

## ЛЕКЦІЯ 8

### Тема: АРИФМЕТИКО-ЛОГІЧНІ ПРИСТРОЇ ТА ПРИСТРОЇ КЕРУВАННЯ

#### ПЛАН

- 6.1 Функції і класифікація арифметико-логічного пристрою.
- 6.2 Елементарні операції арифметико-логічного пристрою.
- 6.3 Складні операції арифметико-логічного пристрою.
- 6.4 Мови описання операційних пристроїв.
- 6.5 Пристрої керування.
- 6.6 Центральний пристрій керування.
- 6.7 Пристрій керування із жорсткою логікою.
- 6.8 Пристрій мікропрограмного керування.

**Час:** 2 год.

**Література:** [2].

#### 6.1 Функції і класифікація арифметико-логічного пристрою

*Арифметико-логічний пристрій* (АЛП) призначений для виконання арифметичних, логічних та інших операцій обробки даних над операндами, які представляють собою двійкові числа з фіксованою та рухомою комою, двійково-десяткові числа, команди, адреси, алфавітно-цифрові коди.

Арифметико-логічний пристрій (АЛП) функціонує на основі мікропрограмного управління. Кожна машинна операція розділяється на послідовність елементарних дій (передача слів, інверсія слів тощо), що реалізуються в тактах.

Функціональне елементарне обчислення, що виконується в одному машинному такті, називається **мікрооперацією**.

Кожна мікрооперація ініціюється відповідним управляючим сигналом. Сукупність мікрооперацій, що виконуються в одному такті, називається **мікрокомандою**. Зокрема, мікрокоманда може містити одну мікрооперацію або не містити жодної.

Для вибору порядку проходження мікрооперацій аналізуються логічні умови, які набувають значення одиниці (так) чи нуля (ні) залежно від значень операндів і результатів обчислень. Мікроалгоритм операції, записаний в термінах мікрооперацій і логічних умов, називається **мікропрограмою**. Кожна машинна операція має свою мікропрограму.

Композицією операційного і керуючого пристроїв, може бути представлений будь-який цифровий обчислювач, у тому числі і АЛП.

В операційному пристрої виконуються арифметико-логічні операції. Керуючий пристрій забезпечує виконання операцій за допомогою послідовності керуючих сигналів, яку він виробляє залежно від мікропрограми. В математичних моделях АЛП перший пристрій подається операційним автоматом, а другий – керуючим автоматом (рис. 6.1).

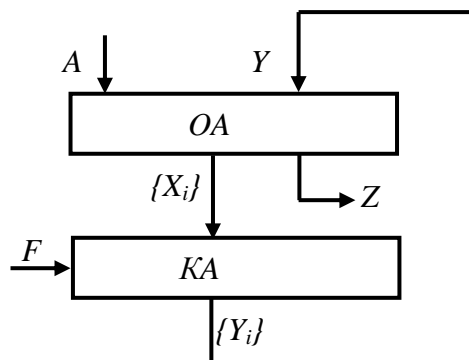


Рис. 6.1. Структура математичної моделі АЛП

Операційний автомат (ОА) приймає по входу  $A$  операнди, по входу  $Y$  – керуючі сигнали  $\{Y_i\}$ , передає на вихід  $Z$  результати операції і формує безліч значень логічних умов  $\{X_i\}$ .

Керуючий автомат (КА) приймає по входу  $X$  логічні умови  $\{X_i\}$  і залежно від їхніх значень та коду операції по входу  $F$  формує послідовність керуючих сигналів  $\{Y_i\}$ .

Арифметико-логічні пристрої класифікують за такими ознаками:

- способом обробки даних – паралельні, послідовні, паралельно-послідовні;
- системою числення – двійкові, вісімкові, десяткові, шістнадцятиричні, а також пристрої на основі спеціальних систем (залишкових класів, з штучним порядком ваги, чисел Фібоначі) та ін.;
- формою представлення чисел – з плаваючою комою, з фіксованою комою, цілі двійкові і десяткові числа;
- часом виконання операцій – синхронні й асинхронні;
- способом виконання мікрооперацій – із закріпленими мікроопераціями, із спільними операціями;
- типом керуючого автомата, – зі схемною або програмованою логікою;
- методом побудови – багатофункціональні та блочні.

В асинхронних АЛП час виконання залежить від типу операції, а в синхронних – на виконання різних операцій відводиться один і той же інтервал часу.

В АЛП із закріпленими мікроопераціями кожен з регістрів за допомогою додаткових комбінаційних схем виконує певний набір

мікрооперацій. При цьому комбінаційні схеми часто повторюються, що вимагає значних апаратних витрат.

В АЛП із спільними мікроопераціями виділяють запам'ятовуючу частину – блок регістрів, де виконуються однорідні мікрооперації (приймання операндів, їхнє зберігання і видачу), і комбінаційну частину, в якій зосереджені всі схеми для виконання мікрооперацій (формування кодів, зсуви, додавання та ін.). Обидві частини з'єднуються між собою за допомогою мультиплексорів і демультимплексорів. Арифметико-логічні пристрої із спільними мікроопераціями часто називають магістральними (до числових магістралей по черзі підключаються регістри).

Багатофункціональні (універсальні) АЛП використовуються для виконання всього списку операцій, що досягається відповідною настройкою і комутацією вузлів. Блочні АЛП складаються з окремих блоків, орієнтованих на виконання окремих типів операцій (наприклад, блок множення чисел з плаваючою комою). Такі структури використовуються у високопродуктивних комп'ютерах.

В АЛП можливі два типи КА:

- зі схемною ("жорсткою") логікою, яка складається з елементів пам'яті (тригерів) і комбінаційних схем, які генерують відповідні керуючі сигнали  $\{y_i\}$ , в машинні такти залежно від коду операції;
- з програмованою (що зберігається в пам'яті) логікою: для кожної операції в спеціальній пам'яті (найчастіше – різні види ПЗП) записується мікропрограма у вигляді послідовностей керуючих слів – мікрокоманд, що містять інформацію про мікрооперації, які повинні виконуватися в даному такті, та адресу наступної мікрокоманди.

Узагальнену і найбільш поширену структуру АЛП для виконання арифметичних операцій показано на рис. 8.2.

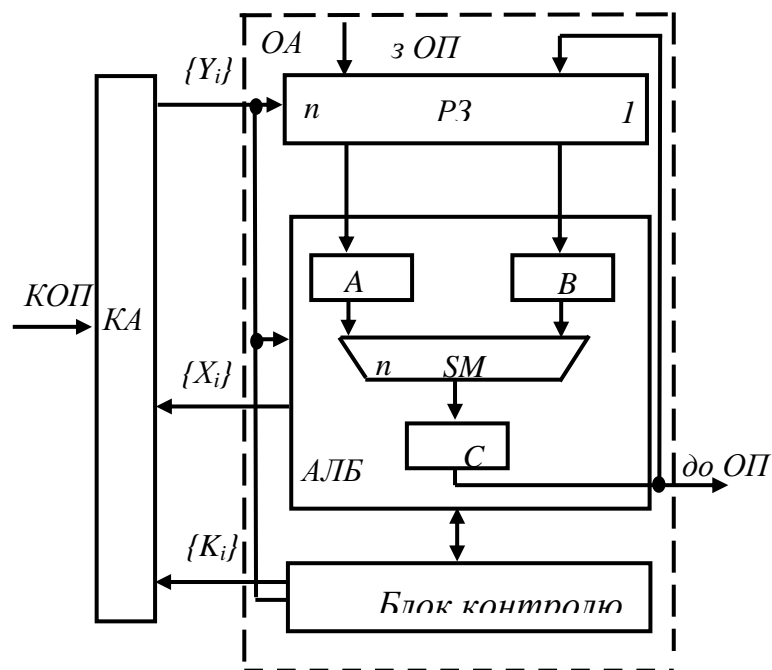


Рис. 6.2. Узагальнена структура АЛП для виконання арифметичних операцій

До складу ОА універсальних комп'ютерів входять:

- арифметико-логічний блок (АЛБ);
- набір регістрів загального призначення (РЗП);
- блок контролю.

В АЛБ виділяють комбінаційний суматор  $SM$ , вхідні регістри  $A$  і  $B$  для приймання операндів і вихідний регістр  $Z$  для записування результату. В АЛБ є логічні схеми, що виробляють множини  $\{X_i\}$  сигналів логічних умов.

Регістри загального призначення використовують для приймання і зберігання операндів, проміжних і кінцевих результатів.

Блок контролю забезпечує перевірку правильності виконання арифметико-логічних операцій з одночасною реалізацією тієї ж команди дублюючою апаратурою і порівнянням результатів або шляхом виконання дій над спеціальними кодами, одержаними від операндів при додаванні за модулем два, три та іншими.

При виявленні помилок і збоїв у роботі ОА блок контролю посилає до КА код помилок  $\{k_i\}$ .

На АЛП поступає код операції від центрального пристрою керування. Застосування в АЛП пристроїв керування зі схемною логікою прискорює виконання операцій. Застосування КА з програмованою логікою забезпечує гнучкість мікропрограмування, дозволяє змінювати склад мікропрограм при введенні нових команд. В сучасних АЛП можуть поєднуватись обидва типи КА.

Узагальнену структуру АЛП для виконання логічних операцій показано на рис. 6.3.

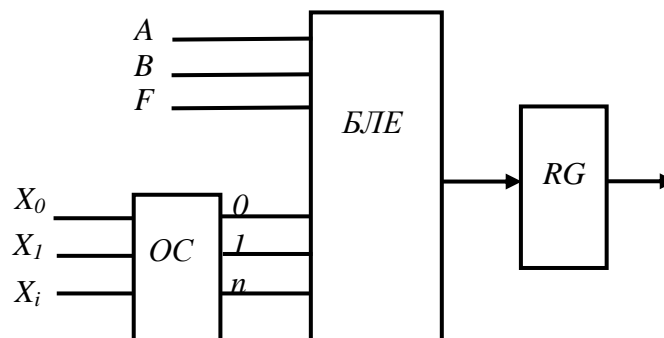


Рис. 6.3. Структура АЛП для виконання логічних операцій

До складу ОА універсальних комп'ютерів входять:

- блок логічних елементів (БЛЕ), що виконує логічні операції І, АБО, Виключальне АБО та інш.;
- дешифратор команд (DK); операнди ( $A, B, F$ );
- код операції ( $X_0, X_1, X_2, X_i$ );
- вихідний регістр (RG).

Простий приклад реалізації однорозрядного АЛП на логічних елементах для виконання операцій, кон'юнкції ( $A \wedge B$ ), диз'юнкції ( $A \vee B$ ) і виключального АБО ( $A \oplus B$ ) приведено на рис. 8.4.

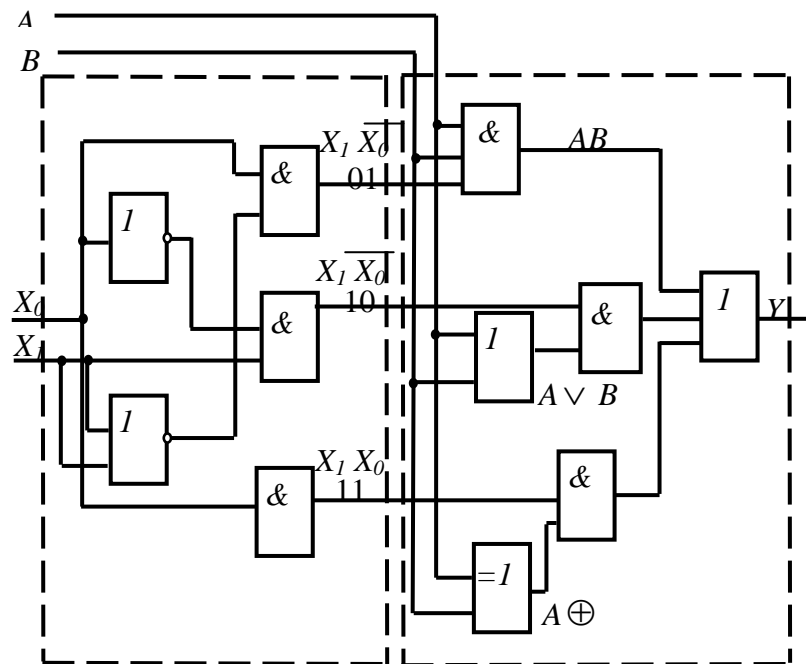


Рис. 6.4. Реалізація однорозрядного АЛП на логічних елементах для виконання логічних операцій кон'юнкції, диз'юнкції та Виключального АБО

Розглянемо приклад реалізації математичних операцій додавання і віднімання двохранрядних двійкових чисел, структурну схему якого приведено на рис. 6.5.

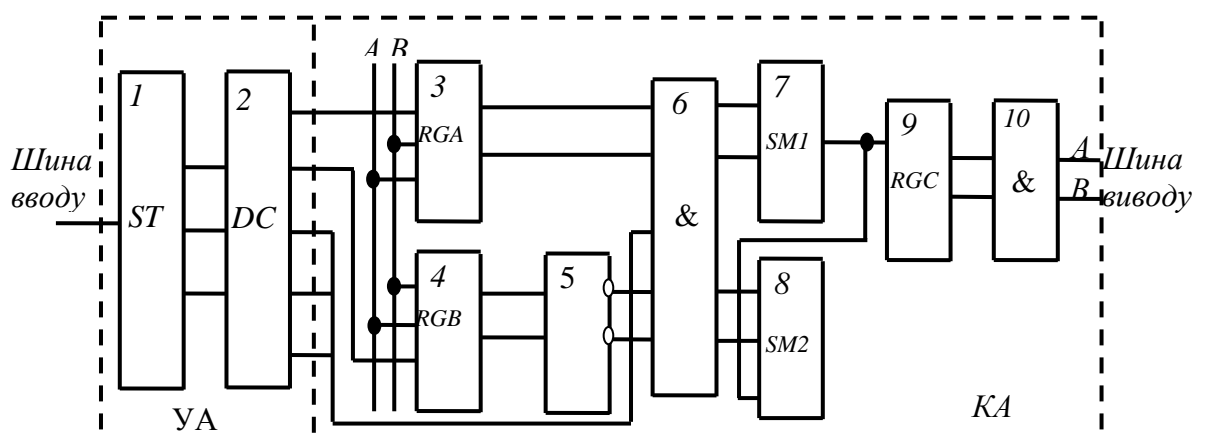


Рис. 6.5. Структурна схема реалізації математичної операції додавання двохранрядних двійкових чисел.

Структурна схема реалізації математичної операції додавання двохранрядних двійкових чисел включає в себе:

1. Трирозрядний двійковий лічильник.

2. Дешифратор на три входи.
3. Регістр операнда А.
4. Регістр операнда В.
5. Перетворювач прямого кода в обернений.
6. Ключі на логічних елементах І.
7. Суматор першого розряду.
8. Суматор другого розряду.
9. Регістр суми.
10. Ключі на логічних елементах І.

Керуючий автомат (КА) складається з дворозрядного двійкового лічильника імпульсів, виконаного на тригерах та дешифратора на логічних елементах.

Математичні операції виконуються за п'ять тактів:

1. Записування операнда в регістр А.
2. Записування операнда в регістр В.
3. Подача сигналу дозволу додавання.
4. Записування операнда в регістр С.
5. Видача сигналу на вихідну шину.

## **6.2 Елементарні операції арифметико-логічного пристрою**

Складні операції в АЛП реалізуються як послідовність елементарних.

До типових елементарних операцій належать:

1. Зсув – зміщення кодів, які зберігаються в регістрі, вліво або вправо на задане число розрядів;
2. Додавання до слова «1» або «-1» - операція рахунку;
3. Дешифрування – перетворення слів в сигнали (однорядний код);
4. Шифрування – перетворення однорядного коду в двійковий;
5. Порівняння – визначення відношення старшинства двох слів або їх рівності;
6. Порозрядне доповнення – формування оберненого колу;
7. Порозрядне логічне множення і додавання двох слів;
8. Порозрядне додавання двох слів по модулю;
9. Сума двох слів.

АЛП будується на основі комбінаційних схем (КС), які виконують елементарні операції. На основі комбінаційних схем для виконання елементарних операцій синтезуються вузли АЛП для виконання складних операцій.

## **6.3 Складні операції арифметико-логічного пристрою**

Складні операції АЛП:

1. Логічні операції над двійковими числами;
2. Операції зсуву (вправо, вліво) на задану кількість розрядів;
3. Арифметичні операції над двійковими числами;

4. Операції відношення: менше, більше, менше-рівне, більше-рівне;
5. Операції обчислення елементарних функцій типу  $exp X$ ,  $In X$ ,  $Sin X$ ,  $Cos X$ ,  $Sh X$ ,  $arctg y/x$ .
6. Операції обробки символів та рядків символів.

Для реалізації складних операцій в АЛП необхідно представити алгоритм виконання цієї операції в формі, яка розкриває його базові обчислювальні та структурні характеристики. Обчислювальні характеристики описуються повним набором функціональних операторів алгоритму і відповідними їм обчислювальними затримками. Структурні характеристики описуються зв'язками між функціональними операторами алгоритму і їх взаємозалежністю.

#### 6.4 Мови описання операційних пристроїв

Для описання операційних пристроїв на різних рівнях використовуються відповідні мови, а саме:

1. мова електричних рівнянь для струмів і напруг у ланцюгах схем, складених з резисторів, діодів, транзисторів та ін.;
2. мова булевих функцій для описання логічних і запам'ятовувальних елементів;
3. мова мікрооперацій для описання типових функціональних комбінаційних і послідовнісних вузлів;
4. мова мікропрограм для описання роботи операційних пристроїв на рівні мікроалгоритмів машинних операцій;
5. алгоритмічні мови для описання обчислювального процесу в комп'ютері на рівні програм (Асемблер, Паскаль, Сі та ін.).

У мові мікрооперацій описання слова містить ідентифікатор  $A$ ,  $B$ ,  $RGA$ ,  $ST$  і розрядний показчик кількості розрядів  $A(32)$ ,  $B(16)$ , або номери старшого (ліворуч) і молодшого (праворуч) розрядів:  $A(32:1)$ ,  $B(16:1)$ . Розрядний показчик може пропуститися, якщо слово було описане раніше. Регістр і слово в ньому часто позначають одним і тим же ідентифікатором:  $RGA$ ,  $A(32)$ . Слово може подаватися своїми частинами:  $A(32:16)$ ,  $A(15:12)$ ,  $A(11:1)$ . Значення конкретного  $i$ -го розряду слова записують як  $A[i]$ , наприклад  $A[1], B[n]$ .

#### 6.5 Пристрої керування

Функціональну частину комп'ютера, призначену для автоматичного керування обчислювальним процесом за допомогою послідовності керуючих і синхронізуючих сигналів називають **пристроєм керування** (ПК). Пристрій керування забезпечує координацію роботи всіх функціональних вузлів комп'ютера в процесі виконання програми.

Відомі два основні методи побудови логіки формування керуючих сигналів. Перший з них виражається в тому, що для кожної команди процесора існує набір голінних схем, які в потрібних тактах збуджують

відповідні сигнали керування. Такий принцип керування називається «жорстка» логіка.

Другий метод дістав назву принципу мікропрограмного керування, що передбачає формування керуючих сигналів за вмістом регістра мікрокоманд, в який мікрокоманди записуються із пам'яті мікрокоманд.

**Машинним циклом** називається час, за який виконується одна машинна команда. Протягом машинного циклу ПК може виконувати наступні дії:

- зчитування чергової команди з ОП, її дешифрування та зберігання протягом циклу;
- формування адрес операндів з інформації, яка міститься в коді команди;
- вибірку операндів з ОП або РЗП і пересилку їх в АЛБ;
- вироблення необхідної для виконання даної команди послідовності керуючих сигналів;
- пересилку результату операції до РЗП або ОП;
- формування адреси наступної команди;
- переадресацію за безумовними й умовними ознаками;
- реалізацію пультавих операцій керування (запуску, зупинки машини, автоматичного або покомандного виконання програми), контроль і забезпечення різних режимів роботи, пов'язаних з пристроями введення-виведення тощо.

В ПК виділяють дві основні функціональні частини – програмну і мікропрограмну. Програмна частина реалізується центральним пристроєм керування (ЦПК). Він визначає послідовність виконання команд програми, виконує розшифровку команд, виробляє виконавчі адреси, пересилає операнди до операційного пристрою і готує його до виконання заданої операції.

Для виконання мікропрограм в операційних пристроях, які є в АЛП, в каналах введення-виведення інформації, в накопичувачах на магнітних дисках і стрічках тощо призначена мікропрограмна частина ПК

Пристрої керування класифікують за наступними ознаками:

- програмною орієнтацією – універсальні та спеціалізовані;
- принципом вироблення сигналів у часі – синхронні та асинхронні;
- способом побудови КА – із схемною або програмованою логікою;
- способом реалізації машинних команд – централізовані або змішані;
- методом зберігання програм – з використанням ОП чи з введенням ззовні;
- порядком проходження команд – з природним або довільним порядком;
- числом рівнів керування – одно- і багаторівневі.



## 6.6 Центральний пристрій керування

Пристрій, який виконує основні функції керування комп'ютером, називається *центральним пристроєм керування (ЦПК)*. Під ЦПК розуміють сукупність вузлів і блоків процесора, які забезпечують координацію функціонування всіх пристроїв машини і керування ними для всіх прийнятих режимів роботи.

Центральний пристрій керування реалізує системні і робочі програми, організовує всі необхідні дії з оцінки і перетворення початкової інформації для отримання результату обчислень.

Розв'язання будь-якої задачі зводиться до послідовності вибірки і виконання команд програми під керуванням ЦПК. Таким чином, ЦПК – це перетворювач первинної командної інформації, яка представляється командами програми, у вторинну командну інформацію – виконавчі адреси і керуючі сигнали.

До первинної командної інформації відносяться також коди і сигнали, які характеризують стан процесора і окремих блоків. Часто в міні- і мікрокомп'ютерах, основною вимогою яких є мінімум вартості, обладнання суміщують за функціональним призначенням. Наприклад, суміщують пристрої ЦПК і МПА процесора.

Для виконання своїх функцій ЦПК вміщує:

- регістр команд *RGK* з полем коду операції КОП і полем адреси АДР;
- лічильник адреси команд *СТАК*;
- керуючий автомат МПА;
- дешифратор коду операцій *ДСКОП*;
- операційний блок (ОБ), в який входять суматор адреси, схеми аналізу режимів роботи: готовності пам'яті і периферії до обміну інформацією, запитів переривань і прямого доступу до пам'яті;
- інтерфейсні схеми та ін.;
- пульт керування "Пульт".

Регістр команд *RGK* призначений для приймання команди з ОП і зберігання її протягом робочого циклу. Залежно від типу машини і складності операції команда може мати довжину від одного до 10 і більш байтів. Залежно від довжини шини вибірки даних за одне звернення до ОП може прочитуватися вся команда, її частина або декілька команд.

Лічильник адрес команд *СТАК* призначений для визначення адреси команди. Після зчитування поточної команди зміст *СТАК* автоматично збільшується на константу, яка дорівнює довжині команди в байтах.

Мікропрограмний автомат МПА1 розшифровує команди і забезпечує керуючими сигналами виконання програмної частини, а МПА2 – виконання власне мікропрограм операцій в АЛП. Кожен з автоматів може будуватися на

основі схемної або програмованої логіки. При централізованому керуванні обидва автомати поєднуються в єдиний МПА.

Суматор адреси служить для формування виконавчих адрес операндів і результату операції за інформацією, яка міститься в коді команди. У загальному випадку виконавчі адреси отримують додаванням трьох компонент: базової адреси та індексу, які розміщені в блоці РЗП, і коду зміщення в команді.

Пульт керування "Пульт" призначений для керування роботою комп'ютера користувачем. Він містить клавіатуру; перемикальні кнопки та засоби індикації для візуального контролю стану окремих пристроїв і проведення профілактики.

Структурну схему перерахованих пристроїв представлено на рис. 5.6.

На клавіатурі "Пульту" набирається команда введення та адреса першої команди програми, яка має виконуватися після натискання на кнопку ЗАПУСК (або будь-якої клавіші). Ця інформація поступає до ЦПК, який керує введенням програми і початкових даних в ОП з магнітних дисків. Після закінчення введення програми ЦПК пересилає до лічильника СТАК адресу першої команди, яка має виконуватися.

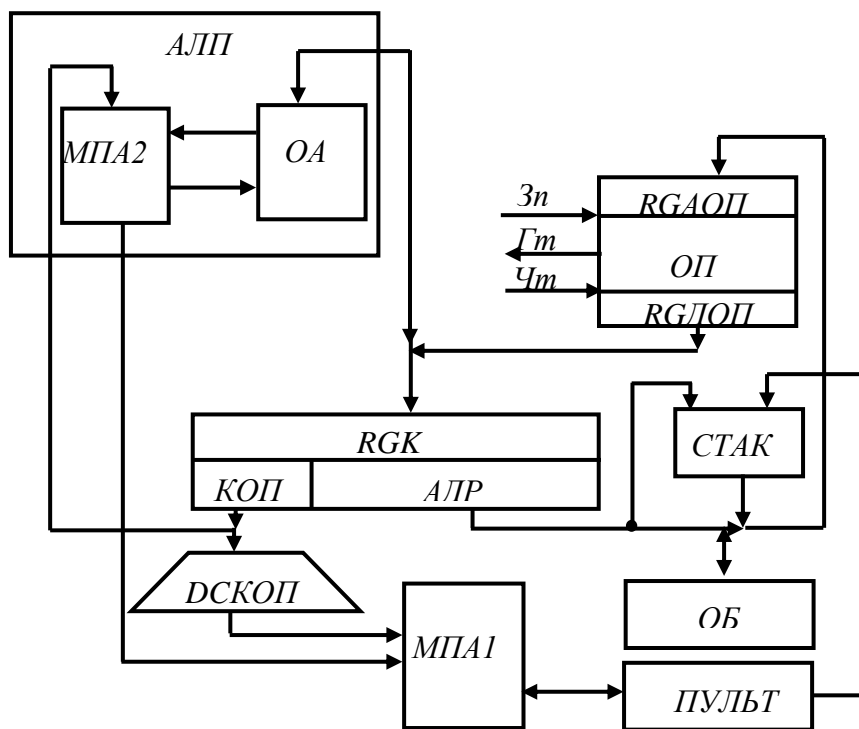


Рис.6.6 Структура взаємодії ПК, АЛП і пам'яті

Функціонування комп'ютера складається з робочих циклів, кожний з яких відповідає виконанню однієї команди програми.

У кожному робочому циклі в загальному випадку виконуються наступні типові дії:

- вибірка з комірки ОП команди, яка повинна виконуватися, і формування адреси наступної команди. При цьому зміст лічильника адреси СТАК пересилається в регістр адреси пам'яті RGAOP. Зчитаний за даною адресою код поступає до регістра даних пам'яті, а звідти пересилається до регістра команд RGK, після чого зміст лічильника адреси СТАК збільшується на константу – довжину команди в байтах;
- формування виконавчих адрес і зчитування за ними операндів з ОП. Зміст адресної частини команди пересилається до ОБ, де виробляються виконавчі адреси. Зчитані операнди надходять до ОА і зберігаються в блоці РЗП;
- розшифрування коду операції в МПА2 виконується послідовністю мікрооперацій, які визначені мікропрограмою даної операції і записування результату операції в пам'ять або в РЗП;
- вироблення в МПА2 сигналу АЛП кінця операції. Перехід до п. 1.

## 6.7 Пристрій керування із жорсткою логікою

Типова структура ПК з жорсткою логікою наведена на рисунку 6.7.

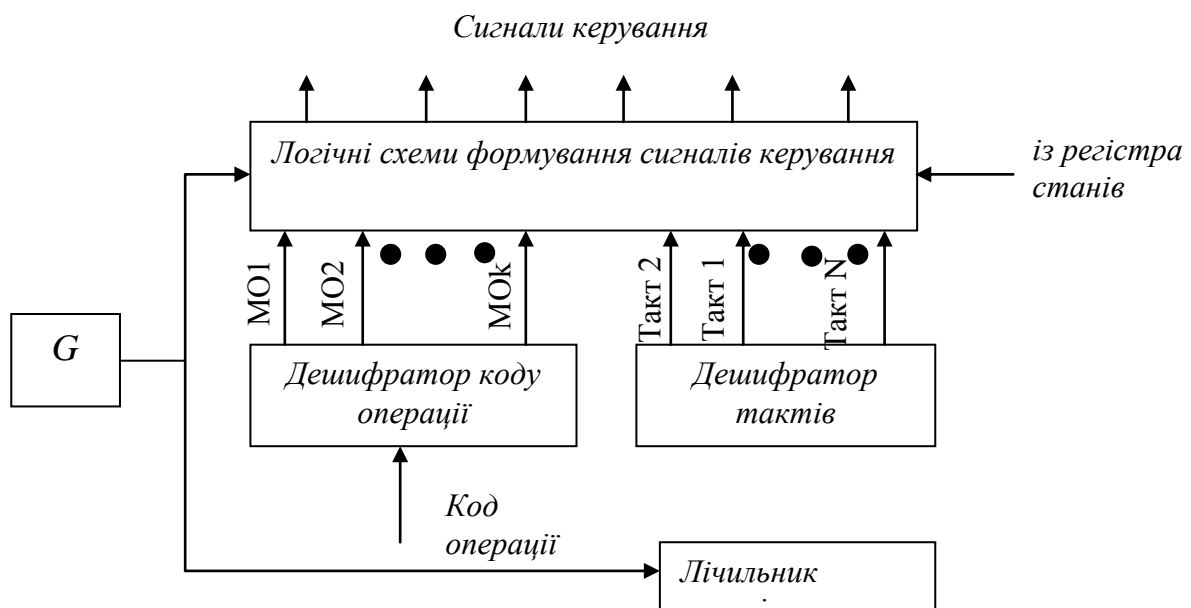


Рисунок 6.7

До складу пристрою керування входить:

- генератор тактових сигналів  $G$ , який генерує тактові імпульси  $T1$ , потрібні для синхронізації роботи пристрою керування;
- лічильник тактів, в якому зберігається номер виконуваного в даний час такту;

- дешифратор коду операції та дешифратор тактів, який перетворює двійковий код в однорядний;
- логічні схеми формування сигналів керування.

Дешифратор коду операції по коду операції із реєстра команд РК формує сигнал активації мікрооперації МО на відповідній шині. З кожним тактом до лічильника тактів додається сигнальна «1» від генератора тактів тактових сигналів  $G$ . Дешифратор тактів формує сигнали, відповідні поточному такту.

## **6.8 Пристрій мікропрограмного керування**

*Пристрій мікропрограмного керування* – пристрій, який за допомогою програми виробляє послідовність сигналів, необхідних для виконання відповідного алгоритму в комп'ютері.

Програма складається з деякої послідовності команд. Команда в комп'ютері виконується за один або декілька тактів, в кожному із яких виконується одна або декілька мікрооперацій.

Основні принципи побудови пристрою мікропрограмного керування:

1. Всі мікронакази, які повинні бути виконанні в одному такті роботи комп'ютера, збираються в одне керуюче слово, яке називається мікрокомандою.
2. Кожній команді з системи команд комп'ютера ставиться у відповідність послідовність мікрокоманд, необхідних для її виконання.
3. Всі мікрокоманди зберігаються в пам'яті. Це може бути основна пам'ять, але у більшості випадків використовується окрема пам'ять, яка зветься пам'яттю мікрокоманд.
4. Для реалізації деякої команди необхідно прочитати з пам'яті мікрокоманд відповідну послідовність мікрокоманд та подати розподілену у часі послідовність керуючих сигналів на відповідні керуючі входи вузлів комп'ютера.

Структура пристрою мікропрограмного керування показана на рисунку

6.8.

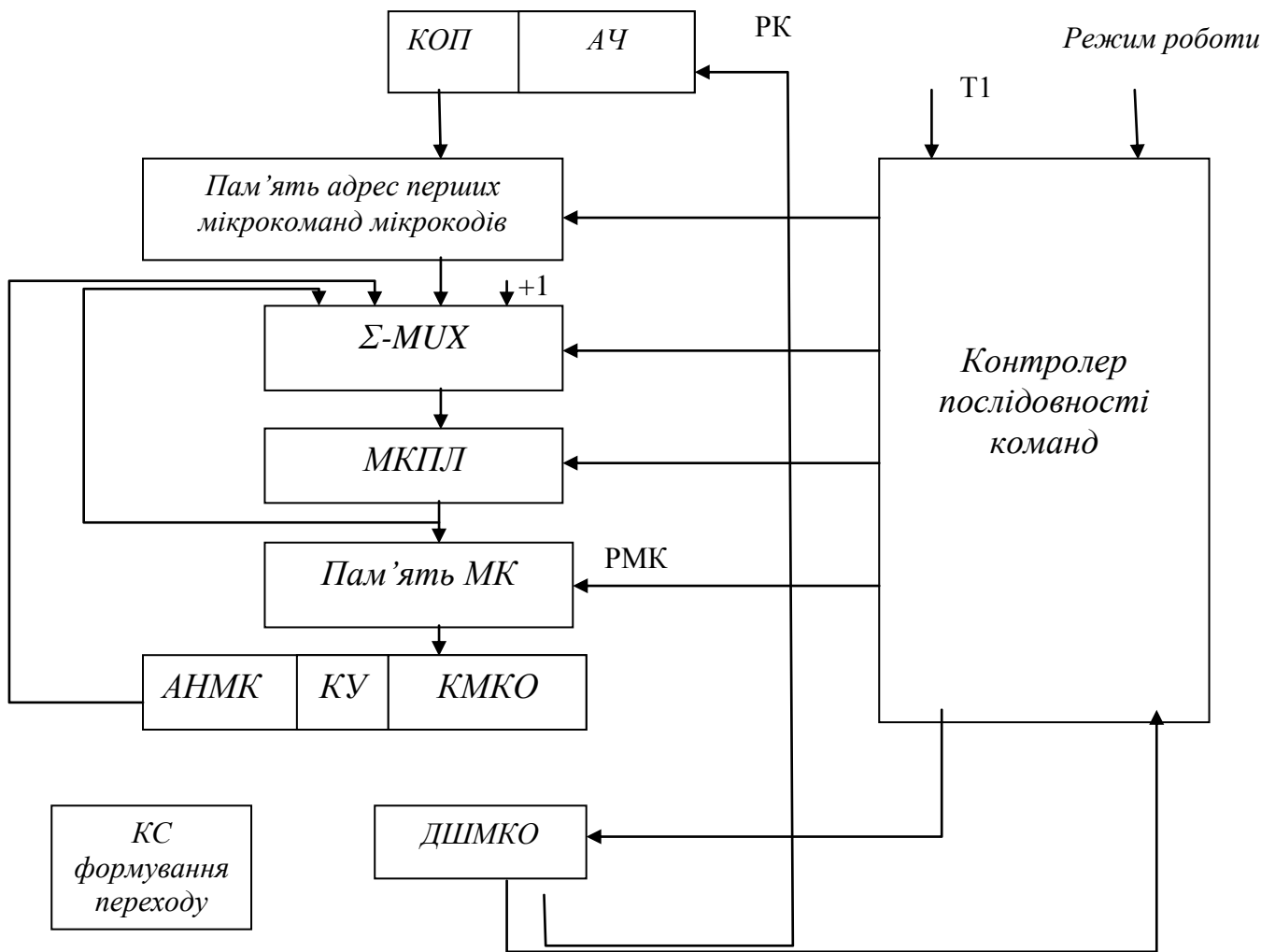


Рисунок 6.8

В регістрі команди РК зберігається команда, яка підлягає виконанню в комп'ютері. За її кодом операції КОП з пам'яті адрес перших мікрокоманд мікрокодів читається адреса пам'яті мікрокоманд, в якій знаходиться перша мікрокоманда із послідовності мікрокоманд її виконання. Пам'ять мікрокоманд в більшості випадків реалізується на основі ПЗП, хоча може бути реалізована і на основі ОЗП. В цій пам'яті зберігаються мікрокоманди для всіх команд комп'ютера, а також для початку роботи комп'ютера та для обробки переривань. В схемі формування адреси (СФА), до складу якої входять пам'ять адрес перших мікрокоманд мікрокодів, суматор-мультиплексор, мікропрограмний лічильник (МКПЛ) та комбінаційна схема (КС) формування переходу, визначається адреса комірки пам'яті мікрокоманд, в якій знаходиться наступна мікрокоманда. Ця адреса формується з врахуванням полів адреси наступної мікрокоманди (АНМК) та коду умови з регістру мікрокоманди, а також сигналів стану, які поступають з регістра слова стану програми. Мікрокоманда зчитується із пам'яті в регістр мікрокоманди (РМК), в якому вона зберігається протягом одного

такту роботи комп'ютера. На основі коду мікрооперації КМКО з регістра мікрооперації на виході дешифратора ДШМКО формуються сигнали керування.

Робота компонента пристрою керування синхронізується з контролера послідовності мікрокоманд, який отримує ззовні тактові імпульси з генератора тактових імпульсів, а також код режиму роботи комп'ютера. Контролер послідовності мікрокоманд є ядром пристрою керування. Він має два окремих режиму роботи: звичайний режим та режим запуску комп'ютера.

В звичайному режимі контролер послідовності мікрокоманд генерує сигнали керування роботою пристрою керування. Тактові імпульси на його вході забезпечують його часову синхронізацію, керування процесом формування адреси мікрокоманди.

### Контрольні запитання

1. Що називають мікрооперацією?
2. Що називають мікрокомандою?
3. Призначення операційного пристрою (ОП)?
4. Призначення управляючого пристрою?
5. За якими ознаками класифікують АЛП?
6. Які типи пристроїв керування застосовують в АЛП?
7. Складіть схему загальної структури АЛП та опишіть призначення блоків АЛП.
8. Які мови використовують для описання ОП?
9. Що називають мікрооперацією?
10. Що називають мікрокомандою?
11. Призначення операційного пристрою (ОП)?
12. Призначення управляючого пристрою?
13. За якими ознаками класифікують АЛП?
14. Які типи пристроїв керування застосовують в АЛП?
15. Складіть схему загальної структури АЛП та опишіть призначення блоків АЛП.
16. Які мови використовують для описання ОП?
17. Дати визначення ідентифікатора, розрядного показника, оператора і описання управляючого сигналу АЛП.
18. Які мікрооперації найбільше розповсюджені в АЛП?
19. Яке призначення пристрою керування (ПК)?
20. Для чого призначений блок синхронізації?
21. Для чого призначений дешифратор коду операції та дешифратор тактів?
22. Які принципи покладені в основу побудови пристрою керування?
23. Накресліть структуру пристрою мікропрограмного керування та поясніть організацію його роботи.

24. Як формуються адреси мікропрограми?
25. Як формуються адреси мікрокоманд?
- 26.