

20 АРИФМЕТИЧНО-ЛОГІЧНИЙ ПРИСТРІЙ (АЛП)

20.1 Функціональне призначення АЛП

Арифметично-логічні пристрої (АЛП) (англ. *Arithmetic Logic Unit – ALU*) призначені для виконання арифметичних і логічних операцій над операндами. До арифметичних операцій відносять додавання, віднімання, множення і ділення, до логічних – диз'юнкцію, кон'юнкцію та порівняння кодів. Спеціальні арифметичні операції включають нормалізацію, арифметичний зсув (зсуваються тільки цифрові розряди), логічний зсув (зсуваються всі розряди разом зі знаковим). Розрізняють також операції над алфавітно-цифровими полями.

В залежності від способу дії над операндами АЛП поділяються на послідовні, паралельні і послідовно-паралельні. В **послідовних** АЛП операнди представлені в послідовних кодах, а операції виконуються послідовно в часі над їх окремими розрядами. В **паралельних** АЛП операнди представлені паралельним кодом і операції здійснюються паралельно в часі над всіма розрядами операндів. В **послідовно-паралельних** АЛП операнди розділяються на групи розрядів і обробляються в межах виділеної групи паралельним способом, а між групами – послідовним. Паралельні АЛП забезпечують високу швидкодію, але вимагають і великих апаратних витрат на їх реалізацію, а послідовні – навпаки.

За формою подання чисел розрізняють АЛП:

- для чисел з фіксованою комою (крапкою);
- для чисел з плаваючою комою;
- для десяткових чисел.

В залежності від прийнятої системи числення АЛП розділяють на

- двійкові;
- трійкові;
- десяткові;
- АЛП в СОК;
- АЛП в надлишкових системах числення;
- АЛП в системах зі штучним порядком ваг і т.п.

За характером використання елементів і вузлів АЛП поділяються на блокові та багатофункціональні. В **блоковому** АЛП кожна операція або група операцій виконуються окремими блоками, при цьому підвищується швидкодія завдяки одночасному виконанні відповідних операцій в різних блоках, але значно виростають апаратні витрати. В **багатофункціональних** АЛП операції виконуються одними і тими ж схемами, котрі налаштовуються потрібним чином в залежності від режиму роботи.

За структурою розрізняють АЛП з закріпленими мікроопераціями (універсальні) та АЛП зі спільними мікроопераціями (магістральні). В АЛП з **закріпленими мікроопераціями** в залежності від необхідних елементарних дій над операндами (мікрооперацій) виділяються відповідні базові вузли (операційні елементи), встановлюються зв'язки між ними і включаються логічні схеми, які формують ознакові сигнали. В таких АЛП на основі принципу закріплення мікрооперацій за регістрами для кожної мікрооперації існує логічна схема і з'являється велика кількість ідентичних схем, пов'язаних з різними регістрами.

В АЛП зі **спільними мікроопераціями** використовуються спільні схеми для виконання мікрооперацій над словами, які зберігаються в різних регістрах. Найчастіше такі АЛП поділяються на дві частини: комбінаційну і запам'ятовуючу. В середньому за затрати часу на виконання операцій в АЛП зі спільними мікроопераціями більші, ніж в АЛП з закріпленими мікроопераціями в зв'язку зі збільшенням тривалості такту (росте кількість рівнів в схемах виконання мікрооперацій) і збільшенням кількості тактів, що пов'язано з обмеженнями на сумісність мікрооперацій і наявність мікрокоманд, які служать для формування необхідних ознакових сигналів.

За своїми функціями АЛП є операційним блоком, який виконує мікрооперації, що забезпечують прийом операндів з інших пристроїв, їх перетворення і видачу результатів. АЛП керується пристроєм керування, який генерує послідовність керуючих сигналів в відповідності до алгоритму виконання операції і ознакових сигналів, які виробляються в АЛП.

Список операцій, які виконує АЛП, визначається класом алгоритмів, для виконання яких призначена ЕОМ. В універсальних ЕОМ використовується

найбільш широкий список операцій, достатній для ефективної реалізації різноманітних алгоритмів. Спеціалізація ЕОМ звужує клас алгоритмів, в результаті чого деякі операції стають нетиповими, що дозволяє виключити їх зі списку машинних операцій. Операції в ЕОМ можуть бути реалізовані як апаратними, так і програмними засобами. Розширення списку операцій призводить до збільшення апаратних витрат. У випадку обмеження на кількість обладнання можна відмовитися від апаратної реалізації найбільш складних операцій, які можуть бути реалізовані шляхом використання програмних засобів, які інтерпретують складні операції в термінах більш простих операцій. При цьому, звичайно, знижується продуктивність ЕОМ.

До основних параметрів АЛП відносять розрядність, повноту списку операцій, апаратні витрати на реалізацію, швидкодію.

Швидкодія операційного пристрою характеризується часом виконання операції, який визначається добутком тривалості такту операційного пристрою на кількість тактів, необхідних для реалізації алгоритму. Оскільки кількість тактів залежить від значень операндів, їм приписується випадковий характер, а значення кількості тактів визначається як середня кількість тактів, які витрачає пристрій на реалізацію алгоритму з операндами – випадковими величинами з заданими законами розподілу.

20.2 Функції арифметико-логічного пристрою

Операції АЛУ поділяються на три основні категорії:

- арифметичні;
- логічні;
- порозрядні (бітові).



Рисунок 20.1 – Структурна схема роботи АЛП

Як видно з рис. 20.1, під час виконання своїх функцій АЛП бере значення регістрів безпосередньо з набору регістра загального призначення (РЗП). Безпосередні значення (константи) від інших джерел (наприклад, з пам'яті або від пристроїв введення) АЛП отримує також з РЗП, але в РЗП вони потрапляють через шину даних.

Після виконання операції АЛП передає результат на шину даних, а звідти дані надходять в приймач (зазвичай також один з РЗП).

Деякі реалізації також містять потужний множник, що підтримує як знакове (беззнакове) множення, так і операції з числами. Більш докладно про це можна дізнатися в документації за інструкціями процесора.

Як вже було сказано, АЛП підтримує арифметичні і логічні операції між регістрами або між константою і регістром. Операції з одним регістром також можуть виконуватися в АЛП. Після арифметичної операції регістр стану (Status Register) оновлюється для відображення відомостей про результат операції.

На рис. 20.2 представлена часова діаграма одного циклу роботи АЛП.

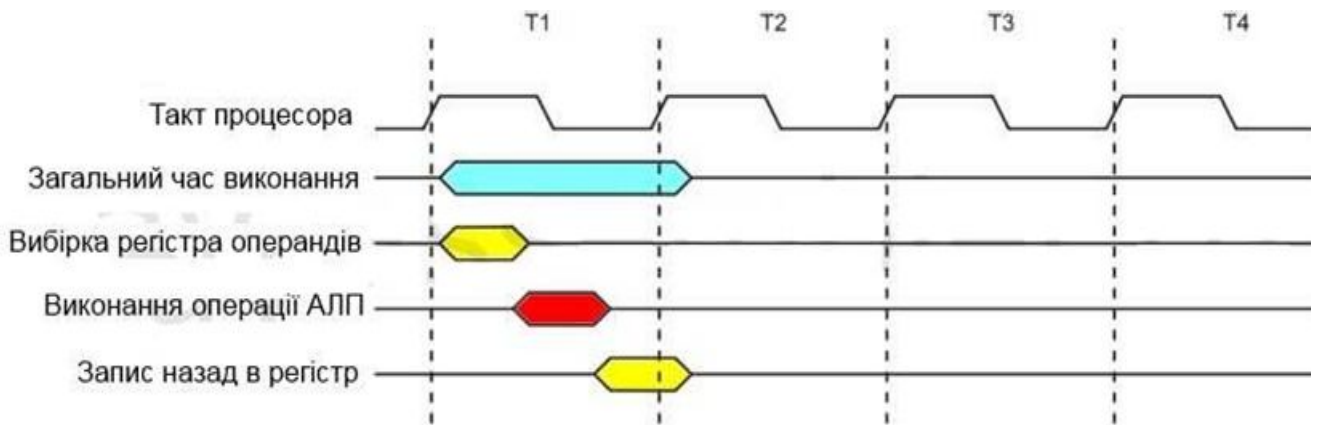


Рисунок 20.2 – Часова діаграма одного циклу роботи АЛП

У цьому прикладі за один такт виконується операція АЛУ з використанням двох операндів з регістрів (джерела і приймача), а результат зберігається назад в регістр-приймач. При цьому отримання значень регістрів займає приблизно 1/3 такту. Наступні 1/3 такту виконується операція АЛП. І, нарешті, ще приблизно 1/3 такту займає запис результату назад в регістр.

20.3 Структура АЛП

В більшості комп'ютерів АЛП виконує операції над двома вхідними даними, тобто є двомісним, та видає один вихідний результат, як це показано на рис. 20.3. При цьому спочатку операнди А та В записуються у вхідні регістри RG1 і RG 2, та поступають на входи АЛП через мультиплектори MUX1 і MUX2, які керуються сигналами Y1 та Y2. Після цього в АЛП виконується задана операція, тип якої задається кодом операції. Результат операції поступає на вихід АЛП та записується у вихідний регістр RG3. З виходу вказаного регістра результат поступає в регістровий файл процесора, а крім того, якщо він потрібний для виконання наступної операції, він поступає через мультиплектори МП1 або МП2 на один з входів АЛП, що здійснюються шляхом подання відповідних значень керуючих сигналів на ходи мультиплексорів.

В сучасних комп'ютерах АЛП є багатоблоковими. В них окремі групи операцій над кожним типом операндів виконуються окремими блоками, які називаються операційними пристроями. Це дозволяє підвищити продуктивність АЛП за рахунок паралельного виконання операцій/

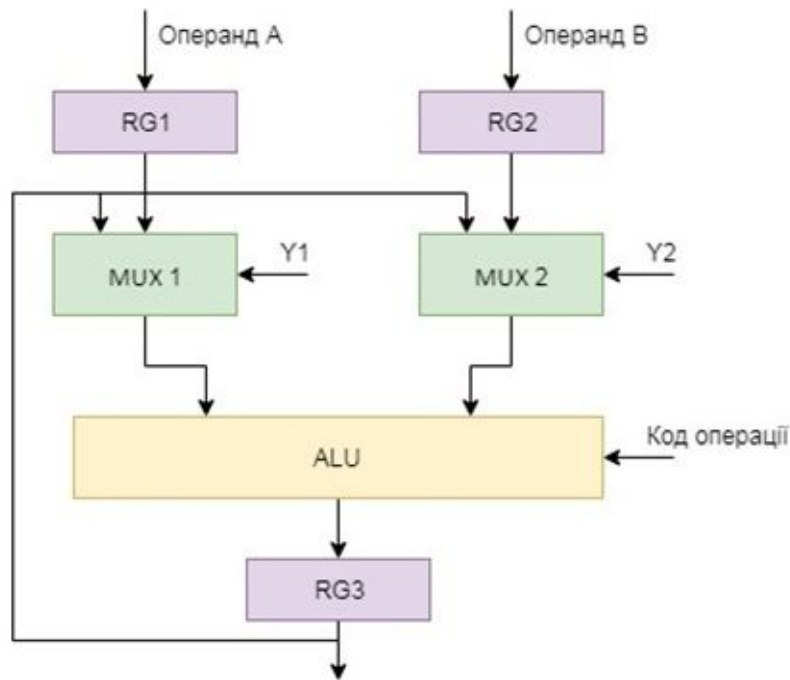


Рисунок 20.3 – Типова структура АЛП

До складу АЛП, крім вищеприписаного пристрою для виконання елементарних операцій, входять n операційних пристроїв, які виконують складні операції. Кількість цих пристроїв та їх функції визначаються конструкторами комп'ютера залежно від сфери його використання. Входи та виходи операційних пристроїв АЛП підключаються до його інформаційних входів та виходів за допомогою комутуючих мереж, якими керує код виконуваної операції. Цим же кодом вибирається тип виконуваної операції в пристрої для виконання елементарних операцій та в операційному пристрої, якщо він може виконувати декілька операцій.

20.4 АЛП з послідовним формуванням логічних функцій

В залежності від способу обробки операндів АЛП діляться на послідовні, послідовно- паралельні та паралельні.

В послідовних АЛП обробка операндів здійснюється послідовно в часі над кожним розрядом, як це показано на рис. 20.4.

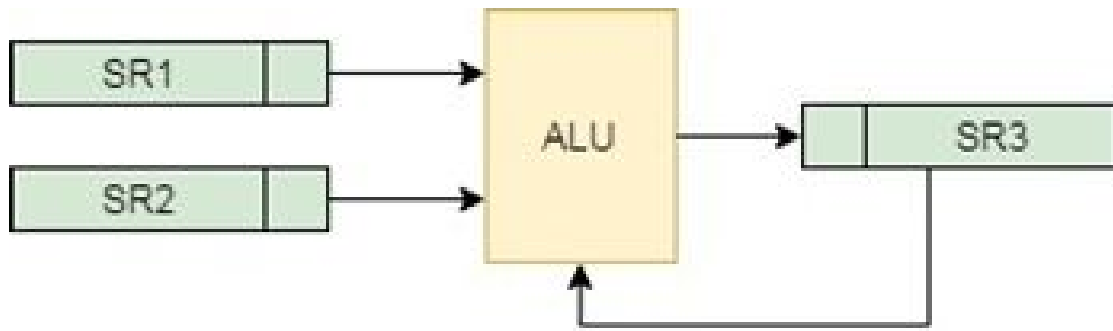


Рисунок 20.4 – Послідовний спосіб обробки даних в АЛП

Тут на вході АЛП є зсувні регістри SR1 та SR 2, з яких дані порозрядно поступають на обробку. Результат з АЛП також порозрядно поступає в вихідний зсувний регістр SR3. В кожному такті операнди в зсувних регістрах зміщуються на один розряд вправо. Крім того, можливий зворотний зв'язок з вихідного регістра до входу АЛП. Оскільки обробка здійснюється порозрядно, то для отримання результату потрібно як мінімум n тактів, де n -розрядність операндів. Для складних операцій кількість тактів може становити n^2 і більше. Тобто, при використанні цього способу АЛП характеризується малою швидкістю. Разом з тим, він знаходить досить широке застосування при проектуванні малогабаритних комп'ютерів завдяки малим витратам обладнання на побудову таких АЛП.

20.5 Структура АЛП з паралельним формуванням логічних функцій

В паралельних АЛП операції виконуються одночасно над всіма розрядами операндів, як це показано на рис. 20.5.

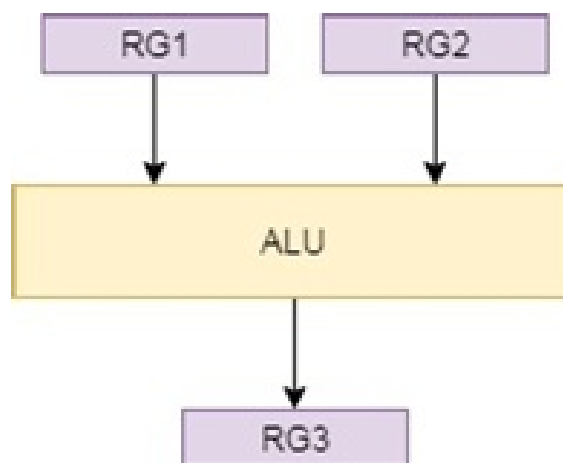


Рисунок 20.5 –Паралельний спосіб обробки даних в АЛП

Тут на вході АЛП є регістри RG1 та RG2, з яких дані паралельно поступають на обробку. Результат також паралельно поступає в вихідний регістр R3. Оскільки обробка здійснюється паралельно, вона виконується протягом лише одного такту незалежно від розрядності операндів. Тобто АЛП з паралельним способом обробки даних характеризується високою швидкістю, що і є причиною його широкого використання. Разом з тим, такий АЛП характеризується великими витратами обладнання на його побудову. Послідовно-паралельний спосіб обробки даних є проміжним стосовно швидкості та затрат обладнання в порівнянні з вище розглянутими послідовним та паралельним способами. Тут одне з вхідних даних може поступати на обробку в АЛП паралельно, а інше послідовно з видачею проміжного результату в паралельному коді, як це показано на рис. 20.6, а, або вхідні дані можуть поступати в АЛП групами по k і np розрядів, як це показано на рис. 20.6, б, та подаватись в вихідний регістр паралельно, або також групами.

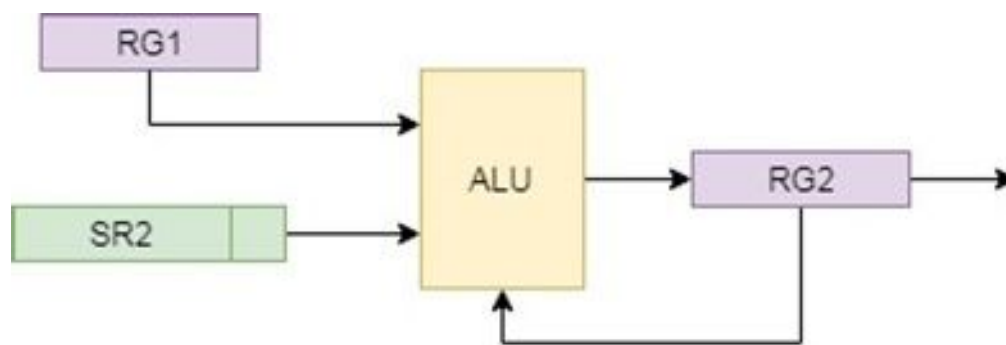


Рисунок 20.6 –Послідовно-паралельний спосіб

20.6 Основні методи контролю АЛП

Під час роботи АЛП і ЕОМ в цілому характерним є наявність відмов і збоїв, які призводять до помилок. Під **відмовою** розуміють таке порушення працездатності, для відновлення якого потрібні певні дії по ремонту, заміні і регулюванню несправного елемента, вузла або пристрою. **Збій** – короткочасне порушення нормального функціонування системи завдяки короткочасній дії зовнішніх завад або змін параметрів її елементів, яке усувається саме по собі. Надійність обчислювальної машини визначається безвідмовністю, достовірністю функціонування і ремонтоздатністю. До основних параметрів надійності

відносять середній час напрацювання на одну відмову, середній час усунення несправності, середній час напрацювання на один збій, середній час відновлення достовірності інформації після збою.

Метою методів контролю АЛП є виявлення помилок. Вони дозволяють виключити вплив виявлених помилок на правильність результатів, які видаються з АЛП. По суті всіх методів контролю їм характерна наявність надлишковості – інформаційної, апаратної, часової. Методи контролю АЛП можна розділити на дві групи: тестові та апаратні.

Тест для перевірки АЛП – це випробувальна програма, за результатами виконання якої судять про працездатність системи в момент контролю. До тестів АЛП висуваються певні вимоги: перевірка максимальної кількості вузлів та схем АЛП в найбільш завантажених режимах, мінімум команд в тесті, циклічне повторення тесту, фіксація команд, при виконанні яких виявляються помилки. Найпростіша організація тесту для контролю АЛП може бути такою. Вибирається обмежена кількість операндів, над якими послідовно виконуються арифметичні і логічні операції з метою отримання правильних результатів. Ці операнди і правильно отримані результати є еталонами. Потім за спеціальною програмою над відповідними парами вибраних операндів послідовно виконуються всі операції, які реалізує АЛП, з порівнянням результатів кожної операції з еталоном. Звичайно, такі тести виявляють тільки частину неполадок і, як правило, є основою тестового контролю АЛП в режимі профілактики. Різновидом програмного контролю є програмно-логічний контроль, який використовує способи подвійного і потрійного прорахунку робочих задач з порівнянням отриманих результатів.

Для контролю передачі інформації найбільше розповсюдження мають методи інформаційної надлишковості, які використовують коди з виявленням і корекцією помилок. Код з перевіркою парності (контроль парності, непарності, паритету) утворюється, коли до групи інформаційних розрядів (найчастіше – байта) додається ще один надлишковий (контрольний) розряд. При формуванні коду слова в контрольний розряд записується 0 або 1 таким чином, щоб кількість одиниць в слові, включаючи контрольний розряд, була парною (при контролі по

парності) або непарною (при контролі по непарності). В подальшому при всіх передачах слово передається разом з контрольним розрядом. Якщо приймальний пристрій виявляє, що в прийнятому слові не виконується умова парності, це сприймається як сигнал помилки. Код з перевіркою парності дозволяє виявити всі одиночні (в одному розряді) помилки, а також всі випадки непарної кількості помилок. Код Хемінга дозволяє виправляти помилки. При його побудові до інформаційних розрядів слова добавляється певна кількість контрольних розрядів. При зчитуванні слова контрольна апаратура утворює із інформаційних і контрольних розрядів коригуюче число, яке дорівнює 0 при відсутності помилки або вказує місце помилки, наприклад порядковий номер помилкового розряду в слові. Помилковий розряд автоматично коригується зміною його стану на протилежний.

Контроль виконання арифметичних операцій можна здійснити за допомогою контрольних кодів, які являють собою остачі від ділення чисел на деякий модуль R (контроль по модулю R). При контролі по модулю використовується властивість однаковості значень остачі по модулю R від результату виконання операції над операндами з остачею по модулю R від результату виконання цієї ж операції над остачами по модулю R операндів. Для двійкових чисел контроль по модулю можливий при $R \geq 3$. В ЕОМ часто використовують контроль по модулю 3. Він дозволяє виявляти будь-які одиночні помилки і частину подвійних помилок (ті, при яких для правильних і помилкових результатів остачі від ділення на 3 не співпадають). При використанні контролю по модулю, більшому за 3, збільшується кількість кратних помилок, які можуть виявлятися системою контролю, але також ростуть і апаратні витрати.