

Міністерство освіти і науки України
Міжнародний гуманітарний університет
Кафедра комп'ютерних наук

Русу О.П.

**КОМП'ЮТЕРНА СХЕМОТЕХНІКА
ТА АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРІВ**

Конспект лекцій
для здобувачів вищої освіти,
які навчаються за спеціальностями
галузі «Інформаційні технології»

Одеса 2025

Затверджено Вченою Радою Міжнародного гуманітарного університету.
Протокол № 5 від 20 січня 2025 р.

Русу О.П. Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів. Конспект лекцій для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальностями галузі «Інформаційні технології» [Електронне видання]. Кафедра комп'ютерних наук Міжнародного гуманітарного університету. Одеса, 2025. 41 с.

Дисципліна «Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів» спрямована на засвоєння базових положень цифрової схемотехніки, принципів подання та обробки інформації у комп'ютерних системах, структури персональних комп'ютерів і спеціалізованих обчислювальних пристроїв, а також механізмів взаємодії програмного забезпечення з апаратною частиною. Результатом вивчення дисципліни є формування у здобувачів здатності аналізувати апаратну конфігурацію комп'ютерних систем, розуміти обмеження та можливості елементної бази цифрової техніки, оцінювати вплив архітектурних рішень на ефективність роботи програмного забезпечення та застосовувати отримані знання під час проєктування і розроблення програмних систем.

ЗМІСТ

ТЕМА 1. ПРИНЦИПИ РОБОТИ ЦИФРОВОЇ ТЕХНІКИ.....	4
Лекція 1. Основи архітектури комп'ютерів та цифрової техніки	4
Лекція 2. Формати подання даних та числові системи в цифрових системах.....	6
Лекція 3. Логічні операції та булева алгебра в цифрових системах	9
ТЕМА 2. АПАРАТНА ОСНОВА КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ	12
Лекція 4. Цифрова схемотехніка: принципи, елементи та синтез схем	12
Лекція 5. Типові вузли та функціональні блоки цифрових систем.....	13
Лекція 6. Апаратні компоненти та інтерфейси цифрових систем	15
ТЕМА 3. ПЕРСОНАЛЬНІ КОМП'ЮТЕРИ ТА ЇХ ІНТЕРФЕЙСИ	19
Лекція 7. Структура персонального комп'ютера.....	19
Лекція 8. Апаратна архітектура ПК та її роль у розробці ПЗ.....	22
Лекція 9. Апаратні засоби людино-машинного інтерфейсу.....	24
Лекція 10. Апаратні інтерфейси персональних комп'ютерів.....	26
ТЕМА 4. КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	31
Лекція 11. Організація та управління даними у локальних і глобальних мережах.....	31
Лекція 12. Сучасні тенденції розвитку комп'ютерної техніки та серверних систем	33
Лекція 13. Комп'ютерні засоби для Інтернету речей.....	37
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	40

ТЕМА 1. ПРИНЦИПИ РОБОТИ ЦИФРОВОЇ ТЕХНІКИ

Лекція 1. Основи архітектури комп'ютерів та цифрової техніки

Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів формують базовий технічний фундамент підготовки інженера програмного забезпечення, оскільки саме вони описують реальні механізми, за допомогою яких будь-який програмний код перетворюється на фізичні операції в обчислювальній системі. Розуміння принципів функціонування цифрової техніки дає змогу усвідомлювати, як логічні елементи, комбінаційні й послідовні схеми реалізують арифметичні, логічні та керувальні структури, які в програмуванні подаються через оператори, функції, типи даних і структури управління. Інженер, який володіє знаннями про способи подання інформації в комп'ютері, зокрема двійкові коди, формати чисел із фіксованою та плаваючою комою, схеми кодування символів і даних, може точніше прогнозувати поведінку програм при роботі з різними типами даних, уникати помилок переповнення та втрати точності, коректно проектувати обчислювальні алгоритми і моделі обробки даних.

Глибоке розуміння архітектури мікропроцесорів та мікроконтролерів дозволяє аналізувати, як програма взаємодіє з багаторівневою системою пам'яті, як працюють кеш-механізми, конвеєризація, прогнозування переходів, переривання та системні виклики, і як ці процеси впливають на загальну продуктивність програмного забезпечення. Знання принципів організації зберігання даних і типів пам'яті допомагає інженеру оптимально структурувати доступ до ресурсів, зменшувати затримки та уникати конфліктів при роботі з оперативною пам'яттю, периферією або зовнішніми носіями. Архітектура інтерфейсів, як цифрових, так і аналогових, формує розуміння того, як програмне забезпечення може взаємодіяти із зовнішніми пристроями, які вимоги накладаються на формати сигналів, пропускну здатність, часові характеристики та протоколи обміну.

У контексті високорівневого програмування інженер, який розуміє апаратні обмеження і схему побудови комп'ютерних систем, здатний проектувати алгоритми з урахуванням реальної вартості операцій, правильно оцінювати складність обчислень, розуміти природу затримок у системах введення-виведення та прогнозувати поведінку програм у паралельних і розподілених середовищах. У прикладних і системних галузях такі знання є критичними для ефективної роботи з драйверами, операційними системами, засобами вбудованого програмування, мережевими протоколами та інтерфейсами мікроконтролерів. Таким чином, комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів забезпечують інженера необхідним технічним контекстом, без якого неможливо створювати програмне забезпечення, що відповідає сучасним вимогам до продуктивності, надійності та інтеграції з апаратними платформами.

Історія розвитку цифрової обчислювальної техніки розвивалася від перших електромеханічних і лампових систем до сучасних високопродуктивних мікропроцесорів і вбудованих платформ, при цьому ключовим трендом стала поступова заміна аналогових методів обробки сигналів на цифрові. Перші обчислювальні машини використовували релейні та лампові елементи, працювали з низькою швидкістю, мали значну енергоспоживання та були орієнтовані на виконання обмеженого набору операцій. Їхня функціональність визначалась рівнем розвитку схемотехніки та можливостями побудови надійних логічних вузлів. Перехід до транзисторної та інтегральної технології сприяв

підвищенню швидкодії, зменшенню розмірів елементної бази та формуванню архітектури, що стала основою сучасних цифрових систем. Подальша еволюція привела до появи мікропроцесорів, які інтегрували на одному кристалі обчислювальні ядра, модулі пам'яті, інтерфейси та логіку керування, дозволяючи створювати компактні, енергоефективні й універсальні обчислювальні пристрої. Це забезпечило формування персональних комп'ютерів, мобільних систем, високошвидкісних серверів та спеціалізованих вбудованих рішень.

Аналогова техніка ґрунтується на безперервних фізичних процесах, де інформація подається у вигляді неперервних змін параметрів сигналу, таких як напруга чи струм. Такі системи чутливі до шумів, мають обмежену точність і потребують складних методів стабілізації, проте вони добре підходять для обробки реальних фізичних величин у режимі реального часу. Цифрова техніка оперує дискретними логічними рівнями, що дозволяє однозначно кодувати інформацію, використовувати формальні методи аналізу, забезпечувати високу стійкість до завад і масштабованість архітектури. Цифрові схеми стали домінуючими завдяки можливості інтегрувати мільярди транзисторів на одному кристалі, застосовувати оптимізації на рівні алгоритмів, мікроархітектури та інтерфейсів, а також забезпечувати уніфікацію процесів проєктування. Взаємодія аналогової та цифрової техніки сьогодні реалізується через змішані системи, у яких аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі виконують роль мосту між фізичними сигналами та цифровими обчислювальними ядрами. Це дозволяє створювати універсальні платформи, які поєднують високу точність цифрової обробки з можливістю безпосередньої взаємодії з навколишнім середовищем.

Фізичні основи роботи цифрових пристроїв ґрунтуються на властивостях напівпровідникових матеріалів, у яких керування потоками носіїв заряду дає змогу реалізувати логічні операції та зберігання інформації. Базовим елементом є транзистор, що працює як електронний ключ і забезпечує перехід між двома стабільними станами, які інтерпретуються як логічні рівні «0» і «1». Стани формуються за рахунок зміни провідності напівпровідникового переходу під впливом прикладеної напруги, що дозволяє створювати комбінаційні та послідовні схеми, які виконують обчислення та керування. Робота цифрових пристроїв також спирається на електрофізичні процеси перемикання, де час затримки, ємність з'єднань і внутрішні паразитні параметри визначають швидкість та енергоспоживання логічних елементів.

Стабільність логічних рівнів забезпечується допустимими вікнами напруг, що дозволяє компенсувати вплив шумів і зовнішніх завад, завдяки чому цифрові схеми зберігають коректність роботи навіть у складних умовах. Тактова синхронізація координує роботу послідовних вузлів, формуючи часову структуру обробки даних та забезпечуючи узгодженість між етапами обчислень. Пам'ять цифрових пристроїв, як динамічна, так і статична, реалізується на основі транзисторних комірок, здатних утримувати заряд або стан транзисторів, що визначає зберігання бітів інформації у визначений проміжок часу. Сукупність цих фізичних процесів забезпечує надійність, відтворюваність і масштабованість цифрових систем, що є фундаментом для сучасних обчислювальних платформ.

Елементна база цифрової техніки охоплює сукупність напівпровідникових компонентів, на основі яких реалізуються логічні операції, зберігання даних та керування сигналами в обчислювальних системах. Основою сучасних цифрових пристроїв є інтегральні мікросхеми, побудовані на транзисторних структурах, що дозволяють формувати комбінаційні та послідовні логічні вузли різної складності. Розвиток елементної бази

пройшов шлях від дискретних транзисторів і логічних модулів низького ступеня інтеграції до високоденситних БІС і надвеликих ІС, які здатні містити мільярди транзисторів на одному кристалі. В основу їх роботи покладено керування провідністю напівпровідникових структур, що забезпечує швидке й надійне перемикання між логічними станами.

Типи логіки класифікуються за електричними характеристиками й параметрами компонентів, які формують логічні функції. Найпоширенішими є логіка TTL, що базується на біполярних транзисторах і забезпечує високу швидкодію при помірному енергоспоживанні, та логіка CMOS, яка використовує комплементарні пари МОН-транзисторів і характеризується мінімальними статичними втратами енергії та високою щільністю інтеграції. Існують також спеціалізовані типи логіки, такі як ECL із надвисокою швидкістю перемикання, але підвищеним енергоспоживанням, або BiCMOS, що поєднує швидкодію біполярних транзисторів із низьким споживанням CMOS. Кожен тип логіки визначає допустимі рівні сигналів, навантажувальну здатність, часові параметри та стійкість до завад, що впливає на загальні характеристики цифрових схем. Формування обчислювальних систем на основі різних логічних стандартів дає змогу досягати оптимального балансу між швидкодією, енергетичною ефективністю та технологічною складністю, що є ключовим фактором у проектуванні сучасної цифрової техніки.

Лекція 2. Формати подання даних та числові системи в цифрових системах

Формати подання інформації в цифрових системах визначають спосіб кодування даних для зберігання, обробки та передачі між апаратними компонентами. Найменшою одиницею інформації є біт, який може набувати одного з двох логічних станів, що традиційно позначають як «0» або «1». Групування бітів у стандартні блоки дозволяє ефективніше організовувати пам'ять і шини обміну; основною одиницею такого групування є байт, що складається зазвичай з восьми бітів і слугує базовою мірою об'єму інформації у більшості комп'ютерних систем. Байти використовуються для кодування окремих символів у тексті, представлення числових значень та адресації пам'яті, що дозволяє уніфікувати способи доступу до даних на різних рівнях системи.

Машинне слово являє собою блок бітів, який обробляється центральним процесором як єдина одиниця, визначаючи розрядність обчислювальної системи і ширину регістрів, шин даних та адрес. Розмір машинного слова безпосередньо впливає на обсяг обчислюваних чисел, точність арифметичних операцій, максимальну адресну пам'ять та ефективність роботи процесора з даними. Організація даних у словах дозволяє процесору виконувати операції над цілими блоками бітів одночасно, оптимізуючи обчислювальні цикли та забезпечуючи сумісність між різними апаратними модулями. Взаємодія між бітами, байтами та машинними словами формує основу для подальшого представлення складніших типів даних, таких як цілі числа, числа з плаваючою комою, символічні та логічні масиви, що дозволяє забезпечити уніфіковану і структуровану обробку інформації в цифрових обчислювальних системах.

Системи числення є формальною методикою представлення числових значень у вигляді послідовності символів певного алфавіту, де позиційне значення символу визначає його внесок у загальну величину числа. У цифрових системах найпоширенішими є двійкова, вісімкова, десяткова та шістнадцяткова системи числення, причому двійкова система лежить в основі роботи комп'ютера, оскільки її два стани відповідають логічним рівням «0» і «1», які можуть реалізовуватися фізично через провідність напівпровідників. Переведення чисел

між системами числення виконується за допомогою арифметичних процедур, зокрема ділення та множення з урахуванням основи системи, або за допомогою табличного співставлення розрядів, що забезпечує коректне відображення числових значень при взаємодії програмного забезпечення з апаратними компонентами та при трансляції даних між різними програмними модулями.

Цілі числа в цифрових системах традиційно подаються у двійковому коді, причому для зручності обчислень з від'ємними числами застосовується додатковий код. У додатковому коді від'ємні числа формуються шляхом інверсії всіх бітів позитивного числа з подальшим додаванням одиниці, що дозволяє уніфікувати операції додавання та віднімання, спростити логіку арифметичних пристроїв і забезпечити коректну обробку переповнень. Для дробових чисел використовується подання у форматі з фіксованою або плаваючою комою. Формат з фіксованою комою визначає розташування дробової та цілої частини в заданій кількості бітів, тоді як формат з плаваючою комою реалізує стандарт IEEE і дозволяє представити широкий діапазон чисел за допомогою мантиси та порядку, забезпечуючи баланс між точністю і масштабом обчислень. Обидва підходи до подання дробових чисел є критичними для коректної роботи арифметичних модулів, алгоритмів обробки сигналів, наукових розрахунків і обробки даних із змінною точністю в сучасних цифрових обчислювальних системах.

Кодування символічної інформації в цифрових системах забезпечує перетворення текстових даних у послідовності бітів для зберігання, обробки та передачі між апаратними компонентами та програмними модулями. Одним із найпоширеніших стандартів є ASCII, який використовує 7 або 8 бітів на символ і дозволяє кодувати англійські літери, цифри, службові символи та базовий набір знаків пунктуації. ASCII забезпечує просту і компактну репрезентацію тексту, але обмежений можливістю подання лише обмеженого набору символів, що ускладнює роботу з міжнародними мовами. Для розширення можливостей кодування застосовується стандарт Unicode, який дозволяє відображати символи практично всіх мов світу, а також спеціальні графічні та контрольні символи. Unicode реалізується через різні схеми кодування, зокрема UTF-8, UTF-16 та UTF-32, де UTF-8 забезпечує змінну довжину байтів на символ, зберігаючи сумісність із ASCII, а UTF-16 і UTF-32 використовують фіксовану або напівфіксовану довжину для уніфікованого представлення символів.

Арифметичні операції у двійковій системі ґрунтуються на правилах виконання додавання, віднімання, множення та ділення з використанням двійкових цифр. Додавання реалізується через послідовне сумування бітів із врахуванням переносу, що формує основний алгоритм роботи арифметико-логічних пристроїв. Віднімання зазвичай виконується через додавання числа в додатковому коді, що дозволяє використовувати уніфіковану апаратну логіку і спрощує схему обробки негативних значень. Множення здійснюється як послідовне додавання зсувів або через спеціалізовані комірки, а ділення реалізується алгоритмічно шляхом послідовного віднімання та зсуву результатів. Використання двійкової системи забезпечує однозначне відображення операцій у логічних схемах процесора, дозволяє досягати високої швидкодії та точності обчислень і формує основу для реалізації всіх арифметичних та логічних функцій у цифрових обчислювальних системах.

Аналіз переповнення в цифрових системах є критичним етапом при виконанні арифметичних операцій, оскільки обмежена розрядність машинного слова може призводити до втрати значущих бітів і формування некоректного результату. Переповнення відбувається, коли результат операції виходить за межі допустимого діапазону

представлення числа, що особливо важливо для цілочисельних обчислень у додатковому коді, де знак числа і його величина кодуються у фіксованому наборі бітів. Аналіз включає виявлення ситуацій переповнення шляхом контролю переносу старшого біта, знакового біта та перевірки коректності обчислення, що дозволяє розробляти надійні алгоритми обробки даних і забезпечувати стабільність роботи програмного забезпечення при обмежених апаратних ресурсах.

Нестандартні системи числення та багатозначна логіка застосовуються в спеціалізованих обчислювальних системах і пристроях, де двійкова логіка не забезпечує необхідної ефективності або компактності. До таких належать трійкова, четверична або позиційні системи з основою, відмінною від двійкової, а також багатозначна логіка, у якій сигнали можуть набувати більш ніж двох дискретних станів. Ці підходи дозволяють зменшити кількість елементів у схемі, підвищити щільність інтеграції і скоротити енергоспоживання, проте потребують спеціалізованих схем управління та перетворення для сумісності з традиційними цифровими системами.

Використання системи числення у програмуванні та комп'ютерній техніці є фундаментальним, оскільки формує базу для представлення даних, організації пам'яті, адресації та обчислень. Двійкова система застосовується у всіх логічних і арифметичних модулях процесора, шинах даних і комунікаційних протоколах. Вісімкова та шістнадцяткова системи числення часто використовуються програмістами для компактного подання двійкових значень, зручної нотації масок, регістрів і адрес у відладці та розробці низькорівневого коду. Використання числових систем забезпечує коректну інтерпретацію даних між апаратурою та програмним забезпеченням, дозволяє формалізовано описувати алгоритми, оптимізувати ресурси обчислювальної системи і забезпечує точність та ефективність виконання програмних завдань у сучасних цифрових обчислювальних середовищах.

Розрядність процесора визначає ширину машинного слова, розмір регістрів, ширину шин даних та адресну здатність системи, що безпосередньо впливає на обсяг адресованої пам'яті. Чим більша розрядність, тим ширший діапазон чисел може обробляти процесор і тим більше адрес може бути сформовано для доступу до оперативної пам'яті та пристроїв введення-виведення. Наприклад, 32-розрядний процесор забезпечує можливість адресації до 4 гігабайт пам'яті без додаткових механізмів розширення, тоді як 64-розрядні архітектури дозволяють адресувати значно більші обсяги пам'яті, що критично для сучасних серверів, баз даних і ресурсомістких обчислень. Розрядність визначає також точність арифметичних операцій, діапазон допустимих значень і обсяг обчислюваних даних за один такт процесора, що впливає на продуктивність програмних алгоритмів і оптимізацію використання ресурсів.

Апаратні обмеження цифрових систем, зокрема затримки логічних елементів, пропускна здатність шин, ємності регістрів, швидкодія пам'яті та енергоспоживання компонентів, формують безпосередні вимоги до програмного забезпечення. Інженеру необхідно враховувати ці обмеження при розробці алгоритмів, виборі структур даних, оптимізації циклів обробки та управлінні ресурсами системи. Наприклад, обмежений обсяг оперативної пам'яті вимагає економного використання буферів і кешів, затримки в шинах даних накладають вимоги до паралельності та синхронізації обчислень, а енергетичні обмеження мобільних платформ диктують ефективність програмних циклів та використання режимів зниженого енергоспоживання. У комплексі розрядність процесора та апаратні обмеження визначають рамки, у межах яких програмне забезпечення повинно функціонувати, забезпечуючи коректність, продуктивність і надійність цифрових систем.

Лекція 3. Логічні операції та булева алгебра в цифрових системах

Логічні операції I, АБО, НЕ, XOR, NAND та NOR є базовими функціями цифрової логіки і формують основу побудови комбінаційних та послідовних схем у цифрових системах. Операція I (AND) реалізує кон'юнкцію, при якій результатом є логічна одиниця лише тоді, коли всі вхідні сигнали мають стан «1», інакше вихід дорівнює «0». Операція АБО (OR) забезпечує диз'юнкцію: вихід дорівнює «1», якщо хоча б один вхід має стан «1», і «0», коли всі входи дорівнюють нулю. Операція НЕ (NOT) є унарною і виконує інверсію вхідного сигналу, перетворюючи «0» на «1» та «1» на «0». XOR, або виключне АБО, формує логічну одиницю на виході, якщо кількість одиничних вхідних сигналів непарна, що широко застосовується у схемах суматорів, перевірки парності та кодуванні даних.

NAND і NOR є універсальними елементами, що поєднують базові операції з інверсією вхідного сигналу. NAND є інверсією операції I, видаючи «0» лише тоді, коли всі входи дорівнюють «1», а NOR є інверсією операції АБО, формуючи «1» лише тоді, коли всі входи рівні нулю. Завдяки універсальності NAND і NOR можливе побудування будь-яких логічних функцій з їх використанням, що спрощує елементну базу та інтеграцію схем. Всі перераховані операції реалізуються апаратно через транзисторні ключі або логічні мікросхеми, визначаючи структуру цифрових вузлів, їх швидкодію, енергоспоживання та надійність роботи обчислювальних систем, і є фундаментом для синтезу складних логічних схем та програмованих цифрових пристроїв.

Математичні основи булевої алгебри визначають формальні правила оперування логічними величинами, які набувають лише двох значень – «0» та «1», і забезпечують методологію аналізу та синтезу цифрових схем. Булева алгебра дозволяє представляти логічні функції у вигляді формул, схем або таблиць істинності, що дає змогу формально визначати взаємозв'язок між вхідними сигналами та очікуваними виходами. В цифровій техніці ці принципи застосовуються для оптимізації логічних вузлів, створення комбінаційних схем, суматорів, мультиплексорів, дешифраторів і регістрів, а також для зменшення числа елементів у схемі при збереженні коректності виконання функцій. Булева алгебра є основою формалізації процесів проектування апаратного забезпечення та автоматизації синтезу цифрових пристроїв.

Закони булевої алгебри формують систему правил для перетворення та спрощення логічних виразів. Серед основних законів виділяють закони ідентичності, нуля та одиниці, комутативності, асоціативності та дистрибутивності, які визначають порядок і властивості виконання операцій I, АБО та НЕ. Закон поглинання дозволяє спрощувати складні вирази за допомогою видалення повторюваних термів, а закон подвійної інверсії гарантує повернення початкового значення після дворазового застосування операції НЕ. Закони Де Моргана перетворюють комбінації операцій з інверсією, що особливо важливо при реалізації цифрових схем на універсальних логічних елементах NAND та NOR. Використання цих законів дозволяє інженеру аналізувати функціональні залежності, мінімізувати апаратну реалізацію, підвищувати швидкодію схем, зменшувати енергоспоживання і забезпечувати надійну роботу цифрових пристроїв у реальних умовах.

Перетворення логічних виразів є ключовим етапом аналізу та синтезу цифрових схем, що дозволяє спрощувати функції, оптимізувати використання логічних елементів і підвищувати ефективність апаратної реалізації. Логічні вирази, що описують залежність вихідних сигналів від набору вхідних, можуть бути представлені у різних формах, таких як кон'юнктивна або диз'юнктивна нормальна форма, та піддаються алгебраїчним

перетворенням із застосуванням законів булевої алгебри. Перетворення включає упорядкування термів, застосування законів Де Моргана, об'єднання та видалення повторюваних або поглинаючих членів, що дозволяє зменшити складність схеми, кількість елементів та зменшити час затримки сигналів у логічних ланцюгах.

Таблиці істинності є формальним методом представлення логічної функції, що показує всі можливі комбінації вхідних сигналів та відповідні значення вихідного сигналу. Кожен рядок таблиці відповідає конкретній конфігурації входів і демонструє результат обчислення функції для цієї конфігурації. Таблиці істинності використовуються для перевірки коректності логічних виразів, побудови комбінаційних схем, автоматизованого синтезу логіки та спрощення функцій. Вони забезпечують наочне уявлення про поведінку цифрового вузла, дозволяють виявляти надлишкові терми або суперечності у виразах і є основою для алгоритмічних методів мінімізації логічних функцій, таких як карти Карно або методи програмної оптимізації схем. Таким чином, перетворення логічних виразів у поєднанні з таблицями істинності забезпечує структуроване і формалізоване проектування цифрових систем із гарантованою функціональною коректністю.

Мінімізація логічних функцій за допомогою карт Карно є ефективним графічним методом спрощення комбінаційних схем, що дозволяє зменшити кількість логічних елементів і оптимізувати їх апаратну реалізацію. Карта Карно являє собою таблицю, де всі можливі комбінації вхідних змінних розташовані у вигляді двовимірної або багатовимірної сітки з урахуванням послідовності Грея, що забезпечує зміну лише одного біта між суміжними комірками. Кожна комірка карти містить значення логічної функції для відповідної комбінації вхідних сигналів, що дозволяє наочно виявляти групи одиниць або нулів, які можуть бути об'єднані для спрощення виразу.

Процес мінімізації включає пошук найбільших суміжних блоків одиниць (для кон'юнктивної нормальної форми) або нулів (для диз'юнктивної нормальної форми), що дозволяє скоротити число термів та змінних у кожному термі. Об'єднання суміжних елементів забезпечує видалення надлишкових змінних, збереження еквівалентності функції та отримання оптимального логічного виразу. Використання карт Карно особливо ефективно для функцій із чотирма–шістьма змінними, дозволяє швидко виявляти закономірності, зменшує ймовірність помилок при ручному спрощенні та формує основу для автоматизованих алгоритмів оптимізації цифрових схем. Мінімізація функцій за допомогою цього методу забезпечує підвищення швидкодії, зменшення енергоспоживання та компактності апаратної реалізації цифрових пристроїв.

Універсальні логічні елементи NAND і NOR відіграють ключову роль у побудові цифрових схем завдяки своїй здатності реалізовувати будь-яку логічну функцію. Елемент NAND є інверсією операції І, формуючи логічний нуль лише тоді, коли всі вхідні сигнали дорівнюють одиниці, а елемент NOR є інверсією операції АБО, видаючи логічну одиницю тільки при нульових значеннях усіх входів. Завдяки цим властивостям будь-яку комбінаційну або послідовну логічну функцію можна реалізувати, використовуючи лише елементи одного типу, що спрощує апаратну реалізацію, уніфікує технологічні процеси виробництва та дозволяє оптимізувати енергоспоживання і щільність інтеграції цифрових пристроїв.

У практичній схемотехніці використання NAND і NOR забезпечує компактність і стандартизацію модулів, дозволяючи конструювати суматори, дешифратори, мультиплексори та тригери на базі повторюваних універсальних вузлів. Мінімізація логічних функцій, що реалізуються через ці елементи, дозволяє зменшити кількість транзисторів,

скоротити затримки перемикання і підвищити швидкодію схеми. Крім того, універсальні елементи спрощують автоматизоване проєктування цифрових пристроїв у середовищах моделювання та синтезу логіки, оскільки однаковий базовий елемент може замінювати будь-яку складну комбінацію логічних операцій. Використання NAND і NOR як фундаментальних будівельних блоків цифрових схем забезпечує гнучкість проєктування, масштабованість систем і ефективне використання обмежених ресурсів сучасної елементної бази.

ТЕМА 2. АПАРАТНА ОСНОВА КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ

Лекція 4. Цифрова схемотехніка: принципи, елементи та синтез схем

Цифрова схемотехніка є розділом електроніки, що займається проєктуванням, аналізом та реалізацією цифрових пристроїв на основі логічних елементів. Основним завданням цифрової схемотехніки є забезпечення коректної обробки дискретних сигналів, представлених у вигляді логічних рівнів «0» і «1», шляхом побудови комбінаційних та послідовних схем, які виконують арифметичні, логічні та керувальні функції. Проєктування цифрових схем передбачає визначення структури логічних вузлів, вибір типів елементів, розподіл тактових сигналів та організацію взаємодії між підсистемами, що забезпечує надійність, швидкодію та енергетичну ефективність цифрового пристрою.

Фізичні принципи роботи транзисторів у цифрових логічних елементах ґрунтуються на керуванні провідністю напівпровідникових переходів шляхом прикладання електричного потенціалу. Транзистор виступає як ключ, який може перебувати у відкритому або закритому стані, що відповідає логічним рівням «1» і «0». У біполярних транзисторах зміна базового струму контролює протікання колекторного струму, тоді як у польових транзисторах напруга на затворі визначає провідність каналу. Ці властивості дозволяють формувати логічні вузли, де комбінації транзисторів реалізують операції І, АБО, НЕ та їх похідні. Фізична реалізація транзисторних комбінацій визначає швидкодію елементів, затримки перемикавання, енергоспоживання та надійність роботи цифрових схем, що є критичним для побудови високошвидкісних процесорів, пам'яті та периферійних модулів.

КМОН (CMOS) та ТТЛ (TTL) логіка є базовими технологіями реалізації цифрових схем і визначають електричні характеристики, швидкодію та енергоспоживання логічних елементів. TTL-логіка ґрунтується на біполярних транзисторах і забезпечує високу швидкодію при порівняно помірному споживанні енергії, характеризується стабільними рівнями сигналів і відносно простою схемотехнікою для низькорозрядних інтегральних мікросхем. Вона добре підходить для реалізації комбінаційних та послідовних схем, де критичними є швидкість перемикавання та надійність роботи при стандартних рівнях живлення.

CMOS-логіка базується на використанні комплементарних пар польових транзисторів і характеризується дуже низьким статичним енергоспоживанням, високою щільністю інтеграції та стійкістю до шумів. У CMOS-елементах споживання енергії відбувається переважно під час перемикавання станів, що дозволяє створювати енергоефективні та компактні цифрові пристрої з великою кількістю логічних вузлів на одному кристалі. Порівняно з TTL, CMOS-схеми забезпечують ширший діапазон напруги живлення, меншу теплову деградацію та більшу гнучкість при проєктуванні великих інтегральних схем, включаючи процесори, пам'ять та вбудовані контролери. Вибір між TTL та CMOS визначається вимогами до швидкодії, енергоспоживання, щільності інтеграції та специфікою застосування цифрової системи.

Технології TTL та CMOS мають принципові відмінності, що впливають на швидкодію, енергоспоживання, щільність інтеграції та умови експлуатації цифрових схем. TTL-елементи, побудовані на біполярних транзисторах, забезпечують високу швидкість перемикавання та надійність при стандартних напругах живлення, але мають відносно високе статичне споживання енергії та обмежену щільність інтеграції. CMOS-технологія, заснована

на комплементарних польових транзисторах, відрізняється низьким статичним енергоспоживанням, високою щільністю інтеграції та стійкістю до шумів, проте її швидкодія нижча при низьких напругах живлення, а час затримки перемикавання залежить від ємності навантаження. Порівняння цих технологій показує, що TTL підходить для високошвидкісних схем із невеликою інтеграцією, тоді як CMOS оптимальна для компактних, енергоефективних та високорозрядних систем.

Серед інтегральних мікросхем цифрової техніки поширеними є серії CDxx та 74xx. Серія 74xx, що базується на TTL, включає логічні елементи стандартної швидкодії та підвищеної температурної стійкості, характеризується напругою живлення 5 В, швидкістю перемикавання в межах десятків наносекунд і споживанням одиниці потужності кілька міліватт. Серія CDxx, виконана на CMOS-технології, забезпечує широкий діапазон напруг живлення від 3 до 15 В, дуже низьке статичне споживання (нановати або мікровати), високий опір входів і більшу щільність інтеграції, проте час затримки перемикавання залежить від навантаження та може досягати сотень наносекунд. Характеристики цих серій визначають вибір мікросхем для конкретних задач: TTL використовується там, де критична швидкодія, а CMOS – для енергоефективних систем з великою кількістю логічних вузлів, гнучкою напругою живлення і мінімальним тепловиділенням.

Основні параметри логічних елементів визначають їхню функціональність, швидкодію та надійність у цифрових схемах і включають такі характеристики, як час затримки перемикавання, рівні логічних сигналів, навантажувальна здатність, споживана потужність та температурний діапазон роботи. Час затримки визначає швидкість, з якою вихід елемента реагує на зміну входів, і безпосередньо впливає на продуктивність цифрової системи. Рівні логічних сигналів, включно з порогами розпізнавання «0» і «1», забезпечують коректну взаємодію суміжних елементів та стійкість до шумів. Навантажувальна здатність описує кількість входів інших елементів, які можна підключити до виходу без деградації сигналу. Споживана потужність та температурний діапазон визначають енергетичну ефективність і надійність роботи в різних умовах експлуатації, що критично для портативних і високошвидкісних систем.

Синтез схем на логічних елементах передбачає перетворення функціональних вимог у конкретну апаратну реалізацію за допомогою базових або універсальних елементів, таких як AND, OR, NOT, NAND та NOR. Процес синтезу включає аналіз логічних виразів, побудову таблиць істинності та застосування методів мінімізації, зокрема карт Карно або алгебраїчних перетворень, для зменшення кількості елементів і оптимізації швидкодії. Після спрощення виразів визначаються конфігурації підключення логічних елементів для побудови комбінаційних або послідовних схем, що забезпечує реалізацію необхідних арифметичних, логічних або керувальних функцій. Правильний синтез схем дозволяє досягати балансу між швидкістю, енергоспоживанням і щільністю інтеграції, забезпечуючи надійну і ефективну роботу цифрових пристроїв у межах заданих апаратних обмежень.

Лекція 5. Типові вузли та функціональні блоки цифрових систем

Типові вузли цифрової техніки представляють собою стандартні функціональні блоки, що використовуються для побудови комбінаційних та послідовних схем у цифрових обчислювальних системах. До таких вузлів належать логічні елементи (AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR), які виконують базові логічні операції, та їх комбінації у вигляді

суматорів, дешифраторів, мультиплексорів і демультиплексорів для обробки та маршрутизації інформації. Вузли пам'яті, такі як тригери, регістри та лічильники, забезпечують збереження станів і синхронізацію даних у часі, реалізуючи послідовну логіку та управління обчислювальними процесами.

Крім того, типовими вузлами є шини даних і адрес, що формують канали обміну інформацією між підсистемами, а також інтерфейсні модулі, які забезпечують взаємодію з периферійними пристроями та зовнішніми системами. Такі вузли стандартизовані, що дозволяє уніфікувати проєктування цифрових схем, зменшити складність розробки та спростити масштабування систем. Кожен вузол характеризується набором функціональних параметрів, швидкодією, енергоспоживанням та навантажувальною здатністю, що визначає його застосування в конкретних частинах цифрової архітектури. Використання типових вузлів дозволяє інженеру ефективно синтезувати складні цифрові пристрої, забезпечуючи їх надійність, прогнозовану поведінку та оптимальне співвідношення продуктивності і ресурсів апаратної платформи.

Суматори, компаратори, мультиплексори та демультиплексори є основними функціональними вузлами цифрової техніки, які забезпечують обробку, порівняння та маршрутизацію інформації у цифрових системах. Суматори реалізують операції додавання двійкових чисел і можуть бути однорозрядними або багаторозрядними, забезпечуючи формування результату та переносу між розрядами; вони є базовими блоками арифметико-логічних пристроїв та процесорних модулів. Компаратори порівнюють два числа або логічні сигнали і формують вихідні сигнали, що вказують на відношення «більше», «менше» або «дорівнює», що використовується для керування програмними потоками та вибору операцій у процесорах і контролерах.

Мультиплексори дозволяють вибирати один із багатьох вхідних сигналів і передавати його на вихід відповідно до керувальних сигналів, тим самим реалізуючи маршрутизацію даних і оптимізацію шин обміну. Демультиплексори виконують протилежну функцію: один вхідний сигнал розподіляється на декілька виходів за адресними сигналами, що дозволяє ефективно передавати інформацію до потрібного підсистемного вузла. Використання цих типових вузлів у цифрових схемах забезпечує модульність, стандартизацію та спрощує синтез складних комбінаційних і послідовних схем, підвищуючи швидкодію, надійність та ефективність цифрових обчислювальних систем.

Тригери, регістри та лічильники є базовими елементами послідовної логіки в цифровій техніці, що забезпечують збереження стану, синхронізацію та лічбу цифрових сигналів. Тригери є найпростішими елементами зберігання одного біта інформації, здатними підтримувати свій стан до зміни керувального сигналу. Вони можуть бути асинхронними або синхронними, однотактними або двотактними, і застосовуються для формування запам'ятовуваних елементів, імпульсних генераторів та керування послідовністю операцій у цифрових схемах.

Регістри складаються з послідовності тригерів і використовуються для збереження багатобітових даних, їх тимчасового накопичення та передачі між підсистемами цифрового пристрою. Вони забезпечують паралельний або послідовний доступ до інформації, а також формують буфери при обміні даними між різними тактовими доменами. Лічильники є спеціалізованими регістрами, які реалізують автоматичне збільшення або зменшення свого значення у відповідь на тактові сигнали, забезпечуючи відлік імпульсів, генерацію адрес, формування часових інтервалів та керування циклічними процесами.

Використання тригерів, регістрів та лічильників дозволяє будувати синхронні цифрові системи з прогнозованою поведінкою, забезпечує коректну передачу та зберігання даних, а також створює основу для реалізації складних арифметико-логічних пристроїв, процесорів, пам'яті та систем керування у цифрових обчислювальних системах.

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) та цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) є ключовими компонентами цифрових систем, що забезпечують взаємодію між цифровою обробкою інформації та аналоговими сигналами зовнішнього світу. АЦП перетворює неперервний аналоговий сигнал у дискретну цифрову форму, яка може бути оброблена процесором або записана у пам'ять. Процес перетворення включає вибір моментів часу для дискретизації сигналу, квантування амплітуди з відповідною розрядністю та кодування у двійковий формат. Основні характеристики АЦП включають розрядність, швидкість перетворення, точність і відносну похибку, що визначають якість відтворення аналогового сигналу в цифровій формі та ефективність роботи системи в реальному часі.

ЦАП виконує зворотну операцію, перетворюючи цифровий код у неперервний аналоговий сигнал, що дозволяє керувати аналоговими виконавчими механізмами, формувати звукові або відеосигнали та відтворювати дані у фізичному середовищі. Принцип роботи ЦАП ґрунтується на генерації пропорційного вихідного напруження або струму для кожного значення цифрового коду, а його характеристики включають розрядність, точність відтворення, швидкодію та лінійність. Використання АЦП і ЦАП є критичним для побудови вбудованих систем, систем керування, вимірювальної апаратури та мультимедійних пристроїв, оскільки вони забезпечують коректний обмін даними між цифровими процесорами та аналоговим середовищем, визначаючи точність, швидкодію та надійність роботи цифрової техніки в реальних умовах.

Типові корпуси інтегральних мікросхем (ІМС) визначають фізичну форму, розміщення виводів та спосіб монтажу на платі, що впливає на простоту інтеграції, тепловий режим і сумісність із іншими компонентами. Найпоширенішими корпусами є DIP (Dual Inline Package) з двома паралельними рядами виводів для монтажу через отвори на платі, SOIC та SOP – тонкі поверхневі корпуси для монтажу на поверхню плати, TQFP та QFP з виводами по всьому периметру для високощільної інтеграції, а також BGA (Ball Grid Array) з контактними кульками під корпусом, що забезпечує максимальну щільність виводів та ефективний теплообмін. Кожен тип корпусу визначає допустимі габарити, довжину виводів, метод пайки та механічну надійність при експлуатації.

Маркування інтегральних мікросхем містить інформацію про серію, функціональне призначення, технологію виготовлення, дату випуску та виробника. Наприклад, у серіях 74xx або CDxx перші символи позначають технологію та логічну серію, цифри – конкретний тип мікросхеми, а додаткові літери можуть вказувати на швидкісні характеристики, температуру експлуатації або покращені параметри. Стандартизоване маркування дозволяє інженеру швидко ідентифікувати компонент, підібрати сумісний елемент при заміні та забезпечити правильне використання ІМС у схемотехнічних проєктах, дотримуючись рекомендацій виробника щодо електричних характеристик та монтажу.

Лекція 6. Апаратні компоненти та інтерфейси цифрових систем

Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) є універсальними цифровими мікросхемами, структура яких може бути змінена після виготовлення за допомогою спеціального конфігураційного коду. На відміну від фіксованих інтегральних схем, ПЛІС

містять матрицю логічних блоків, програмовані міжз'єднання та програмовані елементи вводу-виводу, що дозволяє створювати довільні комбінаційні та послідовні схеми, адаптувати архітектуру під конкретні задачі та оперативно модифікувати функціональність без зміни апаратної платформи. Конфігурація ПЛІС виконується через апаратні описові мови, такі як VHDL або Verilog, за допомогою яких інженер визначає логіку роботи пристрою, а синтезатор перетворює ці описи на структуру логічних ресурсів та маршрутизації всередині мікросхеми.

Сфери використання ПЛІС охоплюють області, де потрібна висока швидкодія, паралельна обробка та можливість швидкої адаптації апаратної логіки. Вони застосовуються у телекомунікаційних системах для реалізації високошвидкісних протоколів, у цифровій обробці сигналів для паралельних фільтрів та перетворень, у системах керування та вбудованих контролерах для створення спеціалізованих обчислювальних модулів. ПЛІС широко використовують у прототипуванні мікропроцесорів та спеціалізованих ІС, оскільки вони дають змогу перевіряти апаратні архітектури без необхідності виготовлення нових кремнієвих кристалів. Завдяки масштабованості логічних ресурсів, гнучкій конфігурації та високому рівню паралелізму ПЛІС забезпечують можливість створення апаратних обчислювальних систем, які поєднують високу продуктивність із коротким циклом розробки та низькою вартістю модифікацій.

Цифрові мікросхеми широко застосовуються в побутових та промислових пристроях, забезпечуючи автоматизацію, керування, обробку інформації та реалізацію складних функцій на основі дискретної логіки й вбудованих алгоритмів. У побутових пристроях цифрові ІМС формують основу роботи телевізорів, смартфонів, пральних машин, холодильників, систем кондиціонування та побутових роботів. Вони відповідають за керування двигунами, інтерфейсами користувача, сенсорними елементами, енергоспоживанням і взаємодією з мережею. Базові цифрові компоненти, такі як мікроконтролери, пам'ять, логічні драйвери, таймери та інтерфейсні модулі, забезпечують швидку реакцію системи, точність виконання алгоритмів та можливість гнучкого налаштування функцій у різних режимах роботи.

У промислових пристроях цифрові мікросхеми застосовуються для автоматизації виробничих процесів, побудови систем керування, обробки технологічних сигналів та комунікації між елементами промислових мереж. Програмовані контролери, цифрові датчики, модулі збору даних, промислові комп'ютери та спеціалізовані цифрові процесори забезпечують надійну роботу обладнання в умовах підвищеної температури, вібрацій, електромагнітних завад і механічного навантаження. Цифрові мікросхеми формують логіку керування роботизованими комплексами, системами енергорозподілу, автоматизованими лініями виробництва та діагностичними пристроями, забезпечуючи детерміновану роботу та високу стійкість до збоїв. Завдяки високій інтеграції, низькому енергоспоживанню та гнучкості конфігурації цифрові мікросхеми стали ключовим елементом сучасних побутових і промислових систем, визначаючи їхню функціональність, надійність і ефективність.

Мікропроцесори та мікроконтролери є центральними компонентами сучасних обчислювальних та керувальних систем, але вони відрізняються за структурою, призначенням і сферою застосування. Мікропроцесор являє собою універсальний обчислювальний блок, основою якого є арифметико-логічний пристрій, регістрова система та блок керування. Він призначений для виконання загального набору інструкцій і потребує зовнішніх компонентів – оперативної пам'яті, постійної пам'яті, інтерфейсних контролерів і периферійних модулів. Така модульність дозволяє мікропроцесорам формувати

високопродуктивні системи, включно з персональними комп'ютерами, серверами та обчислювальними платформами, де важливими є швидкодія, широкі можливості обробки даних і гнучкість конфігурацій.

Мікроконтролер, на відміну від мікропроцесора, є інтегрованою системою на одному кристалі, яка містить процесорне ядро, оперативну пам'ять, постійну пам'ять, таймери, порти вводу-виводу, аналого-цифрові перетворювачі та інші периферійні модулі. Він призначений для виконання спеціалізованих прикладних задач у реальному часі та забезпечення автономного керування фізичними процесами без потреби у великій кількості зовнішніх компонентів. Завдяки інтегрованості та низькому енергоспоживанню мікроконтролери застосовуються у вбудованих системах, побутових пристроях, сенсорних мережах, промислових контролерах і робототехніці, де ключовими є надійність, повторюваність алгоритмів та детермінована реакція на події.

Поняття мікропроцесора і мікроконтролера відображає два різні підходи до організації обчислювальних систем: універсальний обчислювальний модуль із широкими можливостями розширення та компактний інтегрований контролер, оптимізований для конкретних прикладних завдань. Обидва типи пристроїв є фундаментальними елементами цифрової техніки та формують основу сучасних обчислювальних і керувальних архітектур.

Структура мікроконтролерів і мікропроцесорних систем визначається взаємодією процесорного ядра, пам'яті та периферійних модулів, що забезпечують виконання інструкцій, збереження даних і керування зовнішніми пристроями. Центральним елементом є процесорне ядро, яке містить арифметико-логічний пристрій, регістровий файл і блок керування, відповідальний за декодування та виконання інструкцій. Навколо ядра формується системна шина, яка забезпечує обмін даними між усіма компонентами, включаючи пам'ять і зовнішні інтерфейси. У мікроконтролерах ці елементи інтегровані в межах одного кристалу, тоді як у мікропроцесорних системах вони реалізуються з використанням окремих мікросхем.

Типи пам'яті включають оперативну пам'ять, постійну пам'ять та спеціалізовані буферні області. Оперативна пам'ять (RAM) використовується для зберігання робочих даних та проміжних результатів під час виконання програм і характеризується високою швидкодією та енергозалежністю. Постійна пам'ять (ROM, Flash, EEPROM) слугує для зберігання програмного коду і конфігураційних параметрів, є енергонезалежною і зберігає дані після вимкнення живлення. Додаткові типи пам'яті – кеш пам'ять у мікропроцесорах, буфери вводу-виводу та регістри периферійних модулів – забезпечують підвищення продуктивності та оптимізацію обміну даними між підсистемами.

Основні периферійні модулі забезпечують взаємодію мікроконтролера або мікропроцесора з зовнішніми пристроями та сенсорами. До таких модулів належать таймери та лічильники, які відповідають за формування часових інтервалів і синхронізацію процесів; порти вводу-виводу для роботи з цифровими сигналами; інтерфейси UART, I2C, SPI та USB для комунікації з іншими цифровими пристроями; аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі для роботи з аналоговими сигналами; модулі PWM для керування двигунами й виконавчими механізмами; а також контролери переривань, що забезпечують реакцію на асинхронні події. Сукупність цих елементів визначає функціональні можливості системи, її продуктивність, гнучкість та здатність до інтеграції у складні цифрові й вбудовані комплекси.

Мікросхеми узгодження інтерфейсів забезпечують коректну взаємодію між цифровими пристроями, які працюють з різними рівнями напруг, типами сигналів, логічними

стандартами або електричними характеристиками. Вони виконують функції перетворення рівнів напруги, буферизації сигналів, захисту від перевантажень та забезпечення потрібної навантажувальної здатності для керування кількома пристроями одночасно. До таких мікросхем належать драйвери шин, повторювачі сигналів, перетворювачі TTL-CMOS, диференціальні приймачі-передавачі та логічні буфери з трьома станами виходу. Їхнє застосування є необхідним у складних цифрових системах, де різні підсистеми можуть працювати за різними стандартами напруги або мати відмінні вимоги до швидкодії, імпедансу та електромагнітної сумісності. Правильне узгодження інтерфейсів підвищує надійність передавання даних, зменшує ймовірність спотворень та забезпечує стабільну роботу системи в умовах високошвидкісної комунікації.

Побудова та аналіз цифрового вузла на основі дискретної логіки включає формальне визначення функціонального призначення вузла, вибір необхідних логічних елементів і побудову електричної схеми, яка реалізує задану логічну функцію. Процес починається з формування логічного виразу або таблиці істинності, що описує залежність виходів від набору входів. Після цього виконується мінімізація логічної функції для скорочення кількості елементів та оптимізації структури. На основі оптимізованої функції обираються конкретні логічні мікросхеми потрібного стандарту, враховуючи їхню затримку, навантажувальну здатність, рівні сигналів та споживану потужність. Далі виконується побудова схеми з урахуванням фізичних параметрів з'єднань, часових характеристик та можливих переходів сигналів між тактовими доменами. Аналіз готового вузла включає перевірку логічної коректності, моделювання поведінки при різних входніх сигналах, оцінку часових затримок, запасу завадостійкості та теплового режиму. Такий підхід дозволяє створювати надійні й предиктивні цифрові вузли, сумісні з іншими компонентами системи та оптимізовані за апаратними й енергетичними параметрами.

ТЕМА 3. ПЕРСОНАЛЬНІ КОМП'ЮТЕРИ ТА ЇХ ІНТЕРФЕЙСИ

Лекція 7. Структура персонального комп'ютера

Структура персонального комп'ютера визначає взаємодію його апаратних компонентів, що забезпечують виконання обчислень, зберігання даних, введення-виведення та керування периферією. Центральним елементом є процесор, який виконує інструкції програмного забезпечення, здійснює арифметичні та логічні операції та координує роботу інших підсистем. Процесор взаємодіє з оперативною пам'яттю, що використовується для тимчасового зберігання даних і команд, необхідних у процесі виконання програм. Обмін між процесором та іншими компонентами забезпечується системною шиною або набором внутрішніх шин, що включають шини даних, адрес і керування.

Функції довготривалого зберігання інформації виконують накопичувачі, такі як SSD або жорсткі диски, що містять операційну систему, прикладне програмне забезпечення та робочі файли користувача. Графічна підсистема, представлена інтегрованим або дискретним графічним адаптером, відповідає за формування зображення та апаратне прискорення графічних операцій; її продуктивність визначає можливості системи у візуалізації, моделюванні та обробці мультимедійного контенту. Периферія під'єднується через інтерфейси USB, HDMI, PCI Express та інші стандартизовані протоколи, що дозволяють підключати зовнішні пристрої – клавіатури, миші, принтери, мережеві адаптери, накопичувачі та інші модулі.

Материнська плата є базовою конструктивною платформою, що об'єднує всі апаратні компоненти, забезпечує їх електричне живлення, фізичне узгодження та маршрутизацію сигналів. Блок живлення формує стабілізовані напруги для всіх компонентів ПК, а система охолодження підтримує тепловий режим процесора, графічного адаптера та інших елементів, запобігаючи перегріву. Взаємодія цих підсистем формує цілісну апаратну архітектуру персонального комп'ютера, у якій від узгодженості та характеристик кожного компонента залежить загальна продуктивність, надійність і можливість масштабування системи.

Компоненти системного блоку персонального комп'ютера становлять основну апаратну платформу, яка забезпечує виконання обчислень, зберігання даних та взаємодію з периферійними пристроями. Центральним елементом є материнська плата, яка інтегрує процесор, оперативну пам'ять, контролери шини та інтерфейсні модулі, забезпечуючи електричне й логічне з'єднання всіх компонентів. Процесор виконує обчислювальні та логічні операції, керує підсистемами та обробляє інструкції програмного забезпечення, тоді як оперативна пам'ять (RAM) служить для тимчасового зберігання даних і команд під час виконання програм.

Для довготривалого зберігання інформації використовуються жорсткі диски, твердотільні накопичувачі та комбіновані сховища, що містять операційну систему, прикладні програми та користувацькі дані. Графічна підсистема, представлена інтегрованим або дискретним графічним адаптером, відповідає за формування відеосигналу та апаратне прискорення обробки зображень, відео та тривимірної графіки. Блок живлення забезпечує стабільні напруги для всіх компонентів системного блоку, підтримуючи їх нормальну роботу, а система охолодження – вентиляторами або рідинними контурами – підтримує допустимий тепловий режим процесора, графічного адаптера та інших елементів.

Додатковими компонентами є контролери вводу-виводу, мережеві карти, звукові плати та інші периферійні модулі, що підключаються до відповідних шин і інтерфейсів материнської плати. Усі ці елементи формують комплексну архітектуру системного блоку, в якій взаємодія та характеристика кожного компонента визначає продуктивність, надійність та можливість модернізації персонального комп'ютера.

Материнська плата є центральним компонентом персонального комп'ютера, що забезпечує фізичне та електричне з'єднання всіх апаратних модулів системи та координацію їхньої роботи. Вона містить процесорний роз'єм для встановлення центрального процесора, слоти оперативної пам'яті для модулів RAM, а також контролери шини та інтерфейсів, що забезпечують обмін даними між підсистемами. На платі розташовуються чіпсети, які поділяються на північний міст, що відповідає за взаємодію процесора з пам'яттю та графічним адаптером, та південний міст, що керує периферійними пристроями та шинами вводу-виводу.

Материнська плата включає роз'єми та слоти для встановлення додаткових карт розширення, таких як відеокарти, мережеві адаптери, звукові плати та контролери зберігання даних. Інтегровані модулі, наприклад аудіо- та мережеві контролери, забезпечують базову функціональність без потреби у зовнішніх картках. Додаткові елементи плати включають схеми живлення для стабілізації напруги процесора та інших критичних компонентів, а також системи підключення вентиляційних або рідинних охолоджувальних контурів.

Маршрутизація сигналів і організація шин на материнській платі визначають швидкість та сумісність компонентів, а стандарти форм-фактору — фізичні розміри, розташування роз'ємів та монтажні отвори. Таким чином, материнська плата виконує роль комунікаційного та енергетичного хребта системи, забезпечуючи інтеграцію процесора, пам'яті, периферії та розширювальних модулів у єдину апаратну архітектуру персонального комп'ютера.

Процесор є центральним обчислювальним блоком персонального комп'ютера або мікроконтролерної системи, який виконує арифметичні, логічні, керувальні та вхідно-вихідні операції відповідно до команд програмного забезпечення. Його основними складовими є арифметико-логічний пристрій (АЛП), регістровий файл та блок керування. АЛП забезпечує виконання операцій додавання, віднімання, множення, ділення, а також логічних операцій і зсувів. Регістри призначені для тимчасового зберігання даних, адрес пам'яті та проміжних результатів обчислень, що дозволяє підвищити швидкість системи шляхом мінімізації доступу до зовнішньої пам'яті.

Блок керування організовує послідовність виконання інструкцій, керує потоками даних між регістрами, АЛП та пам'яттю, а також формує сигнали управління для периферійних модулів. Процесор взаємодіє з оперативною пам'яттю та кеш-пам'яттю через шини даних, адрес та керування, що забезпечує швидкий обмін інформацією та зменшує затримки під час виконання команд. Додатковими елементами сучасних процесорів є блоки передбачуваного виконання інструкцій, конвеєрна організація обробки, модулі керування кешем і спеціалізовані прискорювачі, що підвищують продуктивність при обробці обчислювально інтенсивних задач.

Продуктивність процесора визначається тактовою частотою, розрядністю шини даних, об'ємом та швидкістю кеш-пам'яті, а також архітектурою ядра. Вона безпосередньо впливає на швидкість виконання програм, обробку мультимедійних даних, роботу операційної системи та ефективність взаємодії з периферійними пристроями. Завдяки поєднанню обчислювальних можливостей, керування потоками даних і взаємодії з пам'яттю,

процесор є основним компонентом апаратної архітектури персонального комп'ютера та визначає його обчислювальну здатність і функціональні можливості.

Оперативна пам'ять (RAM) є критичною підсистемою персонального комп'ютера, призначеною для тимчасового зберігання даних і команд, що використовуються під час виконання програм. Вона забезпечує високошвидкісний доступ до інформації, що дозволяє процесору ефективно обробляти обчислювальні та логічні операції без необхідності звернення до більш повільних накопичувачів. RAM характеризується енергозалежністю, тобто при відключенні живлення її вміст втрачається, а також швидкістю, об'ємом та типом організації (динамічна DRAM або статична SRAM), які визначають продуктивність системи. Доступ до оперативної пам'яті здійснюється через системну шину даних і адрес, а сучасні процесори використовують кеш-пам'ять для мінімізації затримок і підвищення ефективності обробки інформації.

Накопичувачі даних забезпечують довготривале зберігання програмного забезпечення, операційної системи та користувацьких даних. До них належать жорсткі диски (HDD), твердотільні накопичувачі (SSD), оптичні носії та комбінації різних типів пам'яті у складних системах зберігання. HDD використовують магнітні пластини для зберігання даних, характеризуються великою ємністю та відносно низькою швидкістю доступу, тоді як SSD засновані на флеш-пам'яті, забезпечують високу швидкість читання і запису, більшу стійкість до механічних впливів та низький час затримки. Вибір типу накопичувача визначає продуктивність системи при завантаженні програм, обробці великих масивів даних та роботі з мультимедійним контентом.

Сукупність оперативної пам'яті та накопичувачів формує ієрархію зберігання даних у персональному комп'ютері, де оперативна пам'ять забезпечує швидкий доступ для обробки, а накопичувачі – надійне тривале зберігання інформації, визначаючи баланс між швидкістю, обсягом і вартістю апаратної системи.

Плати розширення є додатковими апаратними модулями персонального комп'ютера, які підключаються до материнської плати через спеціалізовані слоти розширення та розширюють функціональні можливості системи. Вони забезпечують додаткові інтерфейси вводу-виводу, апаратне прискорення обробки даних, підключення периферійних пристроїв та реалізацію специфічних обчислювальних завдань. Основні типи плат розширення включають графічні адаптери для обробки і виведення відео- та графічної інформації, звукові плати для формування аудіосигналу та покращення якості звуку, мережеві карти для підключення до локальних та глобальних мереж, контролери накопичувачів для організації додаткових дискових масивів, а також спеціалізовані плати для обробки сигналів, керування промисловими або вбудованими системами.

Конструктивно плати розширення відповідають стандартам форм-фактору і сумісності слотів материнської плати, таких як PCI, PCI Express, AGP або ISA, що визначає швидкість передачі даних, ширину шини та електричні характеристики з'єднання. Вони містять власні контролери, буфери та, у деяких випадках, локальні блоки пам'яті, що зменшує навантаження на центральний процесор і підвищує продуктивність системи. Використання плат розширення дозволяє модульно збільшувати можливості персонального комп'ютера без необхідності заміни основних компонентів, забезпечуючи гнучкість конфігурації, адаптацію до нових стандартів та оптимізацію роботи під специфічні прикладні завдання, такі як ігрові системи, мультимедіа, обчислювальні кластери або промислові комплекси керування.

Лекція 8. Апаратна архітектура ПК та її роль у розробці ПЗ

Материнська плата є центральною апаратною платформою персонального комп'ютера, що забезпечує інтеграцію процесора, пам'яті, периферійних модулів і плат розширення в єдину апаратну систему. Вона виконує функції комунікаційного та енергетичного хребта, надаючи фізичні роз'єми, слоти та шини для обміну даними між компонентами. Внутрішні шини материнської плати поділяються на шини даних, адрес і керування та визначають швидкість, ширину і спосіб передачі інформації між процесором, оперативною пам'яттю та периферійними підсистемами. Архітектура материнської плати включає центральний чіпсет, що координує роботу процесора та оперативної пам'яті, контролери вводу-виводу, інтегровані пристрої та слоти для плат розширення, а також схеми живлення та охолодження, необхідні для стабільної роботи всіх компонентів.

Форм-фактор материнської плати визначає її фізичні розміри, розташування роз'ємів, монтажних отворів та сумісність із корпусом комп'ютера і блоком живлення. Найпоширенішими є форм-фактори ATX, microATX і Mini-ITX. ATX характеризується великою площею та наявністю великої кількості слотів розширення і модулів пам'яті, що забезпечує гнучкість і високу продуктивність системи. MicroATX має компактніші розміри з меншим числом слотів розширення, що дозволяє зменшити габарити системного блоку без істотного зниження функціональності. Mini-ITX є найменшим стандартом серед зазначених і призначений для побудови малогабаритних і енергоефективних систем, з обмеженою кількістю розширювальних слотів, але з повною підтримкою сучасних процесорів і модулів пам'яті. Вибір форм-фактору визначає можливості модернізації, сумісність компонентів і конфігурацію системного блоку, а також впливає на ефективність вентиляції та організацію внутрішніх шин.

Чіпсет материнської плати є ключовим елементом архітектури, що координує взаємодію процесора, оперативної пам'яті, плат розширення та периферійних пристроїв. Він зазвичай поділяється на північний міст, який забезпечує зв'язок процесора з оперативною пам'яттю та графічним адаптером, і південний міст, що відповідає за керування зовнішніми інтерфейсами, накопичувачами та периферією. Шини даних і керування формують основу обміну інформацією між компонентами, визначаючи швидкість, пропускну здатність і точність синхронізації сигналів, що особливо критично для обчислювально інтенсивних операцій та високошвидкісної взаємодії між процесором і пам'яттю.

BIOS або сучасний UEFI забезпечують початкове завантаження системи, ініціалізацію апаратних компонентів, конфігурацію шин, процесора, пам'яті та периферійних пристроїв, а також надають інтерфейс для управління базовими параметрами системи до завантаження операційної системи. VRM (Voltage Regulator Module) відповідає за стабілізацію напруги, що подається на процесор та інші критичні компоненти, забезпечуючи надійну роботу при змінному енергоспоживанні та різних режимах навантаження. Комплексна робота чіпсету, внутрішніх шин, BIOS/UEFI та VRM визначає продуктивність, стабільність та енергоефективність персонального комп'ютера, забезпечуючи узгоджену взаємодію всіх апаратних підсистем.

Взаємодія компонентів персонального комп'ютера визначається архітектурою материнської плати, чіпсетом, внутрішніми шинами та контролерами вводу-виводу, що забезпечують синхронну та узгоджену роботу процесора, оперативної пам'яті, накопичувачів, графічного адаптера та плат розширення. Процесор через шини даних і керування обмінюється командами та даними з пам'яттю та периферійними модулями, тоді

як чіпсет регулює маршрутизацію сигналів, пріоритезацію доступу до ресурсів і взаємодію з зовнішніми пристроями. BIOS або UEFI відповідають за первинну ініціалізацію всіх компонентів, перевірку працездатності та конфігурацію системних ресурсів, а VRM забезпечує стабільне живлення процесора та інших критичних вузлів при змінному навантаженні, підтримуючи стабільність і надійність роботи системи.

Технічні характеристики персональних комп'ютерів визначають їх продуктивність, енергоефективність і можливості модернізації. Серед основних параметрів виділяють тактову частоту та розрядність процесора, обсяг і тип оперативної пам'яті, швидкодію і місткість накопичувачів, пропускну здатність внутрішніх шин та можливості підключення плат розширення, підтримку сучасних інтерфейсів і периферійних модулів. Графічна підсистема оцінюється за швидкістю обробки відео- та 3D-даних, об'ємом локальної пам'яті і апаратним прискоренням. Комплексна взаємодія компонентів, регламентована архітектурою материнської плати та характеристиками окремих елементів, визначає ефективність обчислень, стабільність роботи, масштабованість системи та відповідність вимогам прикладного програмного забезпечення.

Апаратні характеристики комп'ютерної системи безпосередньо впливають на формування функціональних та нефункціональних вимог до програмного забезпечення, визначаючи межі можливостей виконання обчислень і організації взаємодії з користувачем та периферією. Функціональні вимоги, такі як обсяг оброблюваних даних, швидкість виконання алгоритмів або підтримка багатопоточності, залежать від тактової частоти процесора, кількості ядер, розрядності шини даних, обсягу кеш-пам'яті та пропускну здатності оперативної пам'яті. Накопичувачі даних і типи шини визначають можливість роботи з великими обсягами інформації, швидкість доступу до файлів і баз даних, а графічна підсистема – апаратне прискорення візуалізації та обробки мультимедійного контенту.

Нефункціональні вимоги, такі як продуктивність, надійність, енергоефективність та масштабованість, також формуються під впливом апаратної конфігурації. Наприклад, обмеження пропускну здатності шини або повільний доступ до пам'яті можуть призводити до необхідності оптимізації алгоритмів та структур даних для підвищення ефективності програмного забезпечення. Система охолодження, енергоспоживання і стабільність живлення, які визначають теплові та електричні характеристики апаратних компонентів, впливають на довготривалу надійність виконання програм та вибір режимів роботи. Таким чином, знання апаратних характеристик комп'ютерної системи є критичною складовою етапу проектування програмного забезпечення, оскільки дозволяє адаптувати функціональні та нефункціональні вимоги до реальних обмежень системи, забезпечуючи сумісність, стабільність та ефективність обчислень.

Вибір апаратної платформи для розробки програмного забезпечення визначає ефективність процесу створення, тестування та оптимізації програмних продуктів, оскільки апаратні характеристики безпосередньо впливають на продуктивність компіляції, швидкість емуляції та реальну поведінку програми під час виконання. При виборі платформи враховуються тактові частоти та кількість ядер процесора, обсяг і тип оперативної пам'яті, швидкість і ємність накопичувачів, продуктивність графічного підсистеми, підтримка сучасних шин і інтерфейсів, а також надійність живлення і система охолодження. Для розробки програмного забезпечення, що потребує високої продуктивності або паралельної обробки даних, перевагу надають платформи з багатоядерними процесорами та великою пропускну здатністю пам'яті, тоді як для вбудованих або спеціалізованих систем

критичною є сумісність із цільовими апаратними компонентами та енергетичними обмеженнями.

Крім продуктивності, при виборі апаратної платформи враховують стандарти сумісності, форм-фактор материнської плати та наявність необхідних інтерфейсів і плат розширення, що дозволяє ефективно підключати периферію, налагоджувальні модулі та емулятори. Також оцінюються можливості масштабування та модернізації системи, оскільки довгострокова підтримка розробки передбачає адаптацію до зростання вимог програмного забезпечення. Врахування цих факторів дозволяє створювати програмні продукти, що відповідають вимогам продуктивності, надійності та стабільності, забезпечує точне тестування та профілювання коду і мінімізує ризики, пов'язані з апаратними обмеженнями при розгортанні програмного забезпечення на цільових системах.

Лекція 9. Апаратні засоби людино-машинного інтерфейсу

Апаратні засоби людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) забезпечують фізичну взаємодію користувача з комп'ютерною системою, дозволяючи вводити дані, керувати виконанням програм та отримувати інформацію у зручній для сприйняття формі. До основних пристроїв введення належать клавіатури, миші, трекпади, джойстики, сенсорні екрани, графічні планшети та спеціалізовані датчики положення або руху. Ці пристрої перетворюють фізичні дії користувача на електричні сигнали, які обробляються контролерами вводу та надсилаються в обчислювальну систему через стандартизовані інтерфейси, наприклад USB, PS/2, Bluetooth або інші протоколи.

Пристрої виведення надають користувачу результат обробки інформації у вигляді тексту, графіки, аудіосигналу або комбінацій цих форм. До них належать монітори, принтери, динаміки, світлодіодні індикатори, а також більш складні системи віртуальної та доповненої реальності. Ключовими характеристиками апаратних засобів ЛМІ є швидкодія, точність, роздільна здатність, час відгуку, сумісність з іншими компонентами та ергономічність для користувача.

Сукупність цих пристроїв формує ефективний канал комунікації між людиною і комп'ютером, забезпечуючи зручне введення команд, контроль за процесами та своєчасне отримання результатів. Апаратні засоби ЛМІ визначають якість користувацького досвіду, впливають на продуктивність роботи та безпеку взаємодії, а також слугують базою для реалізації сучасних інтерфейсів управління в персональних і вбудованих комп'ютерних системах.

Периферійні пристрої персонального комп'ютера розширюють його функціональні можливості, забезпечуючи введення, обробку та виведення інформації, а також довготривале зберігання даних. Пристрої введення дозволяють користувачу передавати команди та дані до системи, перетворюючи фізичні дії на електричні сигнали; до них відносяться клавіатури, миші, сканери, сенсорні екрани та спеціалізовані датчики, наприклад для керування промисловими або вбудованими системами. Пристрої виведення забезпечують відображення результатів обробки інформації в зручній формі: монітори формують графічне та текстове зображення, принтери та плоттери виводять дані на паперові носії, динаміки і звукові системи — у вигляді аудіосигналу.

Монітори характеризуються роздільною здатністю, частотою оновлення, типом матриці та технологією підсвічування, що визначає якість відображення, точність

кольоропередачі та комфорт користувача під час роботи. Накопичувачі даних, до яких відносяться жорсткі диски (HDD), твердотільні накопичувачі (SSD) та оптичні приводи, виконують функцію довготривалого зберігання інформації, забезпечуючи надійність, швидкість доступу та обсяг пам'яті. Сучасні системи часто комбінують різні типи накопичувачів для оптимізації продуктивності, наприклад SSD для системних файлів і HDD для архівних даних.

Загальна організація периферійних пристроїв передбачає їх підключення через стандартизовані інтерфейси та контролери вводу-виводу, що дозволяє синхронізувати роботу з центральною системою та забезпечує сумісність із програмним забезпеченням. Ефективна взаємодія всіх периферійних модулів визначає зручність користування, швидкість обробки інформації та надійність системи, що особливо важливо для комплексних обчислювальних та мультимедійних застосувань.

Принтери та багатофункціональні пристрої (БФП) є периферійними модулями персонального комп'ютера, призначеними для виведення інформації на фізичні носії та виконання комплексних офісних функцій. Принтери реалізують безпосереднє друкування тексту, графіки та зображень на папері або інших носіях, використовуючи різні технології, такі як лазерна, струменева, матрична або термодрук. Ключовими характеристиками принтерів є роздільна здатність, швидкість друку, обсяг оброблюваних сторінок та тип підтримуваних носіїв.

Багатофункціональні пристрої поєднують функції принтера, сканера, копіра та іноді факсу в одному корпусі, забезпечуючи економію простору та інтегровану роботу з документами. Вони підключаються до комп'ютера через USB, мережеві інтерфейси або бездротові протоколи, а внутрішні контролери координують обробку сигналів введення-виведення та забезпечують сумісність із різними операційними системами та програмним забезпеченням. БФП часто містять вбудовану пам'ять і буфер обробки завдань, що дозволяє оптимізувати чергу друку та прискорювати виконання складних операцій.

Ефективність принтерів і багатофункціональних пристроїв залежить від інтеграції з апаратною платформою та програмним забезпеченням, сумісності драйверів, стабільності електроживлення та об'єму оброблюваних даних. Їх використання забезпечує повноцінне управління документами, підвищує продуктивність офісних і виробничих процесів, а також дозволяє централізовано вирішувати завдання копіювання, сканування та друку без додаткового підключення окремих пристроїв.

Принципи роботи принтерів та багатофункціональних пристроїв базуються на перетворенні цифрової інформації, що надходить від комп'ютера, у фізичне відтворення на носії або в аналоговий сигнал для сканування чи копіювання. Для друку цифрові дані формуються у растровий образ сторінки, який передається до механізму друку, де лазерні, струменеві або матричні системи формують точкове зображення на папері з використанням тонера, чорнила або термочутливих матеріалів. Сканери та копії конвертують оптичне відображення об'єкта у цифровий сигнал за допомогою сенсорних елементів, що потім обробляється контролером пристрою та передається на комп'ютер або зберігається в пам'яті БФП.

Підключення принтерів і багатофункціональних пристроїв здійснюється через стандартизовані інтерфейси, включаючи USB, Ethernet, Wi-Fi або Bluetooth, що забезпечує сумісність з різними операційними системами та програмним забезпеченням. Контролери пристроїв координують обмін даними, перетворення форматів, буферизацію та обробку черги завдань, підтримуючи одночасну роботу кількох користувачів у мережевому

середовищі. Ефективне підключення передбачає налаштування драйверів, параметрів обробки зображень та роздільної здатності, що впливає на швидкість друку, точність відтворення та якість сканування. Дотримання цих принципів забезпечує надійну та продуктивну взаємодію апаратних та програмних компонентів системи при роботі з документами, графічними та мультимедійними матеріалами.

Накопичувачі даних HDD (жорсткі диски) та SSD (твердотільні накопичувачі) є основними пристроями довготривалого зберігання інформації в персональних комп'ютерах і обчислювальних системах, але відрізняються принципами роботи, швидкодією, надійністю та енергоспоживанням. HDD використовують магнітні пластини та механічний зчитувальний/записувальний головки для збереження та доступу до даних. Час доступу та швидкість передачі інформації у HDD обмежуються механічними затримками при переміщенні головок і обертанні дисків, що визначає більшу латентність у порівнянні з SSD. Основними перевагами HDD є великий обсяг пам'яті за відносно низьку вартість, що робить їх оптимальними для архівного зберігання великих масивів даних.

SSD використовують флеш-пам'ять, що не має рухомих частин, і забезпечують значно вищу швидкість читання і запису, низький час доступу, стійкість до механічних впливів і менше енергоспоживання. Відсутність механічних елементів підвищує надійність SSD при експлуатації у портативних або вбудованих системах, де важливі ударостійкість та тривалість роботи від батарейного живлення. Переваги SSD особливо помітні при завантаженні операційної системи, виконанні програм з високими вимогами до швидкості доступу до файлів та роботі з базами даних або мультимедійним контентом.

Вибір між HDD і SSD залежить від конкретних вимог системи: HDD доцільні для зберігання великих обсягів інформації з обмеженим бюджетом, тоді як SSD забезпечують високу продуктивність та надійність при роботі з активно використовуваними даними, що робить їх ключовими для сучасних персональних комп'ютерів, серверів та мобільних пристроїв.

Лекція 10. Апаратні інтерфейси персональних комп'ютерів

Інтерфейси персональних комп'ютерів забезпечують стандартизовану взаємодію між апаратними компонентами, периферійними пристроями та обчислювальною системою, реалізуючи передачу даних, сигналів керування та електроживлення. Вони поділяються на внутрішні, що з'єднують компоненти всередині системного блоку, та зовнішні, призначені для підключення периферії, наприклад клавіатур, мишей, принтерів, накопичувачів або мережевих адаптерів. Внутрішні інтерфейси включають шини даних, адрес і керування, які забезпечують взаємодію процесора, оперативної пам'яті та плат розширення, тоді як зовнішні інтерфейси стандартизують фізичні роз'єми, протоколи обміну та швидкість передачі даних між комп'ютером і зовнішніми пристроями.

Сучасні персональні комп'ютери використовують різноманітні інтерфейси: USB, HDMI, DisplayPort, Ethernet, SATA, PCI Express та інші. Кожен із них визначає специфіку електричних сигналів, протоколи обміну, максимальну пропускну здатність і сумісність з апаратними та програмними компонентами. Правильний вибір та налаштування інтерфейсів забезпечує ефективну взаємодію всіх складових системи, підвищує продуктивність передачі даних, стабільність роботи та підтримку сучасних периферійних і мережевих пристроїв, що особливо важливо при побудові комплексних обчислювальних або мультимедійних систем.

Кабельні та бездротові інтерфейси персональних комп'ютерів забезпечують фізичне і логічне з'єднання між апаратними компонентами та периферійними пристроями, визначаючи швидкість передачі даних, протоколи обміну і сумісність. Кабельні інтерфейси, такі як USB, HDMI, Ethernet, DisplayPort, RS-232 та PS/2, використовують провідні з'єднання для передачі цифрових або аналогових сигналів з високою стабільністю та мінімальними затримками. USB забезпечує універсальне підключення широкого спектру пристроїв введення-виведення та накопичувачів з підтримкою живлення через той же кабель. HDMI і DisplayPort призначені для передачі аудіо- та відеосигналів високої чіткості, Ethernet забезпечує стабільне підключення до локальних і глобальних мереж, тоді як RS-232 і PS/2 застосовуються для керування пристроями і передачі даних у спеціалізованих системах, часто зі збереженням сумісності зі старішими рішеннями.

Бездротові інтерфейси, такі як Wi-Fi і Bluetooth, реалізують передачу даних через радіосигнали, забезпечуючи мобільність і зручність підключення без фізичних кабелів. Wi-Fi використовується для доступу до мереж і Інтернету з високою пропускну здатністю та відносно низькою затримкою, а Bluetooth забезпечує комунікацію на невеликій відстані між комп'ютером і периферією, наприклад мишами, клавіатурами або аудіопристроями. Вибір типу інтерфейсу залежить від вимог до швидкості передачі даних, стабільності з'єднання, відстані між пристроями та специфіки апаратного і програмного забезпечення, що дозволяє оптимізувати продуктивність, зручність користування та надійність роботи комп'ютерної системи.

Принципи передавання даних у персональних комп'ютерних системах базуються на визначенні способу кодування, маршрутизації та синхронізації сигналів між компонентами та периферійними пристроями. Передача може здійснюватися послідовно або паралельно: при послідовному способі біти даних передаються один за одним через один канал, що спрощує конструкцію кабелю та зменшує електромагнітні перешкоди, тоді як паралельна передача забезпечує одночасну передачу кількох бітів, підвищуючи пропускну здатність на коротких відстанях, але збільшуючи складність синхронізації та ризик когерентних спотворень сигналу.

Дані можуть передаватися синхронно або асинхронно. Синхронна передача використовує спільний тактовий сигнал для узгодження прийому та відправлення бітів, що забезпечує високу швидкість і точність, тоді як асинхронна передача формує сигнали самостійно з використанням стартових і стопових бітів, що дозволяє працювати без зовнішнього годинника, проте з меншою пропускну здатністю. У кабельних інтерфейсах дані перетворюються в електричні або оптичні сигнали, а у бездротових — у радіочастотні імпульси, які кодуються відповідно до протоколу зв'язку для забезпечення надійності та цілісності інформації.

Контролери інтерфейсів реалізують буферизацію, корекцію помилок і маршрутизацію пакетів даних, забезпечуючи узгоджену роботу апаратних та програмних компонентів. Використання правильного принципу передавання даних визначає ефективність комунікації, мінімізує затримки та втрати інформації, підвищує швидкодію та надійність роботи комп'ютерної системи в цілому, незалежно від типу підключення та середовища передачі.

Апаратні аспекти забезпечення інформаційної безпеки персональних комп'ютерів спрямовані на захист даних від несанкціонованого доступу, модифікації або втрати, починаючи від фізичного доступу до інтерфейсів і закінчуючи реалізацією спеціалізованих захисних модулів. Контроль фізичного доступу включає використання корпусів з замками, захищених слотів для плат розширення, роз'ємів і портів, а також обмеження доступу до

внутрішніх шин та блоків пам'яті, що унеможливлює пряме втручання у роботу апаратних компонентів без авторизації.

Апаратні методи захисту даних включають використання криптографічних процесорів, апаратних модулів шифрування, TPM (Trusted Platform Module) та апаратних токенів для зберігання ключів і сертифікатів. Такі рішення дозволяють здійснювати шифрування дисків, контроль цілісності системних файлів, автентифікацію користувачів і захист від зловмисних модифікацій програмного забезпечення на рівні апаратури. Додатково застосовуються технології безпечного завантаження, апаратна підтримка ізоляції пам'яті та механізми блокування зовнішніх портів для запобігання несанкціонованому копіюванню або витоку даних.

Впровадження апаратних методів захисту дозволяє підвищити надійність системи, зменшити ризик компрометації конфіденційної інформації та забезпечити відповідність вимогам стандартів безпеки у корпоративних, державних і промислових середовищах. Сумісна робота апаратних і програмних засобів забезпечує багаторівневий захист інформації, мінімізує вразливості та дозволяє ефективно реагувати на загрози, що виникають у процесі експлуатації комп'ютерної системи.

Узгодження інтерфейсів у персональних комп'ютерах передбачає сумісність електричних сигналів, протоколів обміну та механічних роз'ємів між апаратними компонентами і периферійними пристроями, що дозволяє забезпечити коректну роботу системи без втрат даних та перевантажень шин. Узгодження передбачає стандартизацію рівнів напруги, швидкості передачі, послідовності сигналів керування та формату пакетів даних, а також підтримку зворотної сумісності між різними поколіннями пристроїв і контролерів. Ця практика критична для USB, оскільки широкий спектр периферії та версій стандарту вимагає узгодження для забезпечення стабільної роботи, незалежно від покоління пристрою чи хоста.

Інтерфейс USB (Universal Serial Bus) має декілька версій, що відрізняються пропускну здатністю, механічними характеристиками та електричними параметрами. USB 1.1 забезпечує швидкість до 12 Мбіт/с, підтримує класичні периферійні пристрої, USB 2.0 збільшує пропускну здатність до 480 Мбіт/с, зберігаючи сумісність з попередньою версією. USB 3.0 та 3.1 забезпечують передачу даних до 5–10 Гбіт/с, підтримують повнодуплексний режим, оптимізовані для сучасних накопичувачів і високошвидкісних периферійних пристроїв. USB 3.2 і USB4 підвищують пропускну здатність до 20–40 Гбіт/с, інтегрують підтримку Thunderbolt та забезпечують більш ефективне живлення підключених пристроїв. Кожна версія USB має специфічні технічні характеристики, що визначають сумісність, швидкодію і енергоспоживання, а правильне узгодження інтерфейсу забезпечує надійний обмін даними, оптимізацію роботи периферії та стабільність роботи комп'ютерної системи в цілому.

Використання комп'ютера для керування зовнішніми пристроями передбачає організацію обміну командами та даними між центральною системою та периферією через апаратні інтерфейси та контролери вводу-виводу. Комп'ютер генерує сигнали керування, що перетворюються у фізичні дії на пристроях, таких як промислові контролери, роботи, датчики, актуатори або побутова електроніка. Передача команд і даних здійснюється через стандартизовані кабельні або бездротові інтерфейси, наприклад USB, Ethernet, RS-232, Bluetooth або Wi-Fi, із застосуванням відповідних протоколів обміну та синхронізації для забезпечення точності та надійності керування.

Апаратні контролери та адаптери інтерфейсів виконують перетворення сигналів, буферизацію, корекцію помилок та забезпечують електричну сумісність, що дозволяє комп'ютеру координувати роботу різномірних пристроїв незалежно від їх фізичної природи. Використання спеціалізованих плат розширення або мікроконтролерів дозволяє реалізовувати високошвидкісні та точні керуючі системи, забезпечуючи взаємодію з промисловими шинами, сенсорними мережами або вбудованими пристроями. Ефективне апаратне керування забезпечує синхронність дій, мінімізує затримки та підвищує точність виконання алгоритмів, що критично для автоматизованих систем, робототехнічних комплексів та інтегрованих обчислювальних середовищ, де від апаратної взаємодії залежить продуктивність та надійність роботи всієї системи.

Методи підключення обладнання до комп'ютерної системи визначають способи фізичного та логічного з'єднання пристроїв, що забезпечують ефективний обмін даними, керування та синхронізацію. У промислових та вбудованих системах для підключення використовуються стандартизовані інтерфейси, такі як RS-485 і CAN, які характеризуються високою надійністю, можливістю роботи на великих відстанях та стійкістю до електромагнітних перешкод. RS-485 забезпечує диференційну передачу даних по двох провідниках, дозволяючи підключати кілька пристроїв у багатоточкову шину, що особливо важливо для промислових контролерів та сенсорних мереж. CAN (Controller Area Network) реалізує комунікацію за допомогою протоколу з пріоритетами повідомлень, контрольними сумами та механізмами виявлення помилок, що дозволяє організовувати надійну мережу для керування транспортними, виробничими та робототехнічними системами.

Перетворювачі інтерфейсів використовуються для забезпечення сумісності між різними стандартами, наприклад конвертація RS-232 у RS-485 або USB у Ethernet, і дозволяють інтегрувати різномірні пристрої в єдину керовану систему. Вони реалізують перетворення сигналів, буферизацію та синхронізацію даних, забезпечуючи коректну роботу пристроїв із різними рівнями напруги, протоколами і швидкістю передачі. Використання промислових інтерфейсів та перетворювачів дозволяє комп'ютеру ефективно керувати зовнішнім обладнанням, забезпечує надійність та безпеку обміну даними в умовах індустриальних електромагнітних перешкод і високих навантажень, а також створює основу для масштабованих і гнучких автоматизованих систем управління.

Технологія PoE (Power over Ethernet) дозволяє передавати електроживлення разом із даними по стандартному мережевому кабелю Ethernet, що забезпечує спрощене підключення периферійних пристроїв без потреби у додаткових джерелах живлення. Вона реалізується за рахунок ін'єкції постійної напруги на жили кабелю, сумісного зі стандартами IEEE 802.3af, 802.3at і 802.3bt, які визначають максимальну потужність, що може передаватися, та механізм визначення сумісних пристроїв. Стандарти PoE підтримують автоматичне розпізнавання сумісного обладнання, забезпечуючи подачу напруги тільки на пристрої, здатні її приймати, що запобігає пошкодженню мережевої інфраструктури та периферії.

PoE широко застосовується для живлення мережевих камер, точок доступу Wi-Fi, VoIP-телефонів, сенсорів та інших пристроїв, що інтегруються у локальні мережі. Використання PoE спрощує монтаж та технічне обслуговування, зменшує кількість необхідних кабелів і дозволяє централізовано керувати енергоспоживанням пристроїв. Апаратні компоненти PoE включають інжектори і спліттери, які забезпечують подачу і регулювання напруги, а також захист від перевантажень і коротких замикань. Інтеграція PoE у мережеву інфраструктуру підвищує гнучкість розгортання периферійних пристроїв,

дозволяє реалізувати автономні системи з мінімальною апаратною складністю та гарантує стабільну роботу обладнання навіть у промислових і віддалених середовищах.

ТЕМА 4. КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Лекція 11. Організація та управління даними у локальних і глобальних мережах

Мережева комп'ютерна техніка забезпечує організацію, управління та передачу даних між обчислювальними системами у локальних, регіональних та глобальних мережах, формуючи інфраструктуру для обміну інформацією, доступу до ресурсів та керування периферійними пристроями. Вона включає апаратні компоненти, такі як мережеві карти, маршрутизатори, комутатори, точки доступу, концентратори та мережеві кабелі, а також промислові і спеціалізовані модулі для передачі даних на великі відстані або у складних умовах експлуатації. Мережеві пристрої реалізують передачу пакетів даних, маршрутизацію, комутацію, контроль цілісності та пріоритезацію трафіку, забезпечуючи надійність, високу швидкість і безпеку обміну інформацією.

В сучасних системах мережеве обладнання підтримує стандарти Ethernet, Wi-Fi, PoE та інші промислові протоколи, дозволяючи інтегрувати проводові та бездротові сегменти мережі в єдину керовану інфраструктуру. Технології комутації і маршрутизації, апаратна підтримка QoS (Quality of Service) та безпеки, використання VLAN і VPN дозволяють оптимізувати пропускну здатність, ізолювати трафік та забезпечити захист інформації. Апаратні рішення для мережевої комп'ютерної техніки враховують відстані між вузлами, електромагнітні перешкоди, енергоспоживання та умови експлуатації, забезпечуючи стабільність роботи і сумісність із різними комп'ютерними системами та периферійними пристроями. Ефективна організація мережевої інфраструктури є критичною для реалізації корпоративних, промислових та вбудованих обчислювальних систем, де продуктивність, надійність і безпека передачі даних визначають загальну ефективність роботи всього середовища.

Комутатори, маршрутизатори та модеми є ключовими апаратними компонентами мережевої комп'ютерної техніки, що забезпечують ефективну організацію передачі даних, маршрутизацію пакетів і підключення до зовнішніх мереж. Комутатори (switch) виконують функцію комутації пакетів всередині локальної мережі, аналізуючи адреси MAC і передаючи дані тільки до відповідного порту, що підвищує пропускну здатність та зменшує колізії. Маршрутизатори (router) забезпечують обмін даними між різними мережами, визначаючи оптимальні маршрути передачі пакетів на основі IP-адрес, таблиць маршрутизації та протоколів динамічного маршрутизування, а також виконують функції NAT, брандмауера і QoS для управління трафіком та підвищення безпеки.

Модеми (modulator-demodulator) виконують перетворення цифрових сигналів комп'ютера в аналогові для передачі по телефонних або кабельних лініях та навпаки, забезпечуючи доступ до широкосмугових або вузькосмугових мереж. Сучасні модеми інтегрують функції маршрутизації, бездротового доступу та підтримку протоколів DSL, кабельного інтернету або оптичного підключення, що дозволяє створювати комплексні мережеві інфраструктури для домашніх, корпоративних та промислових систем. Узгоджена робота комутаторів, маршрутизаторів і модемів забезпечує оптимальну пропускну здатність, мінімізацію затримок, підвищену надійність і безпеку передачі даних у локальних та глобальних мережах.

Структурні схеми мережевих пристроїв відображають взаємодію апаратних компонентів і логіку обробки та маршрутизації даних, забезпечуючи наочне розуміння

принципів їх роботи. У комутаторі структурна схема включає порти вводу-виводу, внутрішні шини, таблиці MAC-адрес та механізми буферизації пакетів. Пакети, що надходять на порт, аналізуються контролером, визначається їх адресат, після чого дані передаються до відповідного порту без зайвої транзитної передачі, що підвищує ефективність локальної мережі та зменшує колізії.

У маршрутизаторах структурні схеми включають процесор маршрутизації, таблиці маршрутизації, буфери та інтерфейси зовнішніх мереж. Маршрутизатор приймає пакети з однієї мережі, аналізує IP-адресу призначення, визначає оптимальний маршрут та передає пакет відповідному інтерфейсу, при цьому застосовуючи механізми NAT, контроль черг і пріоритезацію трафіку.

Модеми включають блоки модуляції та демодуляції сигналів, перетворювачі аналогових і цифрових сигналів, інтерфейсні контролери та буфери обміну. Цифрові дані комп'ютера перетворюються у форму, придатну для передачі каналом зв'язку, а прийняті сигнали відновлюються у цифровий формат для обробки системою.

Розуміння структурних схем і принципів роботи комутаторів, маршрутизаторів та модемів дозволяє проектувати надійні та ефективні мережеві інфраструктури, оптимізувати маршрутизацію, підвищувати продуктивність передачі даних та забезпечувати стабільність і безпеку функціонування комп'ютерних систем у локальних і глобальних мережах.

Аналіз структурної схеми мережного комутатора дозволяє оцінити внутрішню організацію пристрою та його здатність забезпечувати ефективну комутацію пакетів у локальній мережі. Основними блоками комутатора є порти введення-виведення, внутрішні шини передачі даних, буфери, контролери пакетів і таблиці MAC-адрес. Порти приймають Ethernet-кадри від підключених пристроїв і передають їх на внутрішній контролер, який аналізує адресу призначення і визначає вихідний порт для передачі кадру, що мінімізує навантаження на інші сегменти мережі та запобігає колізіям.

Буфери тимчасово зберігають пакети, забезпечуючи коректну обробку при одночасному надходженні великого потоку даних або під час обробки пакетів різних швидкостей, а контролери забезпечують узгодження сигналів, управління чергами передачі і перевірку цілісності даних. Таблиці MAC-адрес містять інформацію про фізичні адреси підключених пристроїв та відповідні порти комутатора, що дозволяє ефективно направляти пакети тільки до потрібного приймача.

Аналіз структурної схеми комутатора дозволяє оцінити продуктивність пристрою, його здатність обробляти великі обсяги трафіку, забезпечувати мінімальні затримки передачі та підтримувати механізми пріоритезації і сегментації мережевого трафіку. Розуміння внутрішньої організації комутатора є критично важливим для проектування надійних і масштабованих локальних мереж, оптимізації пропускної здатності та забезпечення безпеки даних.

Мережеві комутатори класифікуються за призначенням, швидкістю обробки даних, рівнем управління та функціональними можливостями, що дозволяє оптимально вибирати пристрій для конкретної мережевої інфраструктури. Основні типи включають необслуговувані (unmanaged) комутатори, керовані (managed) комутатори та смарт-комутатори (smart/managed-lite).

Необслуговувані комутатори забезпечують базову комутацію пакетів між портами без можливості конфігурації, автоматично визначають швидкість та дуплексний режим підключених пристроїв і підтримують стандартні функції, такі як навчання MAC-адрес і

передача кадрів. Вони прості в експлуатації та оптимальні для малих офісних або домашніх мереж, де не потрібен контроль трафіку та розширене адміністрування.

Керовані комутатори надають розширені можливості конфігурації та моніторингу, включаючи VLAN, QoS, SNMP, управління чергами передачі, контроль доступу, агрегацію каналів та протоколи резервування, що дозволяє оптимізувати пропускну здатність, підвищити надійність і забезпечити безпеку мережі. Вони застосовуються у корпоративних і промислових середовищах, де критично важлива контрольована маршрутизація та сегментація трафіку.

Смарт-комутатори поєднують простоту необслуговуваних моделей з обмеженими можливостями управління, наприклад налаштування VLAN і базовий моніторинг трафіку, що робить їх проміжним рішенням для середніх офісних мереж. Крім того, комутатори можуть відрізнятися за швидкістю портів (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10/25/40/100 GbE), кількістю портів, підтримкою PoE та апаратними особливостями, такими як стекування або резервування живлення. Вибір типу комутатора визначає ефективність комутації, продуктивність мережі та можливість масштабування інфраструктури.

Маршрутизатори в комп'ютерних мережах виконують функцію з'єднання різних мереж і визначення оптимальних маршрутів передачі пакетів даних на основі IP-адрес та протоколів маршрутизації. Вони аналізують заголовки пакетів, формують таблиці маршрутів і здійснюють управління чергами, пріоритезацію трафіку та контроль доступу, забезпечуючи ефективну роботу як локальних, так і глобальних мереж. Маршрутизатори можуть мати інтегровані функції безпеки, такі як фільтрація пакетів, NAT, VPN і брандмауер, що дозволяє підвищити захищеність мережевої інфраструктури і стабільність передачі даних.

Серверне обладнання відрізняється від персональних комп'ютерів архітектурними, апаратними та функціональними характеристиками. Сервери розраховані на безперервну роботу в режимі 24/7, підтримку великої кількості одночасних підключень, високі обсяги оперативної пам'яті, багатоядерні процесори та розширювані підсистеми зберігання даних. Вони часто оснащуються спеціалізованими системами живлення з резервуванням, контролерами RAID, апаратними модулями управління і моніторингу, що підвищує надійність та відмовостійкість. На відміну від персональних комп'ютерів, сервери мають обмежений інтерфейс для прямого користувацького введення і орієнтовані на обслуговування мережевого або прикладного програмного забезпечення для великої кількості користувачів, що робить їх ключовою складовою корпоративних та промислових інформаційних систем.

Лекція 12. Сучасні тенденції розвитку комп'ютерної техніки та серверних систем

Сучасні тенденції розвитку комп'ютерної техніки характеризуються постійним підвищенням продуктивності обчислювальних систем, зменшенням енергоспоживання та збільшенням інтеграції апаратних компонентів. Основними напрямками є мініатюризація електронних елементів, підвищення щільності інтегральних схем і розвиток багатоядерних процесорів, що дозволяє одночасно виконувати паралельні обчислювальні задачі та підвищує загальну ефективність системи. Крім того, активно розвиваються спеціалізовані обчислювальні платформи, включаючи графічні процесори (GPU), нейромережеві прискорювачі та апаратні рішення для обробки великих даних і штучного інтелекту.

Сучасна комп'ютерна техніка також орієнтована на інтеграцію з хмарними сервісами, мережевими технологіями та Інтернетом речей (IoT), що дозволяє організовувати

розподілені обчислювальні середовища та підвищувати гнучкість і масштабованість систем. Паралельно ведеться розвиток енергоефективних технологій, включаючи використання твердотільних накопичувачів, систем управління живленням та апаратних модулів оптимізації роботи компонентів у різних режимах навантаження.

Іншими тенденціями є підвищення надійності і безпеки апаратної інфраструктури, підтримка стандартизованих інтерфейсів і протоколів для сумісності з периферійними пристроями та новими програмними рішеннями, а також розвиток технологій мобільності, компактності та бездротового зв'язку. Ці напрями визначають сучасний курс розвитку комп'ютерної техніки як складної інтегрованої системи, здатної забезпечувати високопродуктивну, надійну та безпечну обробку даних у різних сферах, від персональних і корпоративних систем до промислових і вбудованих обчислювальних середовищ.

Багатоядерні системи представляють собою обчислювальні платформи, у яких один процесорний кристал містить два і більше ядер, кожне з яких здатне виконувати окремі потоки інструкцій незалежно. Така архітектура дозволяє одночасно обробляти кілька задач, підвищуючи загальну продуктивність системи без пропорційного збільшення тактової частоти, що зменшує енергоспоживання та тепловиділення. Кожне ядро багатоядерного процесора має власний блок кеш-пам'яті рівня L1, а для підвищення ефективності обміну даними ядра можуть використовувати спільні кеші рівня L2 або L3, що дозволяє оптимізувати доступ до оперативної пам'яті та зменшувати затримки при міжпроцесорній взаємодії.

Багатоядерні системи активно використовуються для паралельної обробки обчислювально складних задач, таких як симуляції, обробка великих масивів даних, рендеринг графіки, моделювання фізичних процесів та виконання серверних завдань. Вони дозволяють реалізувати багатопотокові програми, де кожен потік керується окремим ядром, що підвищує ефективність використання апаратних ресурсів. Розробка програмного забезпечення для багатоядерних систем вимагає врахування аспектів синхронізації, конкуренції за ресурси та балансування навантаження між ядрами, оскільки некоректне планування потоків може знижувати продуктивність і створювати вузькі місця в обробці даних.

Таким чином, багатоядерні системи є ключовим напрямом розвитку сучасної комп'ютерної техніки, поєднуючи високу обчислювальну потужність, енергоефективність і здатність до масштабованого паралельного виконання завдань, що робить їх основою сучасних персональних, серверних і вбудованих платформ.

Вбудовані комп'ютерні системи (ВКС) представляють собою спеціалізовані обчислювальні платформи, інтегровані в складові частини технічних пристроїв для виконання конкретних функцій управління, обробки даних або моніторингу. На відміну від загального призначення персональних комп'ютерів, ВКС орієнтовані на виконання вузькоспеціалізованих завдань у режимі реального часу, мають оптимізовану архітектуру, обмежений набір ресурсів і підвищену надійність роботи у специфічних умовах експлуатації. ВКС складаються з процесора або мікроконтролера, оперативної та постійної пам'яті, периферійних модулів і спеціалізованих інтерфейсів для взаємодії з сенсорами, актуаторами та іншими електронними компонентами.

Сфери застосування вбудованих систем охоплюють промислову автоматизацію, автомобільну електроніку, медичне обладнання, робототехніку, побутову техніку, телекомунікаційні та мережеві пристрої, а також системи Інтернету речей (IoT). У промисловості ВКС забезпечують контроль технологічних процесів, збір та обробку даних з

датчиків і керування актуаторами, тоді як в автомобільній електроніці вони відповідають за роботу систем ABS, контролю двигуна, систем безпеки та мультимедійних комплексів. У медичному обладнанні вбудовані системи реалізують контроль параметрів життєдіяльності пацієнта, точну діагностику та автоматизацію процедур.

Завдяки компактності, енергоефективності та здатності працювати в режимі реального часу, ВКС забезпечують інтеграцію складних функціональних можливостей у технічні пристрої, підвищують їх надійність і продуктивність, а також дозволяють створювати масштабовані та гнучкі системи управління та моніторингу, що адаптовані до конкретних завдань і умов експлуатації.

Роль програмного забезпечення у взаємодії з апаратурою полягає у забезпеченні коректного управління апаратними компонентами, координації їх роботи та реалізації функціональних можливостей комп'ютерної системи. Програмне забезпечення виступає проміжним рівнем між користувачем або прикладними програмами та апаратними модулями, забезпечуючи абстракцію фізичних інтерфейсів, доступ до периферійних пристроїв та контроль за синхронізацією і передачею даних. Воно формує командні потоки для процесора, визначає порядок обробки сигналів, керує доступом до пам'яті та периферійних модулів, реалізує протоколи обміну даними і забезпечує захист від конфліктів та помилок у роботі апаратури.

Прикладні та системні програми використовують драйвери, бібліотеки і апаратні абстракції для доступу до різних компонентів комп'ютера — процесора, оперативної пам'яті, накопичувачів, мережевих інтерфейсів, сенсорів та актуаторів у вбудованих системах. Драйвери перетворюють високорівневі команди у специфічні сигнали для апаратних пристроїв, контролюють обмін даними та забезпечують їх надійність. Операційні системи координують роботу багатьох пристроїв одночасно, розподіляють ресурси та реалізують багатозадачність, що дозволяє апаратурі ефективно виконувати складні операції без втрат продуктивності.

Таким чином, програмне забезпечення визначає можливості використання апаратних ресурсів, оптимізує їх продуктивність, підвищує надійність і безпеку роботи системи та дозволяє інтегрувати апаратні рішення у комплексні обчислювальні середовища, від персональних і серверних платформ до вбудованих і промислових систем управління.

Вибір апаратної архітектури залежно від типу програмної системи визначається вимогами до продуктивності, масштабованості, енергоспоживання, надійності та специфіки обробки даних. Для обчислювально інтенсивних систем, таких як сервери баз даних, обробка великих масивів інформації або штучний інтелект, пріоритетом є багатоядерні процесори, велика обсяг оперативної пам'яті та високошвидкісні підсистеми зберігання даних, що забезпечують паралельну обробку потоків і мінімізацію затримок. Для вбудованих і реального часу програмних систем важливими є енергоефективність, компактність, надійність і підтримка спеціалізованих периферійних модулів для управління сенсорами, актуаторами та комунікаційними інтерфейсами.

Типові персональні системи для користувацьких програм орієнтовані на збалансовану продуктивність процесора, графічного прискорювача, оперативної пам'яті та дискової підсистеми, що забезпечує комфортну роботу із прикладним програмним забезпеченням, мультимедійними додатками та мережевими сервісами. Промислові та корпоративні платформи підбираються з урахуванням надійності живлення, стійкості до електромагнітних перешкод, підтримки резервування та інтеграції у мережеві середовища.

Таким чином, архітектура апаратної системи формується виходячи з конкретних функціональних і нефункціональних вимог програмного забезпечення, що забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності, надійності та енергоефективності, дозволяє реалізовувати складні алгоритми і гарантує стабільну роботу програмних систем у різних умовах експлуатації.

Апаратні засоби підвищення надійності та захисту даних у серверних системах забезпечують безперервну роботу обчислювальних платформ та збереження цілісності інформації навіть у разі відмов окремих компонентів. До ключових рішень належать резервування живлення через блоки безперебійного живлення (UPS) і подвійні силові лінії, апаратні модулі контролю і управління роботою серверів, а також системи моніторингу температури, напруги та стану вентиляторів. Для підвищення надійності зберігання даних використовуються контролери RAID, що дозволяють організовувати масиви з надлишковістю інформації і забезпечувати відновлення даних у разі виходу з ладу одного або кількох накопичувачів.

Серверні системи застосовують ECC-пам'ять (Error-Correcting Code), яка автоматично виявляє та коригує одиночні та багатобітові помилки, що виникають під час запису або читання, зменшуючи ризик збоїв і втрати даних. Крім того, апаратні засоби включають спеціалізовані контролери доступу, криптографічні модулі та апаратні фільтри для захисту інформації від несанкціонованого доступу. Використання апаратної віртуалізації та резервування компонентів дозволяє організовувати безперервне обслуговування систем і підтримку високого рівня доступності сервісів, що критично для корпоративних і промислових інформаційних середовищ.

Завдяки інтеграції цих рішень серверні платформи досягають високої надійності, стабільності та безпеки роботи, дозволяючи обробляти великі обсяги даних, підтримувати критичні бізнес-процеси та забезпечувати стійкість систем до апаратних і програмних відмов, що робить їх базовим компонентом сучасної обчислювальної інфраструктури.

Системи зберігання даних NAS (Network Attached Storage) та RAID-масиви є ключовими апаратними компонентами для організації надійного і ефективного збереження інформації в серверних і корпоративних середовищах. NAS представляє собою спеціалізований пристрій, підключений безпосередньо до локальної або корпоративної мережі, що забезпечує централізоване сховище даних із підтримкою протоколів файлового доступу, таких як SMB/CIFS або NFS. Це дозволяє кільком користувачам та системам одночасно отримувати доступ до файлів, організовувати резервне копіювання, обмежувати доступ та здійснювати моніторинг використання ресурсів без необхідності прямого підключення до серверів.

RAID-масиви (Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks) застосовуються для підвищення надійності та продуктивності підсистеми зберігання даних шляхом об'єднання декількох жорстких дисків або SSD у єдиний логічний масив. Існують різні рівні RAID (0, 1, 5, 6, 10), що забезпечують різні комбінації чергування, надлишковості та відновлення даних. Використання RAID дозволяє запобігти втраті інформації при відмові одного або декількох накопичувачів, підвищити швидкість запису та читання даних, а також забезпечити безперервну роботу критичних додатків.

Інтеграція NAS із RAID-масивами забезпечує надійну, масштабовану і централізовану систему зберігання даних, яка дозволяє ефективно управляти великими обсягами інформації, здійснювати резервне копіювання і відновлення, підвищувати продуктивність

обчислювальної інфраструктури та забезпечувати високий рівень доступності та безпеки даних для корпоративних, промислових і вбудованих систем.

Лекція 13. Комп'ютерні засоби для Інтернету речей

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) є сучасною концепцією побудови інформаційних систем, у яких фізичні об'єкти оснащуються електронними пристроями, сенсорами, засобами обробки даних та мережевими інтерфейсами для взаємодії між собою та з інформаційними системами. Основою реалізації таких систем є комп'ютерні засоби, що забезпечують збір, обробку, передачу та зберігання даних. У межах дисципліни «Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів» особлива увага приділяється апаратним компонентам та архітектурним принципам побудови таких систем.

Комп'ютерні засоби Інтернету речей являють собою спеціалізовані вбудовані обчислювальні системи, які інтегруються у різноманітні технічні об'єкти та виконують функції вимірювання, керування або обміну даними. На відміну від традиційних комп'ютерних систем, такі пристрої мають обмежені ресурси пам'яті, невисоку обчислювальну потужність та часто працюють у режимах зниженого енергоспоживання. Це зумовлює специфічні вимоги до їх архітектури, схемотехнічної реалізації та програмного забезпечення.

Основу більшості пристроїв Інтернету речей становлять мікроконтролери. Мікроконтролер є інтегральною схемою, яка містить центральний процесор, оперативну пам'ять, постійну пам'ять програм, а також периферійні модулі введення-виведення. Завдяки такій інтеграції мікроконтролери дають змогу створювати компактні та енергоефективні обчислювальні пристрої. Архітектура мікроконтролерів зазвичай оптимізована для виконання керуючих програм та обробки сигналів від сенсорів.

У системах Інтернету речей широко застосовуються мікроконтролери різних архітектур. Однією з найпоширеніших є архітектура ARM Cortex-M, яка використовується у великій кількості сучасних вбудованих систем. Такі мікроконтролери мають достатню обчислювальну потужність для виконання алгоритмів обробки даних, підтримують роботу з периферійними пристроями та можуть використовувати різні комунікаційні інтерфейси. Іншою поширеною архітектурою є AVR, яка використовується у багатьох навчальних і прикладних системах, а також у платформах на зразок Arduino.

Важливим компонентом комп'ютерних засобів Інтернету речей є сенсори. Сенсор являє собою пристрій, який перетворює фізичну величину у електричний сигнал. У системах IoT використовуються різноманітні сенсори: температури, вологості, освітленості, тиску, руху, газів та інші. Отримані від сенсорів сигнали обробляються мікроконтролером, після чого можуть передаватися у мережу або використовуватися для керування виконавчими пристроями.

Окрім сенсорів, у системах Інтернету речей застосовуються виконавчі пристрої. До них належать електродвигуни, реле, світлодіодні індикатори, нагрівальні елементи та інші компоненти, що дають змогу змінювати стан фізичного об'єкта. Мікроконтролер керує такими пристроями через спеціальні вихідні інтерфейси, використовуючи цифрові сигнали або широтно-імпульсну модуляцію.

Для взаємодії між пристроями Інтернету речей важливу роль відіграють комунікаційні інтерфейси. У межах одного пристрою використовуються внутрішні інтерфейси для підключення периферійних модулів. Найпоширенішими серед них є SPI, I2C

та UART. Інтерфейс SPI забезпечує швидкий обмін даними між мікроконтролером і периферійними модулями, наприклад, пам'яттю або дисплеями. Інтерфейс I2C дає змогу підключати кілька пристроїв до однієї шини, використовуючи лише дві сигнальні лінії. Інтерфейс UART використовується для послідовної передачі даних між пристроями або для взаємодії з комп'ютером.

Окрім локальних інтерфейсів, системи Інтернету речей потребують засобів мережевої взаємодії. Для цього використовуються різні бездротові та дротові технології зв'язку. Найпоширенішою технологією є Wi-Fi, яка забезпечує пряме підключення пристроїв до локальної мережі або Інтернету. Іншою популярною технологією є Bluetooth Low Energy, що використовується для створення енергоефективних бездротових мереж з невеликою дальністю зв'язку.

У промислових та масштабних системах Інтернету речей застосовуються спеціалізовані технології зв'язку, такі як ZigBee, LoRa або NB-IoT. Технологія ZigBee призначена для створення мереж із великої кількості пристроїв з низьким енергоспоживанням. Технологія LoRa використовується для передачі даних на великі відстані з мінімальним споживанням енергії. Технологія NB-IoT базується на інфраструктурі мобільних мереж та забезпечує підключення пристроїв до глобальних мереж зв'язку.

Окрім мікроконтролерів, у системах Інтернету речей можуть використовуватися одноплатні комп'ютери. Такі пристрої мають більшу обчислювальну потужність та здатні виконувати складніші програмні задачі. Одноплатні комп'ютери зазвичай містять процесор, оперативну пам'ять, мережеві інтерфейси та роз'єми для підключення периферійних пристроїв. Вони можуть працювати під керуванням операційних систем, таких як Linux, що розширює можливості їх використання.

Одноплатні комп'ютери використовуються у випадках, коли пристрій повинен виконувати складну обробку даних, працювати з мультимедійною інформацією або забезпечувати взаємодію з користувачем через графічний інтерфейс. У таких системах мікроконтролер може виконувати функції збору даних, тоді як одноплатний комп'ютер здійснює їх подальшу обробку та передачу у мережу.

Архітектура систем Інтернету речей зазвичай має багаторівневу структуру. На нижньому рівні розташовані пристрої збору даних — сенсори та виконавчі модулі. На середньому рівні знаходяться обчислювальні вузли, що здійснюють первинну обробку інформації. Верхній рівень утворюють сервери або хмарні платформи, які забезпечують зберігання, аналіз та візуалізацію даних.

Важливою особливістю комп'ютерних засобів Інтернету речей є необхідність забезпечення енергоефективності. Багато пристроїв працюють від автономних джерел живлення, наприклад батарей або акумуляторів. Тому у таких системах використовуються спеціальні режими енергозбереження, за яких мікроконтролер переходить у сплячий режим і активується лише у разі необхідності обробки події або передачі даних.

Ще одним важливим аспектом є безпека систем Інтернету речей. Оскільки пристрої IoT часто підключені до глобальних мереж, вони можуть бути об'єктом різноманітних кібератак. Тому комп'ютерні засоби таких систем повинні підтримувати механізми автентифікації, шифрування та захисту переданих даних. У сучасних мікроконтролерах часто реалізуються апаратні модулі криптографічного захисту, що забезпечують виконання алгоритмів шифрування з мінімальними витратами обчислювальних ресурсів.

Значну роль у функціонуванні систем Інтернету речей відіграє програмне забезпечення. Воно забезпечує керування апаратними ресурсами, обробку даних, взаємодію з

мережею та виконання прикладних задач. У простих пристроях використовується вбудоване програмне забезпечення, яке працює без операційної системи. У більш складних системах застосовуються спеціалізовані операційні системи реального часу, які дають змогу організувати паралельне виконання кількох задач та забезпечують передбачуваний час реакції системи.

З практичної точки зору системи Інтернету речей знаходять застосування у багатьох сферах. Однією з найбільш поширених є концепція «розумного дому», у межах якої комп'ютерні пристрої контролюють освітлення, кліматичні системи, системи безпеки та інші елементи будівлі. Іншою важливою сферою є промисловість, де технології IoT використовуються для моніторингу стану обладнання, оптимізації виробничих процесів та підвищення ефективності використання ресурсів.

У транспортних системах Інтернет речей застосовується для контролю транспортних потоків, моніторингу технічного стану транспортних засобів та організації систем навігації. У сфері охорони здоров'я використовуються медичні сенсорні пристрої, що дають змогу контролювати фізіологічні параметри пацієнтів у реальному часі.

Таким чином, комп'ютерні засоби для Інтернету речей є важливим напрямом розвитку сучасної комп'ютерної техніки. Вони поєднують у собі досягнення мікроелектроніки, схемотехніки, комп'ютерної архітектури та телекомунікаційних технологій. Розвиток таких систем сприяє створенню нових технологічних рішень у різних галузях діяльності людини та формує основу для подальшого розвитку цифрового суспільства.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Harris, Sarah L., Harris, David Money. Digital Design and Computer Architecture: RISC-V Edition. Morgan Kaufmann, 2021. 584 p. ISBN 9780128200643.
2. Patterson, David A., Hennessy, John L. Computer Organization and Design RISC-V Edition: The Hardware/Software Interface. 2nd ed. Morgan Kaufmann, 2020. 754 p. ISBN 9780128203316.
3. Stallings, William. Computer Organization and Architecture: Designing for Performance. 11th ed. Pearson, 2021. 840 p. ISBN 9781292420103.
4. Tocci, Ronald J., Widmer, Neal S., Moss, Gregory L. Digital Systems: Principles and Applications. 12th ed. Pearson, 2017. 720 p. ISBN 9780134489896.
5. Матвієнко М. П., Розен В. П. Комп'ютерна схемотехніка. Київ: Ліра-К, 2016. 192 с. ISBN 9786175200018.

Допоміжна

6. Hennessy, John L., Patterson, David A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. 6th ed. Morgan Kaufmann, 2017. 936 p. ISBN 9780128119051.
7. Mano, M. Morris, Ciletti, Michael D. Digital Design. 6th ed. Pearson, 2017. 720 p. ISBN 9780134549897.
8. Азаров О. Д., Гарнага В. А., Клятченко Я. М., Тарасенко В. П. Комп'ютерна схемотехніка. Вінниця: ВНТУ, 2018. 230 с. ISBN 97896666417360.
9. Жур Т. В. Архітектура комп'ютерних систем. Житомир: ЖДТУ, 2018. 383 с. ISBN 9789666834471.
10. Закладний О. М., Матвієнко М. П., Розен В. П. Архітектура комп'ютера. Київ: Ліра-К, 2024. 320 с. ISBN 9786175203293.

Інформаційні ресурси

11. USB Implementers Forum. URL: <https://www.usb.org/>
12. UEFI Forum. URL: <https://uefi.org/>
13. PCI-SIG. URL: <https://pcisig.com/>
14. IEEE Standards Association (IEEE 802.3 Ethernet). URL: https://standards.ieee.org/standard/802_3.html
15. ARM Developer Documentation. URL: <https://developer.arm.com/documentation/>

Навчальне видання

Русу Олександр Петрович

КОМП'ЮТЕРНА СХЕМОТЕХНІКА ТА АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРІВ

Конспект лекцій для здобувачів вищої освіти,
які навчаються за спеціальностями галузі «Інформаційні технології»

Українською мовою