій введення, дисплей і принтер – пристрої виведення.



Рис. 2. Сучасний процесор.
Вигляд з обох сторін

Пам'ять (ЗП) зберігає інформацію (дані) і програми. Запам'ятовуючий пристрій у сучасних комп'ютерів «багаторусний». Він містить оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), що зберігає ту інформацію, з якою комп'ютер працює безпосередньо в даний час (виконувана програма, частина необхідних для неї даних, деякі керуючі програми), і зовнішні запам'ятовуючі пристрої (ЗЗП) набагато більшої ємності, ніж ОЗП, але з набагато повільнішим доступом (і значно меншою вартістю в розрахунку на 1 байт збереженої інформації). На ОЗП і ЗЗП класифікація пристроїв

пам'яті не завершується. Певні функції виконують і НОЗП (надоперативний запам'ятовуючий пристрій), і ПЗП (постійний запам'ятовуючий пристрій), та інші підвиди комп'ютерної пам'яті.

Процесор (центральный процесор, CPU), мабуть, є найважливішою частиною комп'ютера. Він встановлюється на материнську плату в спеціальне гніздо (сокет). На материнську плату встановлюються і інші вузли комп'ютера (відеокарта, ОЗП, тощо). Основними функціями процесора є:

- зчитування команд і даних із оперативної пам'яті та інших пристроїв;
- обробка даних за заданою програмою шляхом виконання арифметичних і логічних операцій;
- змінування програми в залежності від результатів обчислень;

- програмне керування роботою пристроїв комп'ютера.

З іншими пристроями, і в першу чергу з оперативною пам'яттю, процесор з'єднаний групами провідників, які називаються шинами. Основних шин є три:

- шина даних;
- шина адрес або адресна шина;
- шина команд або керуюча шина.

Дані, що передаються по **адресній шині** трактуються як адреси комірок оперативної пам'яті. Саме з цієї шини процесор зчитує адреси команд, які необхідно виконати, а також дані, з якими оперують команди. У сучасних процесорах адресна шина 32-розрядна (складається з 32 провідників).

По **шині даних** відбувається копіювання даних з оперативної пам'яті в реєстри процесора і навпаки. У ПК на базі процесорів Intel Pentium шина даних 64-розрядна. Це означає, що за один такт на обробку поступає відразу 8 байт даних.

По **командній шині** з оперативної пам'яті поступають команди, які виконуються процесором. Команди представлені у вигляді байтів. Прості команди вкладаються в один байт, але є й такі команди, для яких потрібно два, три і більше байтів. Більшість сучасних процесорів мають 32-розрядну командну шину, хоча існують процесори з 64-розрядною командною шиною.

Периферійні або зовнішні пристрої – це пристрої, розміщені поза системним блоком і задіяні на певному етапі обробки інформації. Передусім – це пристрої фіксації вихідних результатів: принтери, плотери, модеми, сканери, тощо. Поняття «периферійні пристрої» досить умовне. До їх числа можна віднести, наприклад, накопичувач на компакт-дисках, якщо він виконаний у вигляді самостійного блоку і приєднується спеціальним кабелем до зовнішнього з'єднання системного блока. І навпаки, модем може бути вбудованим, тобто конструктивно виконаний як плата розширення, і тоді немає підстав відносити його до периферійних пристроїв.

Отже, в завдання даного посібника входить опис принципів будови та роботи основних вузлів сучасного комп'ютера як основи комп'ютерно-інтегрованих систем, представлених на рис. III, а також висвітлення основних, на час написання підручника, тенденцій розвитку комп'ютерної техніки.

РОЗДІЛ 1

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Сучасна обчислювальна техніка неможлива без напівпровідникових приладів. В елементах комп'ютерів і аналогових пристроях знаходять широке застосування напівпровідникові інтегральні схеми, які по суті є багатофункціональними напівпровідниковими приладами.

Інтегральні схеми містять велику кількість взаємодіючих окремих напівпровідникових елементів: діодів і тріодів різних типів, резисторів, конденсаторів, ключових приладів. Ці елементи скомпановані в одній матриці, в якості якої використовується окремих кристал або декілька кристалів, розміщених в одному корпусі з безліччю контактних виводів. За сімдесят років свого розвитку фізика напівпровідників та пов'язана із нею промисловість пройшли великий шлях від перших діодів до мікросхем. У мікросхемі 1965 року було 30 транзисторів, тоді як сьогодні чіп Radeon HD 3870 містить 660 мільйонів транзисторів. На сьогоднішній день створені великі інтегральні схеми, густина активних елементів у яких досягає 10^4 на $мм^2$.

Застосування інтегральних схем дозволяє суттєво зменшити розміри обчислювальних пристроїв, підвищити їх надійність та економичність.

Очевидно, що ознайомлення з інтегральними схемами необхідно розпочинати з вивчення фізичних основ дії та характеристик їх складових частин – напівпровідникових приладів, а це неможливо без знання основ теорії електропровідності напівпровідників (зонної теорії).

1.1. Елементи зонної теорії напівпровідників

Різні речовини по різному проводять електричний струм. Так, для багатьох металів (алюміній, мідь, залізо, тощо) питомий опір ρ при кімнатній температурі не перевищує $10^{-7} Ом \cdot м$. Речовини з таким питомим опором називають *провідниками*. Діелектрики (скло, фарфор, парафін, тощо) практично не проводять електричний струм. Їх питомий опір становить $10^{12} - 10^{14} Ом \cdot м$. Це – *ізолятори*.

Бібліографічний список до розділу 1

1. Беркс А., Голдстейн Г., Нейман Дж. Предварительное рассмотрение логической конструкции электронного вычислительного устройства // Кибернетический сборник, вып. 9. – М. : Мир, 1964. – с. 7–67.
2. Лебедь О. О. Фізичні основи інформаційних систем [Текст]/ О. О. Лебедь, В. Ф. Орленко, О. Д. Кочергіна. – Рівне: НУВГП, 2013. – 182 с.
3. Савельев И. В. Курс общей физики: В 3 т. [Текст] / И. В. Савельев. – М.: Наука, 1982. – Т. 2. – 496 с.
4. Викулин И. М. Физика полупроводниковых приборов [Текст]/ И. М. Викулин, В. И. Стафеев. – М. : Советское радио, 1980.
5. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем [Текст] / И. П. Степаненко. – М. : Энергия, 1977.
6. Капцов Л. Н. Физика элементов ЭВМ [Текст] / Л. Н. Капцов. – М. : Из-во МГУ, 1983. – 240 с.
7. Мюллер С. Модернизация и ремонт ПК, 17-е издание [Текст] / С. Мюллер. – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2008. – 1360 с.
8. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника [Текст] / Е. П. Угрюмов. – Петербург, 2004. – 528 с. : ил.
9. <http://mnc.ru/?path=./cpu/&file=p18.src>
10. <http://www.kolasc.net.ru/cdo/programmes/os/index.html>
11. <http://edu.dvgups.ru/METDOC/ITS>

РОЗДІЛ 2 МАГНІТНІ МЕТОДИ, ЗАСТОСОВАНІ В ОБЧИСЛЮВАЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

У другому розділі розглянуто електромагнітні методи запису, зберігання та зчитування інформації, які використовуються в комп'ютерній техніці. Передбачається, що читач знайомий з основами електромагнетизму в рамках курсу загальної фізики для студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Відомо, що в 1949 році група інженерів компанії ІВМ розпочала розробку нового пристрою зберігання даних – магнітного носія. В його основу було покладено явище намагнічування шару феромагнітного матеріалу (робочого шару), нанесеного на немагнітну основу. Дане явище використовувалось в ЕОМ першого покоління, широко воно застосовується й донині. Пояснюється це наступними *перевагами* магнітного запису у порівнянні з іншими:

1. малою вартістю зберігання 1 біта інформації;
2. простотою процесу запису і зчитування;
3. великою щільністю зберігання інформації.

Для пояснення переваг використання магнітного методу в обчислювальній техніці зробимо короткий екскурс у фізику електромагнетизму.

2.1. Магнетики

Речовини, які здатні змінювати індукцію магнітного поля називаються *магнетиками*. При внесенні магнетика в магнітне поле у ньому виникає власне магнітне поле, яке змінює сумарне. Процес намагнічування магнетика полягає у впорядкуванні просторової орієнтації його атомів і молекул. У найпростішій моделі намагнічування рух електронів в атомі еквівалентний коловим струмам і тому кожен атом може розглядатись, як контур із результируючим електричним струмом.

Відомо, що така рамка характеризується магнітним моментом

$$\vec{p} = i \cdot S \cdot \vec{n}, \quad (2.1)$$

де i – сила струму, S – площа рамки, \vec{n} – вектор нормалі до площі контуру [1].

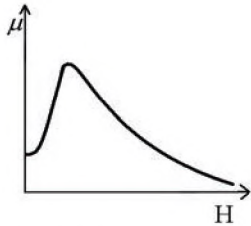


Рис. 2.1. Залежність магнітної проникності ферромагнетика μ від напруженості зовнішнього магнітного поля H

В однорідному магнітному полі з індукцією \vec{B} на контур зі струмом діє момент сили

$$\vec{M} = [\vec{p} \times \vec{B}], \quad (2.2)$$

який намагається повернути контур так, щоб напрями векторів \vec{p} і \vec{B} співпадали. Для більшості матеріалів при відсутності зовнішнього магнітного поля, магнітні моменти \vec{p} атомів напрямлені хаотично, тому сумарний магнітний момент дорівнює нулю. В зовнішньому магнітному полі в результаті

дії моментів сил відбувається орієнтація магнітних моментів окремих атомів за напрямом цього поля. В результаті сумарний магнітний момент магнетика стає відмінним від нуля – магнетик намагнічується. Однак, орієнтації магнітних моментів атомів заважає хаотичний тепловий рух останніх. Тому в слабких магнітних полях ступінь орієнтації магнітних моментів \vec{p} невелика, але вона зростає при збільшенні зовнішнього поля.

Кількісною характеристикою намагнічення магнетика є вектор намагнічення

$$\vec{J} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{p}_i, \quad (2.3)$$

який дорівнює сумі магнітних моментів \vec{p} одиниці об'єму магнетика.

За характером залежності вектора \vec{J} від напруженості \vec{H} зовнішнього намагнічуючого поля магнетика поділяються на три класи: діамагнетика, парамагнетика та ферромагнетика.

Діамагнетика (мідь, свинець, срібло, вода тощо) намагнічуються таким чином, що вектори \vec{J} і \vec{H} стають антипаралельними. Парамагнетика (платина, алюміній, кисень, тощо) намагнічуються так, що вектори \vec{J} і \vec{H} співпадають. Для діамагнетиків і парамагнети-

півтів і відстаней між ними), але підвищує чутливість записаної інформації до дефектів поверхні. Диски BD для запобігання виникненню подряпин мають спеціальне тверде покриття, а до його впровадження поміщались в захисні картриджі.

На відміну від дисків CD і BD, відбиваючий і робочий шари DVD розташовані всередині товщини диска, що забезпечує їх кращий механічний та оптичний захист. Проблеми можуть породжуватися шаром клею, що з'єднує половинки диску. Якщо їх з'єднання недостатньо щільне, туди можуть проникати волога, повітря та інші небажані речовини.

Бібліографічний список до розділу 3

1. Загальна фізика. Частина II. (за ред. Олексин Д. І., Орленко В. Ф.): Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення [Текст] / – Рівне : НУВГП, 2009. – 457 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики : В 3 т. [Текст] / И. В. Савельев. – М. : Наука, 1982. – Т. 2.
3. Мюллер С. Модернизация и ремонт ПК, 17-е издание [Текст] / С. Мюллер. – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2008. – 1360 с.
4. Вениаминов А. В. Оптические системы записи, хранения и отображения информации. Учебное пособие. Изд.1 [Текст] / А. В. Вениаминов, В. Н. Михайлов. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. – 94 с.
5. Капцов Л. Н. Физика элементов ЭВМ [Текст] / Л. Н. Капцов. – М. : Из-во МГУ, 1983. – 240 с.
6. Сороко Л. М. Основы голографии и когерентной оптики [Текст] / Л. М. Сороко. – М. : Наука, 1971.
7. Новиков М. Г. Голографические диски HVD <http://novikovmaxim.narod.ru/statyi/comptech/golograph/hvd.htm>
8. Баргатин И. В. Запутанные квантовые состояния атомных систем [Текст] / И. В. Баргатин, Б. А. Гришанин, В. Н. Задков // УФН. – №171 (625).
9. Шимони А. Реальность квантового мира [Текст] / А. Шимони // В мире науки (Scientific American). – 1988. – № 3.
10. Бауместер Д. Физика квантовой информации [Текст] / Д. Бауместер, А. Экерт, А. Цайлингер. – М. : Постмаркет, 2002.

РОЗДІЛ 4

ПРИСТРОЇ ВВЕДЕННЯ ТА ВИВЕДЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Інформаційний зв'язок між користувачем і комп'ютером забезпечують стандартні пристрої введення та виведення інформації та периферійні пристрої (англ.: peripheral devices), які є тими ж пристроями введення та виведення даних. Автори розуміють умовність такого поділу, але виділяють стандартні пристрої, без яких сучасний процес діалогу між людиною та комп'ютером взагалі неможливий, та периферійні, які є додатковими.

Всі пристрої введення перетворюють інформацію у машинні коди, після чого комп'ютер може її обробляти і запам'ятовувати, а пристрої виведення переводять інформацію з машинних кодів в образи, зрозумілі людині. В якості стандартних пристроїв введення використовуються клавіатура та маніпулятор «миша», в якості стандартного пристрою виведення використовується монітор.

Периферійними або зовнішніми пристроями будемо називати всі пристрої (крім стандартних), які розміщені поза системним блоком комп'ютера, і які задіяні на певному етапі обробки інформації. Насамперед – це пристрої фіксації вихідних результатів: принтери, плотери та специфічні пристрої введення даних: сканери, дигітайзери, web-камери, мікрофони, тощо. Взагалі, поняття «периферійні пристрої» комп'ютера досить умовне. До їх числа можна віднести, наприклад, накопичувач на компакт-дисках, якщо він виконаний у вигляді самостійного блоку і з'єднаний спеціальним кабелем із зовнішнім роз'ємом системного блоку. І навпаки, модем може бути внутрішнім, тобто конструктивно виконаним як плата розширення, і тоді немає підстав відносити його до периферійних пристроїв.

У перших комп'ютерів була клавіатура, але практично не було засобів індикації отриманих результатів. Користувач мав у своєму розпорядженні набір ламп, які могли світитися, або роздруківку результатів роботи на принтері. З розвитком комп'ютерної техніки з'явилися монітори і зараз вони є невід'ємною частиною базової конфігурації персонального комп'ютера.

Розглянемо основні технології виготовлення сучасних пристроїв введення та виведення інформації, а також принцип їх дії, особливості, переваги і недоліки.

4.1. Пристрої введення інформації

Класифікація основних пристроїв введення інформації показана на рис. 4.1.

4.1.1. Клавіатура

Клавіатура (англ.: keyboard) наразі залишається основним засобом введення інформації в обчислювальні системи і, зокрема, в ПК. Це стандартний клавішний пристрій, призначений для введення алфавітно-цифрових даних та команд керування комп'ютером. Одночасне використання монітора та клавіатури забезпечує найпростіший інтерфейс користувача: за допомогою клавіатури керують обчислювальною системою, а за допомогою монітора отримують результат роботи ПК.

Клавіатура відноситься до стандартних засобів ПК, тому для реалізації її основних функцій не потрібне використання спеціальних системних програм (драйверів). Необхідне програмне забезпечення для початку роботи з клавіатурою знаходиться в мікросхемі ПЗП у складі базової системи введення/виведення BIOS. Саме тому ПК реагує на натиснення клавіш на клавіатурі відразу після включення. Клавіатура стаціонарного ПК, як правило, – це самостійний кон-

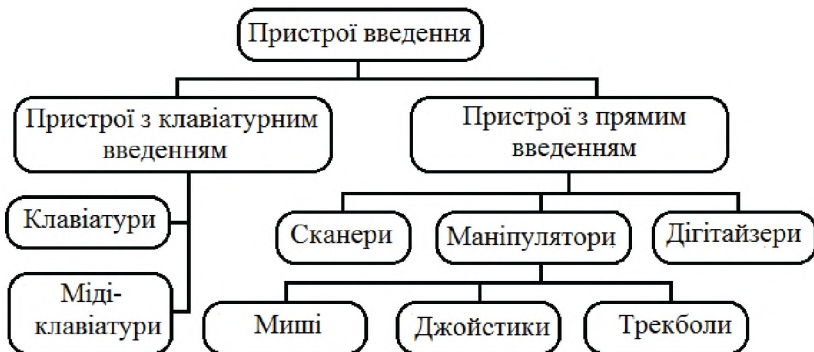


Рис. 4.1. Класифікація основних пристроїв введення інформації

структивний блок, а в портативних ПК вона входить до складу корпусу.

Бібліографічний список до розділу 4

1. Флорес А. Внешние устройства ЭВМ М [Текст] / А. Флорес – М. : Мир, 1977.
2. Мюллер С. Модернизация и ремонт ПК, 17-е издание [Текст] / С. Мюллер. – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2008. – 1360 с.
3. Мухин И. А. Развитие жидкокристаллических мониторов [Текст] / И. А. Мухин // Журнал «BROADCASTING Телевидение и радиовещание». – 2005. – №2(46). – С. 55-56, – № 4(48). – С. 71–73.
4. Мирошниченко С. П. Методическое пособие по курсу «Персональная электроника». Жидкокристаллические мониторы [Текст]/ С. П. Мирошниченко, П. В. Сербя. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2005. – 24 с.
5. Холидей К. М. Секреты ПК [Текст] / К. М. Холидей. – Киев : Диалектика, 1995. – 413 с.
6. Платонов Ю. М. Ремонт зарубежных принтеров [Текст] / Ю. М. Платонов, А. А. Гапеенков. – М. : Солон-Р. 2000. – 272 с.
7. Синдеев Ю. Г. Принтеры: ремонт, обслуживание [Текст] / Ю. Г. Синдеев. – Ростов на Дону : Феникс, 2001. – 224 с. – (сер. Техномир).
8. Кичак В. М. Друкувальні та копіювальні пристрої. Лабораторний практикум [Текст]/ В. М. Кичак, Г. Г. Бортник – Вінниця : ВДТУ, 1999.
9. Бортник Г. Г. Засоби оргтехніки [Текст] : навч. посіб. / Г. Г. Бортник, В. М. Кичак, О. В. Стальченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.

РОЗДІЛ 5 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕАЛІЗАЦІЇ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН КЛАСИЧНОГО КОМП'ЮТЕРА

5.1. Перспективні технології елементної бази

Елементи сучасної комп'ютерної техніки – транзистори, діоди, інтегральні мікросхеми, фотоприймачі, світлодіоди і лазери є «класичними» приладами. Визначення «класичний» відображає ту обставину, що фізичні величини, які визначають роботу приладів (наприклад, струми та напруги на електродах) описуються законами класичної фізики. Звичайно, внутрішні процеси в приладах, що відбуваються на атомному рівні, є квантовими. Такими процесами є утворення енергетичних зон, тунелювання в тунельно-резонансних діодах, розсіювання електронів у напівпровідниковій структурі транзисторів, випромінювання і поглинання фотонів в активному середовищі лазерів, тощо. Ці внутрішні процеси описуються квантово-статистичним методом.

Відомо [1], що продуктивність класичного комп'ютера пропорційна кількості транзисторів на одиницю площі інтегральної схеми. Виробництво уніполярних транзисторів, як основної бази класичного комп'ютера, в традиційному вигляді, тобто зі стоком, витоком і затвором, можливо лише до 2030 року. До того часу розміри всіх елементів транзистора досягнуть атомарних розмірів і зменшувати їх далі буде просто неможливо. Наприклад, вже сьогодні товщина діелектричного шару (оксид кремнію) між затвором і провідним каналом уніполярного транзистора становить $0,13\text{ мкм}$. У перспективі, можливо, вдасться досягти товщини $0,09\text{ мкм}$. Незважаючи на те що технології виробництва ізолюючого шару оксиду кремнію удосконалюються і він стає тоншим, у нього існує фізична межа – не більше 4-5 молекул ($1,5\text{-}2\text{ нм}$). У тонших шарах починаються неконтрольовані процеси тунелювання електронів і перегріву, які порушують роботу транзисторів і обчислювальної системи в цілому. Крім того, формування інтегральної схеми з меншими розмірами транзисторів неможливе на базі стандартної техніки фотолітографії. В силу квантових законів травлення не можна здійснити на меншому масштабі, ніж половина довжини хвилі світла, а вже зараз у фото-

літографії використовують жорстке ультрафіолетове випромінювання.

Отже, 2030 рік – це фактично та границя, коли закон Мура (у тому вигляді, в якому він існує сьогодні) перестане діяти, а кремній втратить свою актуальність як основний матеріал мікроелектроніки.

В цьому сенсі, для підвищення ефективності обчислювальної техніки необхідно здійснювати пошук кардинально нових ідей реалізації елементної бази класичного комп'ютера, а також розробки обчислювальних пристроїв, які працюють на інших принципах: молекулярного, оптичного, квантового комп'ютерів, тощо.

5.1.1. Транзистори на основі нанотрубок

Однією з перспективних є ідея створення транзистора на основі карбонових (вуглецевих) нанотрубок (англ.: Carbon Nanotube) [2].

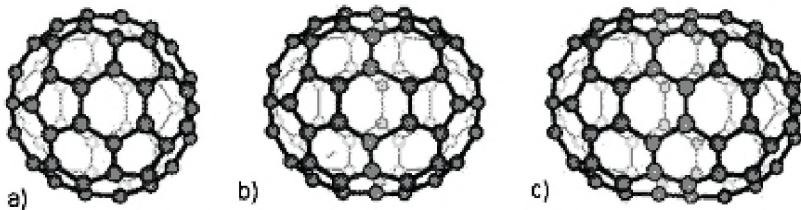


Рис. 5.1. Деякі представники родини фулеренів: а) C_{60} , б) C_{70} , в) C_{80}

Карбонові каркасні структури – це великі за розмірами молекули, які складаються виключно з атомів вуглецю. Інколи говорять, що це нова алотропна форма вуглецю (інші форми: алмаз і графіт),

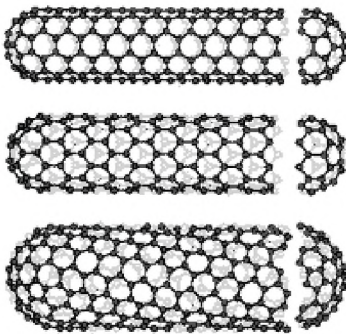


Рис. 5.2. Приклади нанотрубок

в якій атоми знаходяться в вершинах правильних п'яти- та шестикутників. Головна особливість даних молекул – їх каркасна форма: молекули є замкнутими, порожніми всередині «оболонками». Найвідоміша з карбонових каркасних структур – це фулерен C_{60} (див. рис. 5.1). Наприкінці 80-х рр. після розробки методики отримання фулеренів в макро-

люмінофори мають певний енергетичний поріг збудження. Потужності лазерів підбирають таким чином, щоб енергія одного променя була меншою цього порогу і не викликала світіння, а сумарна енергія двох променів перевищувала цей поріг. Таким чином, світіння виникає тільки в точці перетину променів (див. рис. 5.35). Керуючи відхиленням променів за допомогою дзеркал або акустооптичних елементів, домагаються сканування всього об'єму відтворення, а модулюючи один з променів засвічують потрібні воксели.

Голографічні 3D-екрани (НЗD) імітують просторове розміщення світлових хвиль у такому вигляді, як вони розташовувалися б при відбитті світла від реального тривимірного об'єкта.

Принцип роботи НЗD базується на використанні об'єктного і опорного когерентних променів, накладання яких переводить фазові характеристики об'єктного променя в амплітудні. Відтворення фазових характеристик в моніторі відбувається аналогічно відтворенню даних в голографічних дисках.

Бібліографічний список до розділу 5

1. Лебедь О. О. Основи квантового комп'ютера та квантової інформатики [Текст] / О. О. Лебедь, О. Ю. Дейнека, А. В. Рибалко, В. І. Гаращенко // Рівне : Видавництво НУВГП, 2014. – 151 с.
2. Сухно И. В. Углеродные нанотрубки. Часть 1. Высокотехнологические приложения. Учебное пособие [Текст] / И. В. Сухно, В. Ю. Бузько. – Краснодар : КубГУ, 2008. – 55 с.
3. Лебедь О. О. Фізичні основи інформаційних систем [Текст]/ О. О. Лебедь, В. Ф. Орленко, О. Д. Кочергіна. – Рівне : НУВГП, 2013. – 182 с.
4. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника [Текст] / Е. П. Угрюмов. – Петербург, 2004. – 528 с. : ил.
5. Мюллер С. Модернизация и ремонт ПК, 17-е издание [Текст] / С. Мюллер. – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2008. – 1360 с.
6. Чемес Е. А. Оптическая запись и воспроизведение цифровой информации / Е. А. Чемес // Одесса : Наука и техника, 2006. – 316 с.

РОЗДІЛ 6 ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРІВ

6.1. Молекулярний комп'ютер

Молекулярний комп'ютер – це пристрій, в якому замість напівпровідникових елементів на основі кремнію та германію, що застосовуються в класичних комп'ютерах, використовуються молекули і молекулярні ансамблі. В основі нової технологічної ери молекулярного комп'ютера знаходяться так звані «інтелектуальні молекули». Такі молекули (або молекулярні ансамблі) можуть існувати у двох термодинамічно стійких станах, кожний з яких має свої особливі фізичні та хімічні властивості. Переводити молекулу з одного стану в інший («перемикати») можна за допомогою світлового випромінювання, нагрівання, хімічних агентів, електричного і магнітного полів, тощо. Фактично такі бістабільні молекули – це нанорозмірні двобітові системи, що відтворюють на молекулярному рівні функцію класичного тригера.

Особливо важливі ті перетворення бістабільних молекул, після яких суттєво змінюється конфігурація електронних оболонок молекули. Наприклад, відомо, що у деяких молекул після ізомеризації електрони можуть вільно рухатись вздовж ізомерного ланцюжка, отже, з'являється здатність проводити електричний струм. Можуть змінюватися і інші властивості молекули: спектри поглинання зміщуються у видиму область, виникати нелінійні оптичні властивості і, що особливо важливо, флуоресценція.

Створення молекулярного комп'ютера можливе лише на базі молекулярного транзистора.

Молекулярні транзистори. У найзагальнішому вигляді під молекулярним транзистором розуміють транзистор розміром в одну молекулу. Ідея молекулярних транзисторів не нова. Ще в 1959 році американський фізик Р. Фейнман висловив ідею, згідно з якою молекули з певними властивостями, можуть працювати як тригери. Розміри молекулярного транзистора будуть в 100 разів меншими наймініатюрніших кремнієвих транзисторів, а його ефективність може бути в 100 млрд. разів вищою в порівнянні з сучасним кремнієвим транзистором (див. табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння характеристик транзистора молекулярного та класичного комп'ютера

Характеристика	Молекулярний комп'ютер	Класичний комп'ютер
Розміри, <i>нм</i>	1-10	до 100
Щільність елементів, <i>см⁻²</i>	10^{13}	10^7
Час відгуку, <i>мс</i>	10^{-9}	10^{-3}
Ефективність	10^{11}	1

Сьогодні розробка молекулярного комп'ютера просувається у напрямку паралельної розробки молекулярного процесора, молекулярної пам'яті та молекулярної шини.

Молекулярний процесор

Робота молекулярного процесора базується на роботі молекулярного тригера. Найбільш ефективні молекулярні тригери побудовані на фотохромних з'єднаннях, які ізомеризуються при переході до вищих збуджених електронних станів. Це може бути процес цис-транс - ізомеризації, періциклічних перетворень, фотопереносу протона, тощо. Після перемикання кардинально перебудовується електронна конфігурація оболонок молекули, а її геометрія залишається практично незмінною. Перспективні також топологічні ізомери супрамолекули – наприклад, перемикач, описаний Д.Ф. Стоддардом і Д. Хісом, (див. рис. 6.1). Моношар молекул катена (на рисунку – переплетені кругла і прямокутна частини молекули) поміщають між металевим і кремнієвим електродами. Після електрохімічного окиснення супрамолекули на одній з її частин (круглій) з'являється додатковий позитивний заряд. Після окиснення молекула перегрупується (кругла частина молекули повертається всередині прямокутної, $A^0 \rightarrow B^0$). Утворюється друга стабільна форма молекули, і змінюється її електричний опір. Головна перевага такого тригера – його виключно висока стійкість. Цикл окиснення-відновлення катена можна здійснювати 10-20 тисяч разів без помітного руйнування супрамолекулярної системи [1].

У 2001 році дослідницька група з «Лабораторій Белла», яка вивчала властивості так званих тіонів – органічних речовин з властивостями напівпровідників, отримала органічну молекулярну структу-

6.6. Інші розробки комп'ютерів

В літературі зустрічаються посилання на розробки нанокомп'ютерів (надмініатюрні електронні комп'ютери), фононних комп'ютерів (носіями інформації є теплові коливання кристалічної решітки – фонони), хімічних комп'ютерів (базуються на автоколиваннях Жаботинського-Белоусова), гідравлічних та пневматичних комп'ютерів, але всі вони здаються авторам на даний момент гіпотетичними і такими, що не мають відповідних технологій для реалізації.

Бібліографічний список до розділу 6

1. Минкин В. И. Теория строения молекул. Изд. 2-е [Текст] / В. И. Минкин, Б. Я.Симкин, Р. М. Миняев. – Ростов-на-Дону, «Феникс», 1997. – 558 с.
2. Oesterhelt D., Stoerkenius W. // Nature. 1971. V. 233. N 89. – P.149–160.
3. Сороко Л.М. Основы голографии и когерентной оптики. – М.: Наука, 1971. – 616 с.
4. Исихара С. Оптические компьютеры: Новая эра науки. – М.: Наука, 1992. – 96 с.
5. Carts Y. A. Optical computing nears reality. // Laser Focus World, 1990. – V. 26. – P. 53–54.
6. Guilfoyle P. S., Rudokas R. S., Stone R. V., Roos E. V. Digital optical computer II: performance specifications. // Optical Computing Technical Digest, 1991. P. 203–206.
7. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. – М.: Мир, 1965.
8. Саймон Хайкин, «Нейронные сети. Полный курс», 2-е изд., испр. : пер. с англ. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
9. Манин Ю. И. Вычислимое и невычислимое [Текст] / Ю. И. Манин. – М.: Сов. Радио. 1980. – 128 с.
10. Feynman R. Simulating physics with computers [Text] / R. Feynman // International Journal of Theoretical Physics. – 1982. – Vol. 21, No. 6/7. – P. 467–488.

11. Feynman R. Quantum mechanical computers [Text] / R. Feynman // Foundations of Physics. – 1986. – Vol. 16, P. 507–531. (Originally appeared in Optics News, February 1985.)
12. Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики [Текст] / П. А. М. Дирак. – М.: Наука, 1979. – 408 с.
13. Войтович І. Д. Перспективи квантових обчислень з використанням надпровідності [Текст] / І. Д. Войтович, В. М. Корсунський // Математичні машини і системи. – 2008. – №4. – С. 23–56.
14. Шор П. Полиномиальные по времени алгоритмы разложения числа на простые множители и нахождение дискретного алгоритма для квантового компьютера [Текст] / П. Шор // Сборник: «Квантовый компьютер и квантовые вычисления». Вып.2. Ижевск. – 1999. – С. 200–247.
15. Zalka C. Simulating quantum systems on a quantum computer [Text] / C. Zalka // Proc. Roy. Soc. London. – 1998. – P. 313–322.
16. Лебедь О. О. Основи квантового комп'ютера та квантової інформатики [Текст] / О. О. Лебедь, О. Ю. Дейнека, А. В. Рибалко, В. І. Гаращенко // Рівне : Видавництво НУВГП, 2014. – 151 с.
17. Loss D. [Text] / D. Loss, D. P. Di Vincenzo // Phys. Rev. – 1998. – A57. – P. 120.
18. Leibfried D. Transport quantum logic gates for trapped ions [Text] / D. Leibfried E. Knill, C. Ospelkaus D. J. Wineland // Phys.Rev. – 2007. – A 76, 032324.
19. Омелянчук А. Н. Квантовые компьютеры и джозефсоновские кубиты [Текст] / А. Н. Омелянчук, М. А. Оболенский // Университеты: наука и просвещение / Харьковский национальный университет. – Харьков: Имперіал. – 2005. – № 2 (22) – С. 10–17; № 3 (23). – С. 12–19.
20. Specht H. P. [Text] / H. P. Specht et al. // Nature 473, 190 (2011).
21. Правильщиков П. А. Квантовый параллелизм и квантовые D – алгоритмы [Электронный ресурс] / pavelp@ipu.ru.
22. Малинецкий Г. Г., Науменко С. А. Вычисление на ДНК. Эксперименты. Модели. Алгоритмы. Инструментальные средства. // Москва: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2005.

Зміст

ПЕРЕДМОВА.....	3
РОЗДІЛ 1	
ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.....	9
1.1. ЕЛЕМЕНТИ ЗОННОЇ ТЕОРІЇ НАПІВПРОВІДНИКІВ	9
1.2. ВЛАСНА ПРОВІДНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКІВ	13
1.3. ДОМШКОВА ПРОВІДНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКІВ	14
1.4. ЕЛЕКТРОННО-ДІРКОВИЙ ПЕРЕХІД	16
1.5. ПРИНЦИП ДІЇ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ДІОДА	17
1.5.1. Використання напівпровідникового діода	18
1.6. ТРАНЗИСТОРИ	23
1.6.1. Біполярні транзистори	23
1.6.1.1. Принцип дії біполярного транзистора	24
1.6.2. Польові транзистори	25
1.6.2.1. Принцип дії польового транзистора з	26
управляючим р-п переходом	26
1.6.2.2. Принцип дії польового транзистора з ізольованим	27
затвором	27
1.6.2.3. Польовий транзистор з плаваючим затвором	29
1.6.2.4. Тиристори	30
1.7. ОСНОВНІ ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ КОМП'ЮТЕРА	32
1.7.1. Основна «угода» цифрової електроніки	32
1.7.2. Логічні базиси	34
1.7.3. Найпростіші елементи, складені з елементів логічного	38
базису	38
1.7.3.1. Тригер	39
1.7.3.2. Мультиплексор (комутатор, селектор)	43
1.7.3.3. Демультиплексор (дешифратор, декодер)	44
1.7.3.4. Регістри	44
1.7.3.5. Суматор	48
1.7.3.6. Арифметико-логічний пристрій (АЛП)	51
1.7.3.7. Багаторозрядні селектори та зсувачі	52
1.8. ПРОЦЕСОР	53
1.8.1. Основні складові частини процесора	56
1.8.2. Розрядність та система команд процесора	58
1.8.3. СТРУКТУРА ПРОЦЕСОРА ТА КЕРУВАННЯ НИМ	60
1.8.4. Мікрокоманди і мікропрограми	64
1.8.5. Висновки	66

1.9. ОПЕРАТИВНІ ЗАПАМ'ЯТОВУЮЧІ ПРИСТРОЇ (ОЗП) НА БАЗІ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ТЕХНІКИ	67
1.9.1. Постійний запам'ятовуючий пристрій (ROM)	68
1.9.1.1. Будова і принцип дії ROM з можливістю перезапису	72
1.9.1.2. Будова і принцип дії МНОН і ЛІЗМОН	73
1.9.1.3. Будова і принцип дії SST	77
1.9.1.4. Будова і принцип дії MLC	78
1.9.2. Пам'ять типу RAM	78
1.9.2.1. DRAM	78
1.9.2.2. Кеш-пам'ять – SRAM	80
1.10. ЗОВНІШНІ ЗАПАМ'ЯТОВУЮЧІ ПРИСТРОЇ НА БАЗІ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ТЕХНІКИ	83
1.10.1. Твердотільні накопичувачі	83
1.10.2. Флеш-пам'ять	85
1.10.3. Карти пам'яті	88
Бібліографічний список до розділу 1	89

РОЗДІЛ 2

МАГНІТНІ МЕТОДИ, ЗАСТОСОВАНІ В ОБЧИСЛЮВАЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ	90
2.1. МАГНЕТИКИ	90
2.2. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРИНЦИПУ ЗАПИСУ НА МАГНІТНИЙ НОСІЙ ТА ЗЧИТУВАННЯ З НЬОГО	94
2.3. ЗОВНІШНІ ЗАПАМ'ЯТОВУЮЧІ ПРИСТРОЇ (ЗЗП), ЗАСНОВАНІ НА МАГНІТНОМУ ПРИНЦИПІ ЗАПИСУ, ЧИТАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ	96
2.3.1. Пам'ять на магнітній дротині	96
2.3.2. Пам'ять на магнітній стрічці	97
2.3.3. Пам'ять на магнітних осердях	103
2.3.4. Пам'ять на магнітних дисках	106
2.3.4.1. Жорсткий диск	109
2.3.4.2. Механічна система і сервосистема	112
2.3.4.3. Головки запису/читання	116
2.3.4.4. Блок електроніки	125
2.3.4.5. Корпус жорсткого диску	125
2.3.5. Накопичувач на гнучких магнітних дисках	126
2.3.6. Накопичувач на змінних жорстких дисках	127
2.3.7. Пам'ять на циліндричних магнітних доменах (ЦМД)	127
2.4. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАГНІТНОГО ЗБЕРІГАННЯ ІНФОРМАЦІЇ	130
Бібліографічний список до розділу 2	133

РОЗДІЛ 3

ОПТИЧНІ ПРИСТРОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ.....134

3.1. ЕЛЕМЕНТИ ОПТИКИ.....	134
3.1.1. Хвильові процеси.....	134
3.1.2. Інтерференція світла.....	137
3.1.3. Дифракція світла.....	137
3.1.4. Поляризація світла.....	138
3.1.5. Фотоефект.....	138
3.1.6. Лазер і принцип його роботи.....	140
3.1.7. Поняття про голографію.....	142
3.2. ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В КОМП'ЮТЕРНІЙ ТЕХНІЦІ.....	143
3.3. ПРИНЦИП ЗЧИТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ З КОМПАКТ-ДИСКУ.....	145
3.4. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАПИСУ ДАНИХ НА КОМПАКТ-ДИСКИ.....	147
3.4.1. Технології запису інформації на CD.....	147
3.4.2. Технології запису даних на DVD.....	152
3.4.3. Технології запису даних на BD.....	157
3.4.4. HD DVD.....	159
3.5. ПРИНЦИП РОБОТИ ОПТИЧНОГО ПРИВОДУ ЧИТАННЯ/ЗАПИСУ.....	159
3.6. МАГНІТООПТИЧНІ (МО) ТЕХНОЛОГІЇ В КОМП'ЮТЕРНІЙ ТЕХНІЦІ.....	162
3.7. ТРИВАЛІСТЬ ЗБЕРІГАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА КОМПАКТ-ДИСКАХ.....	164
Бібліографічний список до розділу 3.....	166

РОЗДІЛ 4

ПРИСТРОЇ ВВЕДЕННЯ ТА ВИВЕДЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ.....167

4.1. ПРИСТРОЇ ВВЕДЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ.....	168
4.1.1. Клавіатура.....	168
4.1.2. Маніпулятор типу «мишка».....	171
4.1.3. Джойстик.....	175
4.1.4. Сканер.....	175
4.1.5. Діжитайзер.....	179
4.1.6. Тачпад.....	179
4.1.7. Світлове перо.....	180
4.1.8. Сенсорний екран.....	180
4.1.8.1. Ємнісні сенсорні екрани.....	181
4.1.8.2. Резистивні сенсорні екрани.....	183
4.1.8.3. Хвильові (акустичні) сенсорні екрани.....	185
4.1.8.4. Інші види сенсорних екранів.....	187
4.1.8.5. Інші пристрої введення даних.....	187
4.2. Пристрої виведення інформації. Монітори.....	187

4.2.1. Електронно-променевий монітор, кінескоп.....	189
4.2.2. Монітори електростатичної емісії.....	191
4.2.3. Монітори на основі вуглецевих нанотрубок.....	193
4.2.4. Електролюмінісцентні екрани.....	194
4.2.5. Вакуумні флуоресцентні монітори.....	195
4.2.6. Плазмові монітори.....	196
4.2.7. Рідкокристалічні монітори.....	197
4.2.8. Світлодіодні екрани.....	201
4.2.9. Дисплеї на органічних світлодіодах.....	202
4.2.10. 3D-монітори.....	205
4.3. ПРОЕКТОРИ.....	209
4.3.1. Мікроелектромеханічні системи.....	209
4.3.1.1. Мікродзеркальні проектори.....	209
4.3.1.2. Проектори на основі технології TMA.....	210
4.3.1.3. Проектори на основі GLV-технології.....	210
4.3.1.4. Проектори на основі технології IMOD.....	211
4.4. ЕЛЕКТРОННИЙ ПАПІР.....	212
4.4.1. Електронний папір на основі технології Gyricon.....	213
4.4.2. Електронний папір на основі технології.....	214
електрозмочування.....	214
4.4.3. Електронний папір на основі нанотехнологій.....	215
4.4.4. Електронний папір на основі електрофлюїдної технології.....	217
4.4. ІНШІ ПРИСТРОЇ ВИВЕДЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ЕКРАН.....	218
4.5. ПРИНТЕРИ.....	218
4.5.1. Матричні (голчасті) принтери.....	219
4.5.2. Рядкові принтери.....	220
4.5.3. Кольорові голчасті принтери.....	220
4.5.4. Струменеві принтери.....	221
4.5.5. Кольорові струменеві принтери.....	223
4.5.6. Термічні принтери.....	224
4.5.7. Сублимаційні та термовоскові принтери.....	225
4.5.8. Лазерні технології друку.....	226
4.5.9. Лазерні кольорові принтери.....	228
4.5.10. Світлодіодні принтери.....	229
4.5.11. Твердочорнильні принтери.....	230
4.5.12. 3D-принтери.....	232
4.6. ІНШІ ПРИСТРОЇ ВИВЕДЕННЯ ДАНИХ.....	240
Бібліографічний список до розділу 4.....	241

РОЗДІЛ 5

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕАЛІЗАЦІЇ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН КЛАСИЧНОГО КОМП'ЮТЕРА	242
5.1. ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ	242
5.1.1. Транзистори на основі нанотрубок	243
5.1.2. Тривимірні транзистори	246
5.2. ПЕРСПЕКТИВНІ ВИДИ ОПЕРАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ	247
5.2.1. Оперативна пам'ять на основі напівпровідників	247
5.2.2. Магнітна оперативна пам'ять	260
5.2.3. Механічна оперативна пам'ять	262
5.3. ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАГНІТНОГО ЗБЕРІГАННЯ ІНФОРМАЦІЇ	264
5.3.1. Система магнітного теплового зберігання даних	264
5.3.2. Система структурованого (патернованого) зберігання даних	265
5.3.3. Технологія AFC	267
5.4. ПЕРСПЕКТИВНІ ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В КОМП'ЮТЕРНІЙ ТЕХНІЦІ	268
5.4.1. Флуоресцентні технології	268
5.4.2. Голографічна система запису та зберігання інформації	272
5.4.3. Перспективні 3D-технології	278
Бібліографічний список до розділу 5	282

РОЗДІЛ 6

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРІВ	282
6.1. МОЛЕКУЛЯРНИЙ КОМП'ЮТЕР	282
6.2. ОПТИЧНИЙ КОМП'ЮТЕР	290
6.3. НЕЙРОКОМП'ЮТЕР	303
6.4. КВАНТОВИЙ КОМП'ЮТЕР	313
6.5. БІОКОМП'ЮТЕР	331
6.6. ІНШІ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРІВ	345
Бібліографічний список до розділу 6	345

Навчальне видання

*Лебедь Олександр Олександрович,
Мислінчук Володимир Олександрович,
Войтович Леонід Володимирович*

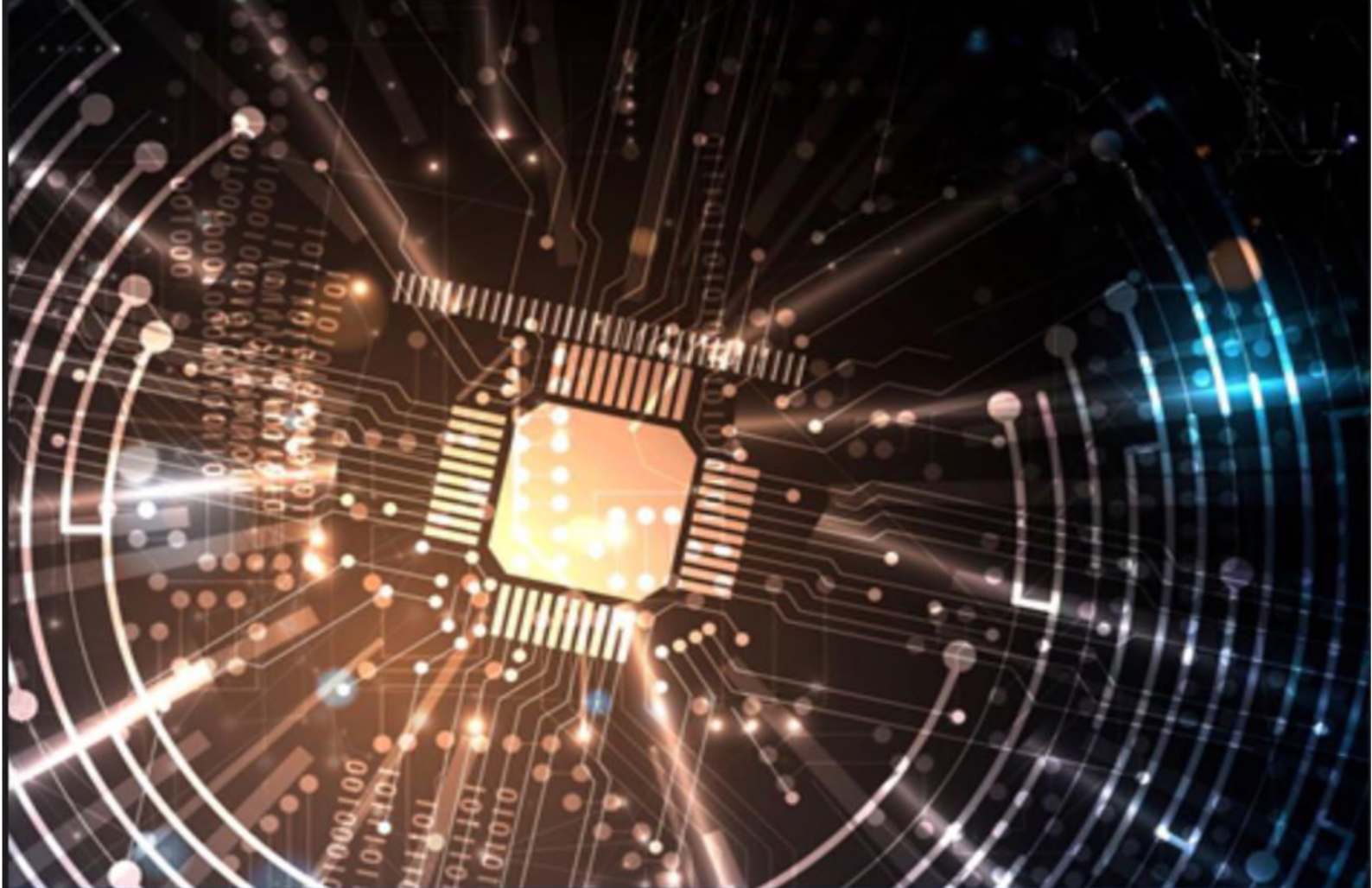
ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Навчальний посібник

Видання друге, змінене і доповнене

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 22.03.2023 р. Формат 60x84 1/16.
Папір офсетний. Гарнітура "Times New Roman". Друк офсет.
Ум. друк. арк. 20,46. Наклад 100 пр. Зам. 16.
Видавництво "Волинські обереги".
33028 м. Рівне, вул. 16 Липня, 38; тел./факс: (0362) 62-03-97;
e-mail: oberegi97@ukr.net
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єкта видавничої справи ДК № 270 від 07.12.2000 р.
Надруковано в друкарні видавництва "Волинські обереги".



О.О. ЛЕБЕДЬ, В.О. МИСЛІНЧУК, Л.В. ВОЙТОВИЧ

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

О.О. ЛЕБЕДЬ, В.О. МИСЛІНЧУК, Л.В. ВОЙТОВИЧ

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК