

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

**І.В.ЕЛЬПЕРІН**

# **ПРОМИСЛОВІ КОНТРОЛЕРИ**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як  
навчальний посібник для студентів вищих навчальних  
закладів*

**Київ НУХТ 2003**

УДК 681.5:681.32 - 181.48

Рецензенти: Скрипник Ю.О, доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації і комп'ютерних систем Національного університету технології та дизайну

Беляев КШ, доктор технічних наук директор ДНВП «АІСТ» НВК «Київський інститут автоматики»

**Ельперін ІВ.** Промислові контролери: Навч. посіб.- К: НУХТ, 2003. - 320 с.  
ISBN 966-612-024-0

Описано загальні принципи побудови і програмування мікропроцесорних контролерів. Детально розглянуто функціональні можливості, технічну структуру, під'єднання і технологічні мови програмування промислових контролерів Ломіконт, Реміконт-130, TSX Modicon Nano, Micro і Premium.

Навчальний посібник призначений для студентів і науково-технічних працівників, які вивчають, проектують та обслуговують сучасні системи промислової автоматизації.

І.В.Ельперін, кандидат технічних наук, доцент

Гриф надано Міністерством освіти і науки України 08.01.2003 р., лист № 14/18.2 - 43

## ВСТУП

Незважаючи на досить складну економічну ситуацію на Україні, в промисловості продовжується процес технічної модернізації технологічного обладнання і впровадження сучасних систем керування виробництвом. Це викликане, насамперед, тим, що без цього неможливо підвищити якість продукції і знизити витрати на її виробництво.

Сучасний стан розвитку систем автоматизації харак-теризується широким впровадженням різноманітних мікропро-цесорних засобів автоматизації: інтелектуальних датчиків, пристроїв керування, функціональних блоків, засобів відображення інформації, операторських панелей і інш.

Особливе місце в цьому переліку займають промислові мікропроцесорні контролери. Рзпочавши свою історію на початку 70-х років, вони за короткий термін часу завоювали широку популярність серед спеціалістів в галузі автоматизації. Це пояснюється високою надійністю, відносною простотою програмування і експлуатації, розширенням функціональних можливостей систем керування. Вони стали основою впровадження нового покоління систем автоматизації - комп'ютерно-інтегрованих систем керування.

Незважаючи на те, що технічне та програмне забезпечення таких систем розвивається досить швидко, в Україні накопичений досить багатий досвід їх впровадження. Що показує аналіз результатів проведення цієї роботи.

По-перше, досвід впровадження, а також експлуатації програмно-технічних комплексів, побудованих на базі мікропроцесорних управляючих пристроїв, насамперед мікропроцесорних контролерів підтверджує, що альтернативи такому напрямку розвитку нема. Це пояснюється тим, що змінюється сама ідеологія побудови системи керування. Центральною частиною системи є мікропроцесорний управляючий пристрій до якого підключаються датчики та виконуючі механізми. Алгоритм керування об'єктом реалізується програмним шляхом, що створює можливості швидкої адаптації системи керування та його корегування у разі необхідності. Якщо раніше, при змінах у алгоритмі керування необхідно було змінювати технічну структуру системи, то при використанні мікропроцесорної техніки це зводиться до змін у програмі керування об'єктом.

По-друге, значно змінюються умови роботи оператора технолога. Працюючи на автоматизованомі робочому місці, створеному на базі ПЕОМ або операторської станції, оператор отримує інформацію про стан об'єкту та системи керування ним у зручному для сприйняття вигляді (як правило у вигляді кольорових мнемосхем), що сприяє

прийняттю своєчасних та ефективних дій. Побоювання, що виникали у зв'язку з тим, що оператори, які раніше не стикалися з комп'ютерною технікою будуть погано адаптуватись до неї виявилися марними. Практично через неділю роботи з такою системою оператори починають почувати себе впевнено. І уже через деякий час не уявляють як можна працювати без такої системи.

По-третє, системи дають можливість аналізувати роботу обладнання або технологічного комплексу за певний час роботи тому, що ведеться і зберігається, за заданий час не тільки передісторія процесу, а і дії оператора, який ним керує. Це дає можливість не тільки мати об'єктивну і своєчасну інформацію, необхідну для прийняття своєчасних і обґрунтованих управляючих дій, а й дозволяє знаходити та своєчасно усувати фактори, які негативно впливають на ефективне функціонування об'єкту керування.

В-четверте, використання всіх можливостей, які надають сучасна мікропроцесорна техніка та комп'ютерно-інтегровані технології створює реальне підґрунтя для розробки потужних систем інтелектуальної підтримки прийняття рішень, практичної реалізації складних алгоритмів керування об'єктом, реалізація яких раніше була просто неможливою або вимагала застосовувати досить складні технічні рішення.

По-п'яте, впровадження мікропроцесорної техніки створює реальні умови для побудови корпоративних систем керування які дозволяють, за рахунок широкого використання різноманітних польових шин, локальних та корпоративних мереж, вирішувати задачі координації як при керування технологічними комплексами так і виробництвом в цілому.

Широке впровадження у системи автоматизації виробництва мікропроцесорної техніки і комп'ютерно-інтегрованих технологій вимагає відповідної підготовки фахівців в галузі автоматизації. У підручнику викладені матеріали які підготовлені на базі довгорічного досвіду впровадження у виробництво і у навчальний процес підготовки фахівців з напрямку "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології" сучасних мікропроцесорних засобів автоматизації і насамперед промислових контролерів.

Сьогодні в Україні пропонується велика кількість різноманітних промислових контролерів як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Тому в одному навчальному посібнику неможливо описати технічні можливості і мови програмування усіх цих технічних засобів. Але враховуючи те, що для них характерні загальні принципи побудови, а для їх програмування використовуються подібні

технологічні мови у цьому навчальному посібнику зроблена спроба на прикладі кількох промислових контролерів представити різноманіття підходів особливо до їх програмування. У якості таких контролерів вибрані контролери як вітчизняного так і закордонного виробництва, які набули найбільш широкої популярності серед фахівців в галузі автоматизації.

У першій главі посібника розглянуті загальні принципи побудови мікропроцесорних засобів автоматизації, історія їх розвитку, структура і способи представлення інформації у мікропроцесорних системах, принципи побудови і програмування мікропроцесорних контролерів.

У другій главі посібника розглянуті технічні та функціональні можливості промислового контролера Ломіконт, наведені схеми підключення до нього датчиків і виконувальних механізмів. Особлива увага приділена опису технологічної мови програмування Мікрол. Наведені приклади програмування.

У третій главі розглянуті питання технічного і програмного забезпечення програмованого контролера Реміконт-130. Відмінністю програмування цього контролера є використання мови функціональних блоків, яка широко використовується і у інших контролерах. Наведені описи основних алгоритмів, які використовуються при програмуванні контролера, розглянуті приклади програмування для різних класів задач аналогового і логіко-командного керування.

У четвертій главі розглянуті технічні і функціональні можливості мікропроцесорних контролерів, які пропонуються фірмою Schneider Electric. Ця фірма є однією з лідерів в галузі промислових мікропроцесорних контролерів і її продукція відповідає кращим світовим стандартам. У підручнику наведені призначення і характеристики окремих модулів входів-виходів контролерів TSX Modicon Micro I TSX Modicon Premium, а в додатках - схеми підключення до них.

У п'ятій главі розглянуті мови програмування промислових контролерів, які відповідають міжнародному стандарту MEK 1131.3, а саме Ladder Diagram (крокових діаграм), Structured Text (структурований текст), Instruction List (мова інструкцій) та Grafset (мова послідовних кроків і умов переходів між ними). Крім того наведені дані про принципи створення програми користувача для конкретної задачі керування, процедур конфігурування окремих її етапів.

Наведені у підручнику матеріали можуть бути використані як при вивченні окремих промислових контролерів, так при курсовому і

дипломному проектуванні систем автоматизації на базі мікропроцесорних контролерів.

Знання отримані при вивченні матеріалів цього посібника може сприяти більш швидкому вивченню інших промислових контролерів, які не наведені у ньому.

## **1. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

### **1.1. Основи мікропроцесорної техніки**

#### *1.1.1. Історія розвитку*

Мікропроцесор не є відкриттям чи винаходом. Його поява зумовлена здобутками багатьох напрямків науково-технічного прогресу ХХ століття. Виникнення мікропроцесорної техніки насамперед тісно пов'язане з розвитком технологій виробництва радіоелектронної техніки та удосконаленням електронно-обчислювальних машин (ЕОМ).

І якщо за весь час розвитку ЕОМ їх основні принципи дії та структура збереглися, то відбулися великі зміни як в елементній базі, так і в розвитку програмного забезпечення.

У 50-х роках ХХ століття основним елементом у радіоелектроніці була радіолампа. Одна з перших ЕОМ “ЕНІАК”, яка налічувала 18000 ламп, важила 30 т та займала площу 600 м<sup>2</sup>. Лампи виділяли так багато теплоти, що вимагали спеціального охолодного пристрою. Така ЕОМ уживала таку кількість електроенергії, якої б вистачило для електропостачання селища міського типу.

У 60-х роках радіолампа поступилася місцем напівпровідниковому приладу – транзистору, який був більш довговічнішим, не вимагав великих затрат електроенергії, мав малі розміри та масу. Технологія виготовлення транзисторів постійно удосконалювалась. За один технологічний цикл на одній кремнієвій платівці почали одержувати кілька десятків, а то і сотень транзисторів. Після виготовлення платівку розрізали на окремі транзистори та упакували кожний у пластмасовий або металевий корпус. При виготовленні радіоелектронних пристроїв різного призначення та ЕОМ транзистори з'єднували один з одним і з іншими електронними елементами за заданою схемою. Виникло питання: для чого спочатку розрізати платівку із транзисторами на окремі частини, а потім знову їх з'єднувати? Чи не можна одразу під час виготовлення транзисторів з'єднувати їх на платівці за заданою схемою? Це виявилось можливим.

Так з'явилися інтегральні схеми – електронні елементи, які призначались для виконання певних функцій і замінювали закінчені

електронні схеми (тригери, дешифратори, генератори, лічильники та ін.). При цьому на кремнієвій платівці, яка має назву підкладка, різними методами (запилення, фотолітографічний та ін.) наносився геометричний малюнок окремих частин транзисторів, діодів, конденсаторів, резисторів та з'єднувальних провідників. Перевагами такої елементної бази є різке зменшення її розмірів, маси, вартості, підвищення надійності, а також можливість автоматизації складання схем, їх монтажу та налагодження.

Спочатку використовувались інтегральні схеми з малим ступенем інтеграції, у яких в одному корпусі, на одній підкладці розміщувалось кілька десятків, транзисторів, діодів та резисторів, з'єднаних між собою за потрібною схемою. Потім почали використовувати інтегральні схеми із середнім ступенем інтеграції, які налічували сотні й тисячі електронних елементів. Далі з'явилися великі (ВІС), надвеликі (НВІС) та ультравеликі (УВІС) інтегральні схеми, кількість елементів у яких сягало сотень тисяч і мільйонів.

Розробка та виготовлення ВІС для конкретної схеми виявилися справою трудомісткою, складною та, головне, дуже дорогою. Якщо ВІС являла собою електронну схему для приладів широкого попиту (наприклад, ВІС для годинників, телефонних апаратів і т.ін.), які виготовлялися у великій кількості екземплярів, то ціна її була помірною. Якщо ж ВІС призначалася для використання у одиничних екземплярах, її ціна ставала непомірною. У цій ситуації велику роль відіграла та обставина, що поряд розвитком технології виготовлення ВІС безперервно удосконалювалось мистецтво складання програм для ЕОМ. У середині 70-х років програмування досягло такого високого рівня, за якого стала можливою реалізація ідеї створення мікропроцесора – уніфікованої великої інтегральної схеми, яка має властивість перепрограмування.

Властивість перепрограмування мікропроцесора повністю змінила підхід до створення електронних пристроїв, тому що дала можливість на базі уніфікованих апаратних засобів створювати пристрої різних функціональних призначень за рахунок зміни алгоритму обробки даних шляхом перепрограмування. Використання у технічних засобах автоматизації мікропроцесорів дає можливість створювати пристрої з великою швидкодією та підвищеною надійністю за низької вартості та енергоємності.

Отже, мікропроцесор (МП) – це програмно керуваний пристрій, який призначений для обробки цифрової інформації та керування процесом цієї обробки, реалізований на одній або кількох великих інтегральних схемах.

Поява мікропроцесора привела до істотних змін у всіх напрямках науково-технічного прогресу. В наш час не можна собі уявити якийсь технічний засіб, починаючи від найпростіших побутових приладів і закінчуючи найскладнішими пристроями у космічній техніці, без використання мікропроцесорної техніки. Поява мікропроцесора взагалі змінила наше життя у XXI сторіччі, яке оголошено сторіччям інформаційних технологій. Це було б неможливим, якби персональний комп'ютер не ввійшов у всі сфери діяльності людини.

### 1.1.2. Структура мікропроцесорної системи

Центральною частиною мікропроцесора (рис. 1.1) є арифметично-логічний пристрій (АЛП), який виконує за командами пристрою керування (ПК) найпростіші арифметичні та логічні операції над даними: складання, віднімання, пересилка, зсув, логічне складання (ИЛИ), логічне множення (И), складання за модулем 2 та ін.

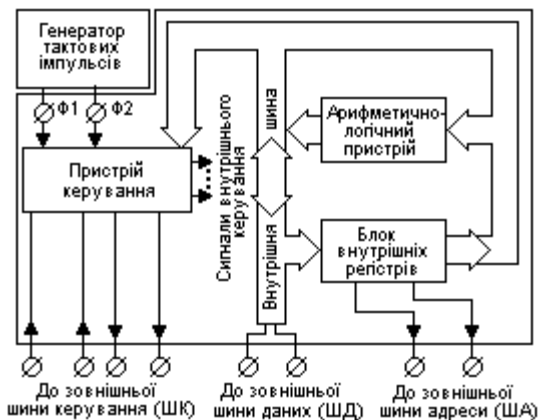


Рис.1.1. Структурна схема універсального мікропроцесора

Пристрій керування управляє роботою АЛП та блоком внутрішніх реєстрів (БВР), який є внутрішньою пам'яттю мікропроцесора і призначений для тимчасового зберігання даних та команд, а також виконує деякі процедури обробки інформації.

За сигналами ПК відбувається вибирання й виконання кожної нової команди.

Окремі частини мікропроцесора з'єднуються між собою за допомогою внутрішньої шини даних.

Зовнішній зв'язок мікропроцесора реалізується за допомогою зовнішніх шин: керування (ШК), даних (ШД) та адреси (ША).

Мікропроцесор, незважаючи на його універсальність, самостійно нездатний реалізувати конкретну задачу обробки інформації або керування об'єктом. Для виконання цих функцій необхідно його з'єднати з деякими пристроями, запрограмувати та забезпечити обмін



інформації мікропроцесора з цими пристроями, тобто утворити мікропроцесорну систему (рис. 1.2).

Мікропроцесорна система (МПС) - це сукупність взаємопов'язаних пристроїв, що включають в себе один або кілька мікропроцесорів, оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП), пристрій вводу-виводу (ПВВ) та ряд інших пристроїв, які призначені для виконання деяких чітко окреслених функцій з обробки цифрової інформації і керування процесом цієї обробки.

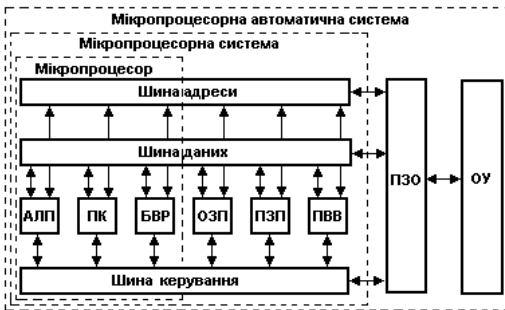


Рис.1.2. Структура мікропроцесорних систем

апаратні засоби залишаються тими ж самими, а функції, виконувані МПС, залежать від заданої програми.

Якщо для виконання програми необхідні зовнішні дані, то за це відповідає пристрій вводу-виводу, який забезпечує зв'язок МПС з зовнішніми чи периферійними пристроями.

Комплекс технічних засобів, який реалізує функцію пам'яті називають запам'ятовуючим пристроєм (ЗП). Основними операціями з пам'яттю є запис - занесення інформації до пам'яті й зчитування - вибирання інформації з пам'яті. Ці операції називають зверненням до пам'яті. До основних характеристик систем пам'яті належать такі: ємність пам'яті, розрядність вибірки, час звертання і споживна потужність.

Ємність пам'яті виражають порціями, які кратні 1024 словам, або байтам. Скорочено ємність такої порції позначають 1 кбайт. Розрядність вибірки визначається кількістю розрядів інформації, яка записується до ЗП чи береться з нього за одне звернення. За функціональним призначенням можна виділити основні типи пам'яті: оперативна (ОЗП), постійна (ПЗП) та зовнішня (ЗЗП).

Оперативний запам'ятовуючий пристрій є основним видом пам'яті мікропроцесора. Оперативну пам'ять називають також пам'яттю з

У пам'яті МПС зберігається програма обробки інформації та дані. Пристрій керування мікропроцесора постійно звертається до пам'яті й крок за кроком виконує команди, які записані в ній. Саме наявність пам'яті надає

мікропроцесору універсальності, тому що

довільним доступом, звідки і з'явилась аббревіатура RAM (Random Acces Memory), в яку в довільний момент часу можливо записати інформацію та у довільний час прочитати дані з неї. Незважаючи на велику швидкість і гнучкість у роботі, ОЗП має один суттєвий недолік: при вимиканні живлення дані, які записані в ОЗП, втрачаються. У деяких випадках паралельно живленню ОЗП під'єднують батарею (або акумулятор), яка підтримує працездатність ОЗП деякий час при вимкненні живлення. Такі ОЗП називають енергонезалежними.

Залежно від способу, який використовується для зберігання інформації, всі ОЗП можна поділити на статичні (SRAM) і динамічні (DRAM). У статичних ОЗП елементом зберігання інформації є тригер, а у динамічних – конденсатор. Час доступу у мікросхемах DRAM становить 60 –100 нс, а у мікросхемах SRAM – 10 –15 нс. Але пам'ять SRAM коштує значно більше, тому для зберігання великих обсягів інформації використовують DRAM, а в як швидкодіюча пам'ять обмеженого обсягу – SRAM.

Повністю уникнути втрати інформації при вимкненні живлення дає можливість постійний запам'ятовуючий пристрій. На початку розвитку мікропроцесорної техніки вважалось, що ОЗП призначене тільки для тимчасового зберігання інформації, а дані з ПЗП у процесі експлуатації можна тільки зчитувати.

Дані до ПЗП записують тільки один раз або при його виготовленні у виробника ПЗП на базі маски (карти) замовника, або безпосередньо користувачем.

Останнім часом значного поширення набули такі види ПЗП, які називають перепрограмованими постійними запам'ятовувачами (ППЗП). Вони допускають багаторазовий запис даних. Залежно від типу ППЗП час зберігання в них може бути від кількох тисяч годин до десятків років. Іноді для стирання записаної у ППЗП інформації використовується ультрафіолетове опромінення. Для цього таке ППЗП на час стирання інформації треба вилучити зі схеми. Останнім часом значного поширення набули ППЗП з електричним стиранням інформації.

Найновішим досягненням у галузі напівпровідникових ППЗП є так звана “флеш-пам'ять”, яка належить до електричних ППЗП, виготовлених за спеціальною технологією “Flash” фірмою Intel. Їх іноді називають “флеш-дисками”, хоча вони конструктивно не мають ніякого відношення до диска. “Флеш-пам'ять” називають “диском”, тому вона допускає багаторазовий (до 1 млн циклів) перезапису даних і по суті виконує функції, які раніше виконували накопичувачі на жорстких та

гнучких магнітних дисках. Конструктивно “флеш-пам’ять” це мікросхема або твердотільна карта, яка не має ніяких рухомих частин. Тому швидкість зчитування даних з флеш-пам’яті перебуває у межах 1 – 5 Мбайт за секунду. І хоча до останнього часу флеш-пам’ять як ОЗП не використовується, у зв’язку зі збільшенням її випуску і зменшенням ціни можна очікувати, що у майбутньому мікросхеми DRAM у ОЗП, можуть поступитися місцем мікросхемам або картам флеш-пам’яті.

Ємність ОЗП та ПЗП обмежена, а для розв’язання деяких складних задач керування необхідно забезпечити зберігання сотень тисяч, мільйонів команд. Для цього використовують ЗЗП, які мають велику ємність, але малу швидкодію.

До сучасних пристроїв зовнішньої пам’яті належать: накопичувачі на гнучких (НГМД) і жорстких (НЖМД) магнітних дисках; накопичувачі на флеш-дисках, накопичувачі на магнітних стрічках – стримери, а також досить перспективні компакт-диски, які мають назву CD-ROM (Compact Disk Read Only Memory). В наш час випускаються компакт-диски CD-WORM (write once – Read many) із можливістю одноразового запису користувачем, а також CD-E/CD-R – багаторазового запису.

Інформація, яка призначена для обробки у МПС, може бути як цифрова, так і аналогова. Проте в обох випадках у МПС вона подається однаково – у вигляді двійкових чисел. Тому при створенні на базі МПС мікропроцесорної автоматичної системи (МПАС), призначеної для автоматичного збору інформації про стан об’єкта керування, його обробки та вироблення керуючої дії, до її складу необхідно включити пристрій зв’язку з об’єктом керування (ПЗО). Завданням ПЗО є автоматичне перетворення сигналів від датчиків, встановлених на об’єктах керування у форму, необхідну для вводу у МПС, а також перетворення керуючих сигналів, які виробляються МПС, у форму, яка може сприйматись виконавчими механізмами для керування регулюючими органами, безпосередньо встановленими на об’єкті управління. Крім того, модулі ПЗО можуть забезпечувати зв’язок із пристроями відображення інформації чи з іншими МПАС або ЕОМ.

Інформація як між окремими пристроями МПС, так і при обміні із зовнішніми (периферійними) пристроями передається по загальних інформаційних каналах – шинах.

Периферійні пристрої не мають безпосереднього контакту із системними шинами. Замість цього вони під’єднані до спеціальних регістрів, які використовуються для тимчасового зберігання бінарної інформації і називаються портами. Кожний порт має свою адресу (по аналогії з комітками пристроїв пам’яті), причому в кожному момент часу

до шини даних може бути під'єднаний тільки один порт. Цим управляє спеціальний контролер вводу-виводу.

У простих випадках зовнішні пристрої під'єднуються до МПС за допомогою портів. При інтенсивному обміні інформацією використовується більш складна система спряження, яка має назву інтерфейс. Інтерфейс – це комплекс апаратних та алгоритмічних засобів уніфікованого спряження компонентів мікропроцесорної системи. До складу апаратних засобів входять система уніфікованих шин, уніфікованих сигналів і електричних схем. Алгоритмічна частина – це алгоритм (чи, як його ще називають, протокол) обміну, тобто сукупність правил взаємозв'язку цих компонентів у процесі обміну інформацією. Найбільш поширені інтерфейси паралельні – ІРПР, в яких інформація передається по паралельних, і послідовні – ІРПС, в яких інформація передається послідовно по лініях зв'язку обмеженої кількості.

### ***1.1.3. Способи подання інформації для МПС***

Як уже зазначалося, для подання інформації у мікропроцесорних пристроях використовується двійкова система числення, тобто усі операції виконуються у двійковій системі. У двійковій системі використовуються тільки два символи – «0» та «1». Це добре співвідноситься з технічними характеристиками цифрових схем, які також мають лише два стійких стани. У двійковій системі, як у десятковій, кожна позиція числа (розряд) має визначену вагу. Але якщо у десятковій системі вага дорівнює числу 10 у деякому степені, то у двійковій системі замість числа 10 використовується число 2, тобто:

$$\begin{array}{ccccccc} \dots & 2^5 & 2^4 & 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0 \\ \dots & (32) & (16) & (8) & (4) & (2) & (1) \end{array}$$

За аналогією з десятковою системою значення числа, яке записане у двійковій системі, можна визначити як суму чисел, які записані у відповідних розрядах.

Наприклад, число, яке записане у десятковій системі, має значення:

$$54_{10} = 5 \times 10^1 + 4 \times 10^0,$$

і відповідно у двійковій:

$$110110_2 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 54_{10}.$$

Для того щоб розрізнити числа, які записані у різних системах числення, можна використовувати відповідний індекс.

Як можна побачити з наведеного прикладу, числа, які записані у двійковій системі, займають більше позицій, тобто більш громіздкі.

Тому оперувати ними незручно. Для скорочення запису двійкових чисел використовується вісімкова та шістнадцяткова системи. Вибір цих систем числення пояснюється тим, що число 8 є числом 2 у третьому ступені, а 16 – число 2 у четвертому степені. Тобто вісімкову систему можна використовувати як засіб скороченого запису двійкового числа із трьох розрядів (від 000 до 111), а шістнадцяткову для запису двійкового числа з чотирьох розрядів (від 0000 до 1111). Причому у вісімковій системі використовується 8 символів: 0,1,2,3,4,5,6 і 7, а у шістнадцятковій – 16 символів: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A(10), B(11), C(12), D(13), E(14) та F(15). Для того щоб записати двійкове число у вісімковій або у шістнадцятковій системах, необхідно об'єднати розряди двійкового числа (починаючи з молодшого) у першому випадку у групи по 3, а в другому по 4 розряди та записати для цих груп їх еквіваленти у відповідній системі числення.

Наприклад, є число у двійковій формі: 1010101111101<sub>2</sub>.

Необхідно записати його у вісімковій та шістнадцятковій системах числення:

$$010\ 101\ 011\ 111\ 101 = 25375_8$$

$$(2)\ (5)\ (3)\ (7)\ (5)$$

$$0010\ 1010\ 1111\ 1101 = 2AFD_{16}$$

$$(2)\ (A)\ (F)\ (D)$$

У першому та другому випадках у старших групах додані незначущі нулі.

Група двійкових цифр, що обробляються одночасно, мають назву **машинного слова**, а кількість двійкових цифр, із яких складається це слово, називається **довжиною слова**. Слово є базовою логічною одиницею інформації МП. Найменша одиниця інформації – двійковий розряд. Вона має спеціальну назву – **біт**. З огляду на особливе поширення, слово довжиною 8 біт має назву **байт**.

Двійкова система числення широко використовується в сучасних пристроях мікропроцесорної техніки. Це пояснюється зручностями запису, зберігання й простоти вводу двійкових чисел у ці пристрої. Крім того, арифметичні дії із двійковими числами набагато простіші, ніж із десятковими, що спрощує конструювання обчислювальних пристроїв.

Інформація, що обробляється, подається у вигляді двійкових чисел та поділяється на два види: дані й команди. Як ті, так і інші можуть складатись з одного або кількох машинних слів.

Числові дані (наприклад, для 8-розрядних слів) можуть бути інтерпретовані так:

- як двійкове число зі знаком, що має значення від  $-127$  до  $+127$  (знак числа розміщується в старшому розряді);
- як двійкове число без знака, що має значення від  $0$  до  $255$ .

Відповідно у 12-розрядному слові можна записати число 4096, а у 16-розрядному – 65535.

Це необхідно пам'ятати при порівнянні можливостей різних аналого-цифрових перетворювачів.

Залежно від архітектури конкретного мікропроцесора побудова слова, що утворює команду, тобто структура, яку називають форматом команди, може змінюватись у широких межах.

Усі команди мікропроцесорів можна поділити на такі основні типи: переміщення даних, перетворення даних (арифметичні та логічні), керування програмою, ввід-вивід, спеціальні.

Поряд із виконанням операцій над числами, не менш важливим є поняття логічних операцій, які виконує мікропроцесор.

Науку про людське мислення давньогрецький філософ і вчений Аристотель (384–322 до н.е.) назвав логікою. Вона пропонувала загальні правила, за якими людина повинна мислити, міркувати, робити висновки й приходити до істини.

Німецький математик Г.В.Лейбніц (1646–1716) зблизив логіку з обчисленням. У нього виникла думка створити нову науку – математичну логіку, в якій логічні поняття позначалися б математичними знаками. “Якщо для цих знаків, – казав Г.В.Лейбніц, – установити правила сполучення, то логічні висловлення набудуть вигляду математичних формул, і логіка стане мистецтвом обчислення, що дозволить вченим й філософам розв'язати свої сперечання спокійними обчисленнями”. На жаль, Лейбніцу не вдалося здійснити свою мрію. Тільки майже через 200 років англійський математик Дж.Буль (1815–1864) частково реалізував ідеї Лейбніца.

Дж.Буль створив для логічних обґрунтувань і міркувань незвичайну алгебру (бульову алгебру), у якій логічні висловлення позначаються особливими символами, подібно до того, як у шкільній алгебрі поняття числа або предмета позначаються літерами. Виявилось, що, оперуючи цими символами й логічними зв'язками у вигляді певних знаків, можна виконувати логічні міркування за допомогою звичайних обчислень.

У людській мові найчастіше зустрічається розповідний стиль речень, якими висловлюють або описують які-небудь події. Такі речення називають висловленнями.

У бульовій алгебрі висловлення розглядаються не за змістом і не за значенням, а тільки щодо того, істинне воно, чи помилкове.

Наприклад:

- “сніг холодний” – висловлення, притому істинне;
- “два по два п’ять” – висловлення, але помилкове.

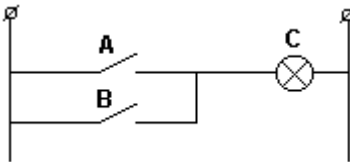
Істинність або помилковість логічного висловлення називається значенням істинності й умовно позначається символом “1”, якщо висловлення істинне, й “0”, – якщо воно помилкове. Крім того, саме висловлення формально позначають літерами латинського алфавіту (А, В, С, Х, У і т.ін.), у думках абстрагуючись від конкретного змісту висловлення, щобто, не беручи його до уваги.

Наприклад, висловлення “сніг холодний” можна позначити літерою А й, беручи до уваги, що воно істинне, написати  $A = 1$ . Аналогічно, висловлення “два по два п’ять” можна позначити літерою В й написати  $B = 0$ , бо це висловлення помилкове.

Дж.Буль показав, що найпростіші висловлення, на зразок тих, які розглядались раніше, можуть бути об’єднані в складні за допомогою найпростіших логічних операцій. Такими простішими логічними операціями є: логічне “І”, логічне “АБО” та логічне “НЕ”.

Для кращого розуміння виконання логічних операцій представимо їх у графічному вигляді, використовуючи позначення релейно-контактних схем.

Розглянемо роботу електричного кола, зображеного на схемі:



Можна сказати: «Якщо спрацює контакт А АБО, якщо спрацює контакт В, то лампочка С засвітиться». Тобто умовно абстрагуючись від змісту висловлювання, можна записати:

$$A \text{ АБО } B = C .$$

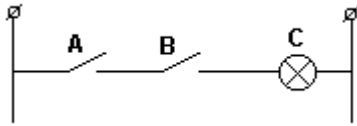
Для зображення логічного «АБО» можна також використовувати знак «+» (не плутати з арифметичним знаком додавання). І тоді логічний вираз буде мати вигляд:  $A + B = C$ .

Із наведеної таблиці істинності можна сформулювати одне з правил бульової алгебри: складне висловлення, яке складається з багатьох найпростіших висловлювань, зв’язаних між собою логічним «АБО», буде істинним (дорівнюватиме 1), якщо істинне принаймні одне з найпростіших висловлень або істинні вони всі, а також неістинне

A	B	C
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

(дорівнюватиме 0) тоді і тільки тоді, коли будуть помилкові всі найпростіші висловлення.

Розглянемо роботу другого електричного кола.



Можна сказати: «Якщо спрацює контакт А і спрацює контакт В, то лампочка засвітиться». У формалізованому вигляді дане висловлення можна записати:  $A \text{ I } B = C$ . Для

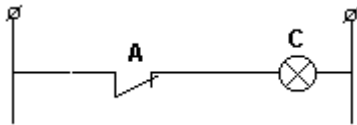
зображення логічного «I» можна використовувати знак логічного множення «•». Тоді вираз буде мати вигляд:  $A \bullet B = C$ .

A	B	C
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Із наведеної таблиці істинності можна записати наступне правило бульової алгебри: складне висловлення, яке складається із багатьох найпростіших висловлень, зв'язаних між собою логічним «I»,

буде істинно (дорівнюватиме 1) тоді і тільки тоді, коли всі найпростіші висловлення істинні, і неістинні (дорівнюватиме 0), якщо принаймні одне із найпростіших висловлень неістинне.

Розглянемо ще одну найпростішу схему.



Роботу цієї схеми можна описати висловленням «Якщо НЕ спрацює контакт А (тобто контакт не розімкнеться), то лампочка С засвітиться». Тобто в

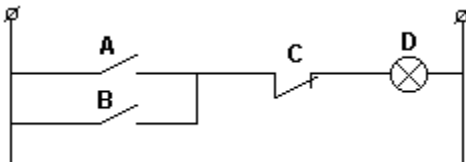
цьому випадку висловлення А і С з'єднані логічним запереченням НЕ. У бульовій алгебрі це висловлення записується як:

$$A = \overline{C}$$

Знак «-» над позначенням означає логічне заперечення, або «інверсію», а таблиця істинності має вигляд:

A	C
0	1
1	0

За допомогою цих найпростіших логічних операцій можна описати будь-яке складне висловлення.



Наприклад, для схеми логічний вираз має вигляд:

$$(A + B) \bullet \overline{C} = D$$



Формалізована форма запису складних висловлень називається логічною функцією. Чим складніше висловлення, тим складніша логічна функція, яка описує його. В бульовій алгебрі сформульований ряд законів і правил перетворення та спрощення логічних функцій, а також розроблені методи мінімізації логічних виразів.

У мікропроцесорі логічні функції кодуються й обробляються також у двійковій системі числення.