

ЛЕКЦІЯ 1

Вступ до комп'ютерної логіки та цифрових систем

1. Предмет комп'ютерної логіки

Комп'ютерна логіка — галузь, що вивчає способи подання, перетворення, зберігання та передавання інформації за допомогою скінченної множини логічних станів. У більшості цифрових систем використовуються два стани, умовно позначені 0 і 1. Ці символи не є напругою самі по собі: вони є абстрактними логічними значеннями, яким у конкретному пристрої відповідають визначені фізичні діапазони сигналу.

Комп'ютерна логіка поєднує математичні правила та фізичну реалізацію. На математичному рівні аналізують булеві змінні, функції та алгоритми. На схемному рівні ці правила реалізують логічні елементи, регістри, суматори й інші модулі. На системному рівні модулі утворюють процесори, контролери, пам'ять і цифрові пристрої.

Головна причина використання двох станів полягає в надійності їх розрізнення. Реальний електричний сигнал завжди містить відхилення та завади, але приймачеві простіше віднести напругу до одного з двох широких діапазонів, ніж точно розпізнавати багато близьких рівнів.

2. Інформація, дані, повідомлення та сигнал

Інформація — зміст, який зменшує невизначеність щодо об'єкта, події або процесу. Наприклад, повідомлення «температура дорівнює 23,5 °C» дає відомості про стан середовища. Інформація є змістовним поняттям і не визначає, у якому вигляді її потрібно зберігати.

Дані — формалізоване подання інформації, придатне для зберігання, передавання й автоматичної обробки. Значення температури можна подати текстом «23,5», двійковим кодом, послідовністю байтів або записом у таблиці бази даних. Зміст може залишатися тим самим, хоча спосіб кодування змінюється.

Повідомлення — упорядкована сукупність даних, яку передають від джерела до отримувача. Сигнал — фізична величина, зміна якої переносить повідомлення. Електричний сигнал може бути напругою або струмом, оптичний — інтенсивністю світла, радіосигнал — параметрами електромагнітної хвилі.

Поняття	Сутність	Приклад
Інформація	Зміст, що зменшує невизначеність	Температура підвищилася
Дані	Формалізований запис інформації	Число 23,5 у пам'яті
Повідомлення	Дані, організовані для передавання	Пакет із показанням датчика
Сигнал	Фізичний носій даних	Рівень напруги на провіднику
Логічний стан	Абстрактна інтерпретація сигналу	0 або 1

Докладний приклад: передавання показання датчика

1. Датчик вимірює температуру 23,5 °C — це фізичне спостереження.
2. Аналого-цифровий перетворювач формує числовий код — це дані.
3. Контролер додає адресу датчика й службові поля — утворюється повідомлення.
4. Біти повідомлення передаються змінами напруги або радіосигналом.
5. Приймач відновлює біти, декодує число та показує користувачеві інформацію.

3. Аналогове та цифрове подання

Аналогове подання використовує безперервну множину можливих значень. Напруга аналогового датчика може змінюватися плавно й набувати будь-якого значення в дозволеному інтервалі. Цифрове подання використовує скінченну множину кодів. Навіть якщо фізичний цифровий сигнал змінюється безперервно, приймач відносить його до одного з дозволених логічних станів.

Ознака	Аналогове подання	Цифрове подання
Множина значень	Безперервна	Скінченна
Вплив малої завади	Безпосередньо змінює значення	Не змінює логічний стан, доки сигнал не перетнув поріг
Копіювання	Похибка може накопичуватися	Код можна відновити за дозволеними рівнями
Обробка	Виконується аналоговими схемами	Виконується логічними операціями над кодами

3.1. Дискретизація, квантування і кодування

Під час перетворення аналогового сигналу на цифровий послідовно виконують три дії. Дискретизація (sampling — вибірка) визначає моменти часу, у які вимірюється сигнал. Квантування (quantization) замінює виміряне значення найближчим дозволеним рівнем. Кодування (encoding) подає номер рівня двійковою послідовністю. Через скінченну кількість рівнів виникає похибка квантування.

Докладний приклад: квантування напруги

Нехай діапазон 0...5 В поділено на 8 рівнів. Для вибору одного з 8 рівнів потрібні 3 біти, тому що $2^3=8$. Орієнтовний крок квантування становить $5/8=0,625$ В. Виміряна напруга 2,7 В буде замінена найближчим рівнем, а номер цього рівня — записаний трьома бітами. Цифровий код відтворює не абсолютно точне значення, а його дискретне наближення.

4. Логічні рівні LOW і HIGH

LOW (низький логічний рівень) — діапазон фізичного сигналу, який пристрій гарантовано розпізнає як логічний 0. HIGH (високий логічний рівень) — діапазон, який гарантовано розпізнається як логічна 1. Між ними може існувати невизначена зона. Якщо сигнал потрапляє до цієї зони, правильне розпізнавання не гарантується.

Логічна 1 не означає обов'язково 5 В. У різних технологіях високому рівню можуть відповідати різні напруги. Важливим є не одне точне число, а дотримання допустимого діапазону. Запас завадостійкості (noise margin) показує, наскільки сигнал може відхилитися через заваду, залишаючись у гарантованій області свого логічного стану.

Логічний 0 є повноцінним значенням. Його не слід ототожнювати з відсутністю живлення, відсутністю провідника або невідомим станом. У цифровій моделі 0 і 1 — два визначені результати інтерпретації сигналу.

5. Біт, байт і двійковий код

Біт (bit, binary digit — двійкова цифра) — найменша одиниця двійкового подання, що має значення 0 або 1. Байт (byte) — впорядкована група з 8 бітів. Позиція біта важлива: одна й та сама одиниця в різних позиціях має різну вагу.

Якщо код містить n незалежних бітів, кількість можливих комбінацій дорівнює 2^n . Причина полягає у правилі добутку: кожна позиція має 2 варіанти, тому загальна кількість становить $2 \cdot 2 \cdot \dots \cdot 2$, де множник 2 повторюється n разів.

Кількість бітів n	Кількість комбінацій 2^n	Беззнакові значення
1	2	0...1
2	4	0...3
3	8	0...7
4	16	0...15
8	256	0...255
16	65536	0...65535

Докладний приклад: скільки станів можна закодувати шістьма бітами

Для $n=6$ кількість комбінацій дорівнює $2^6=64$. Перший код — 000000_2 , останній — 111111_2 . Якщо коди трактуються як беззнакові числа, вони представляють значення від 0 до 63. Число 64 є кількістю кодів, але не найбільшим значенням.

Докладний приклад: значення коду 1101_2

Крайній правий біт має вагу $2^0=1$. Наступні позиції мають ваги $2^1=2$, $2^2=4$ і $2^3=8$. Тому $1101_2=1 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 13_{10}$. Нуль у позиції з вагою 2 не додає нічого, але зберігає правильне розташування інших бітів.

6. Рівні організації цифрової системи

Цифрову систему зручно розглядати на кількох рівнях абстракції. Абстракція приховує другорядні деталі нижчого рівня й дає змогу працювати з функціями складніших блоків.

Рівень	Зміст	Приклад
Транзистор	Керований електронний елемент; у спрощеній моделі — перемикач	Відкривання або закривання шляху струму
Логічний елемент	Реалізує одну базову булеву операцію	NOT, AND, OR
Цифровий модуль	Виконує завершену функцію над групами бітів	Суматор, регістр, лічильник
Процесор або контролер	Виконує інструкції та координує модулі	CPU або MCU
Цифрова система	Об'єднує обчислення, пам'ять, введення та виведення	Комп'ютер, маршрутизатор, автомобільний блок
Програмне забезпечення	Задає послідовність дій апаратури	Операційна система або прикладна програма

Той самий пристрій можна описувати на різних рівнях. Наприклад, суматор на рівні функції додає числа; на логічному рівні складається з елементів XOR, AND і OR; на транзисторному рівні ці елементи утворені електронними ключами.

7. Основні типи цифрових пристроїв

Скорочення	Повна назва	Призначення
CPU	Central Processing Unit — центральний процесор	Універсально виконує послідовність машинних інструкцій.
GPU	Graphics Processing Unit — графічний процесор	Паралельно виконує багато однотипних операцій над великими масивами даних.
MCU	Microcontroller Unit — мікроконтролер	Поєднує процесорне ядро, пам'ять і периферію для керування пристроєм.
FPGA	Field-Programmable Gate Array — програмована користувачем вентиля матриця	Дає змогу конфігурувати структуру апаратної логіки.
SoC	System on Chip — система на кристалі	Об'єднує процесор, пам'ять, інтерфейси та спеціалізовані блоки на одному кристалі.
ALU	Arithmetic Logic Unit — арифметико-логічний пристрій	Виконує арифметичні й логічні операції над операндами.

CPU є програмованим через інструкції: апаратна структура залишається переважно сталою, а поведінка визначається програмою. FPGA програмується інакше: опис конфігурації задає, які логічні блоки та з'єднання мають бути утворені. MCU орієнтований на керування конкретним пристроєм, а SoC може містити CPU, GPU, контролери пам'яті та інтерфейси одночасно.

8. Мови опису апаратури та перевірка схем

HDL (Hardware Description Language — мова опису апаратури) призначена для формального опису цифрових схем. SystemVerilog — одна з мов HDL. Її конструкції описують входи, виходи, логічні залежності, регістри та взаємодію модулів. Код HDL не слід сприймати лише як звичайну програму: після синтезу він може визначати реальну структуру апаратури.

Модуль (module) — завершений опис цифрового блока з інтерфейсом. Вхід (input) отримує сигнал, вихід (output) повертає результат. Testbench (тестове оточення) подає на модуль контрольні набори сигналів і перевіряє відповіді. Waveform (часова діаграма сигналів) показує, як значення входів і виходів змінюються в часі.

Моделювання (simulation) виконує опис у програмному середовищі та дає змогу перевірити функціональну поведінку до виготовлення або конфігурації апаратури. Синтез (synthesis) перетворює придатну частину HDL-опису на мережу логічних елементів і з'єднань.

9. Наскрізний приклад: від натискання клавіші до зображення

1. Контакт клавіші змінює електричний стан — виникає фізичний сигнал.
2. MCU клавіатури опитує контакти, усуває короточасні коливання та визначає код клавіші.
3. USB (Universal Serial Bus — універсальна послідовна шина) передає повідомлення комп'ютеру.
4. CPU виконує код операційної системи й активної програми, визначаючи реакцію на подію.
5. GPU або інший графічний блок формує цифрове зображення у відеопам'яті.

6. Контролер дисплея перетворює цифрові дані на керувальні сигнали пікселів, а дисплей — на світло.

Приклад демонструє послідовне перетворення: фізичний сигнал → цифрові дані → повідомлення → програмна обробка → нові цифрові дані → фізичне зображення. На кожному етапі використовуються різні рівні абстракції, але логічні 0 і 1 залишаються основою цифрового подання.

10. Терміни та скорочення

Термін	Пояснення
RAM	Random Access Memory — оперативна пам'ять із довільним доступом.
I/O	Input/Output — введення/виведення даних.
USB	Universal Serial Bus — універсальна послідовна шина.
Логічний елемент	Схема, що реалізує базову булеву операцію.
Розрядність	Кількість бітів, відведених для коду або операції.
Код	Правило відповідності між значеннями та їх символічним поданням.