

Розділ 11

Організація введення-виведення

В даному розділі будуть розглянуті питання взаємодії з комп'ютером пристроїв, призначених для введення інформації в комп'ютер та виведення інформації з комп'ютера. Оскільки в комп'ютері може бути багато пристроїв введення-виведення, при зверненні до них їх потрібно розпізнати. Спосіб розпізнавання залежить від способу їх підключення до процесора. В розділі буде наведено пояснення способів розпізнавання пристроїв введення-виведення з використанням шини введення-виведення, лінії активації та скритого пам'яттю введення-виведення. Буде наведено методи керування введенням-виведенням та пояснена суть, переваги та недоліки програмно керованого введення-виведення.

Оскільки важливою складовою частиною засобів керування введенням-виведенням є система переривання програм, яка призначена для реакції на програмно незалежні події, в розділі буде надано її детальний опис. Переривання програм – це властивість комп'ютера тимчасово переривати виконання біжучої програми при виконанні деяких подій і передавати керування програмі, яка спеціально передбачена для даної події. Буде введено основні поняття та характеристики системи переривання програм: запити переривання, переривальні програми, переривані програми, час реакції, час обслуговування переривання, глибина переривання. Будуть розглянуті програмно-апаратні засоби, які забезпечують визначення допустимого моменту переривання і початкової адреси переривальної програми при поступленні запиту переривання, а для забезпечення повернення до перериваної програми забезпечують збереження вмісту елементів пам'яті комп'ютера в момент її переривання, та, після завершення виконання переривальної команди, відновлюють цей вміст та надають комп'ютеру можливість продовжити виконання перериваної програми.

Крім того, буде наведено опис прямого доступу до пам'яті, його переваги та недоліки, та описана організація введення-виведення під керуванням периферійних процесорів (каналів), причини появи каналів введення-виведення, їх функції, керуюча інформація каналів введення-виведення, а також функції та склад селекторного та мультиплексного каналів.

11.1. Під'єднання зовнішніх пристроїв до комп'ютера

Зовнішні (периферійні) пристрої під'єднуються до комп'ютера за допомогою відповідних інтерфейсів. Інтерфейси визначають типи роз'ємів, множину сигналів та протоколи обміну ними. По відношенню до комп'ютера зовнішніми пристроями можуть бути інші комп'ютери та пристрої введення-виведення.

Пристрої введення-виведення призначені для введення інформації в комп'ютер та виведення інформації з комп'ютера.

Рис. 11.1 показує, як всі ці компоненти можуть бути з'єднані між собою, щоб сформувати об'єднану підсистему введення-виведення. Контролери введення-виведення призначені для переміщення даних між основною пам'яттю та інтерфейсом відповідного пристрою. Інтерфейси проектується спеціально під конкретний пристрій введення-виведення, щоб зв'язатися з певними видами пристроїв, як наприклад клавіатурою, дисками або принтерами. Інтерфейси повідомляють контролери про готовність зовнішніх пристроїв до приймання наступної партії даних, або, повідомляють зовнішні пристрої, що внутрішні пристрої комп'ютера готові одержати від них наступну партію даних.

Порядок обміну інформацією між передавачем і приймачем задається в протоколі обміну. Протоколи вказують порядок поступлення сигналів керування, як наприклад, скидання принтера сигналів статусу, як наприклад готовність принтера, або сигналів передачі даних, як наприклад "тут є байти, які ви запросили."

В комп'ютерах використовуються два принципи передачі інформації – синхронний і асинхронний. При синхронному принципі передавач інформації утримує на своєму виході інформацію деякий наперед визначений час, достатній для її фіксування в приймачі. При асинхронному принципі приймач отримавши інформацію повідомляє про це приймача, який лише після цього може змінити інформацію на своєму виході. Тому існують два методи передачі даних. Перший передбачає передачу разом з даним тактового сигналу, призначеного для фіксування даного. Цей вид протоколів обміну називають протоколами з стробуванням. У більшості протоколів обміну використовується другий метод, згідно з яким приймач повинен підтвердити отримання відправлених йому команд і даних, або вказати, що готовий одержати дані. Цей вид протоколів обміну називають протоколами з квітуванням.

Зовнішні пристрої, які оперують великими блоками даних, як наприклад, принтери і драйвери магнітних дисків і стрічок часто обладнуються буферною пам'яттю. Буферна пам'ять дозволяє операційній системі комп'ютера відправляти або приймати великі об'єми даних до/від зовнішніх пристроїв найшвидше. Додаткова спеціалізована пам'ять на дисках є зазвичай різновидністю кеш пам'яті, тоді як принтери обладнуються повільнішою пам'яттю з довільною вибіркою. Пристрої керування здійснюють керування відповідним зовнішнім пристроєм та зчитують дані з буферної пам'яті і вказують місце їх поступлення.

Магнітні диски та стрічки належать до типів пам'яті, призначених для тривалого зберігання інформації. Проте, зрозуміло, що і для них існує відповідний термін зберігання. Він становить приблизно п'ять років для магнітних пристроїв пам'яті та до 100 років для оптичних пристроїв пам'яті.

Інтерфейси введення-виведення забезпечують узгодження передачі інформації між внутрішніми (як наприклад пам'ять і реєстри процесора) та зовнішніми пристроями введення-виведення. Зовнішні пристрої часто є електромеханічними, тоді як процесор і пам'ять – електронні пристрої. Тому швидкість передачі даних від зовнішніх пристроїв є зазвичай, повільнішою.

11.2. Розпізнавання пристроїв введення-виведення

Оскільки в комп'ютері може бути багато пристроїв введення-виведення, при зверненні до них їх потрібно розпізнати. Спосіб розпізнавання залежить від способу їх підключення до процесора.

На рис. 11.2 для пристроїв введення-виведення виділена окрема шина введення-виведення, яка з'єднує їх з процесором.

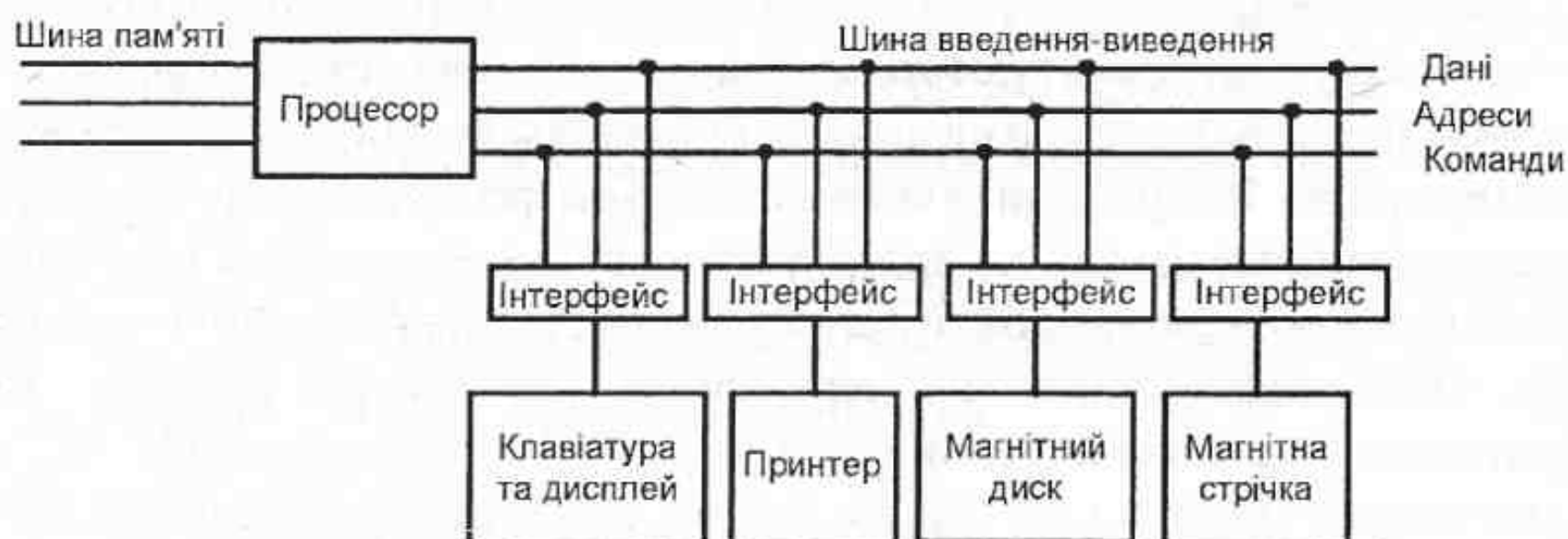


Рис. 11.2. Використання шини введення-виведення

В цьому випадку процесор звертається до пристрою введення-виведення за його номером і незалежно від пам'яті. Наприклад, він може вказувати тип операції введення-виведення та номер пристрою введення-виведення.

На рис. 11.1 наведено варіант взаємодії внутрішніх та зовнішніх пристроїв комп'ютера з використанням двох окремих шин – шини пам'яті та шини введення-виведення. Можливе використання об'єднаної шини пам'яті та введення-виведення. Якщо використовується спільна шина для основної пам'яті та пристроїв введення-виведення, то може бути використана спеціальна лінія активації, по якій вибирається для взаємодії з процесором або пам'ять, або пристрій введення-виведення (рис. 11.3).

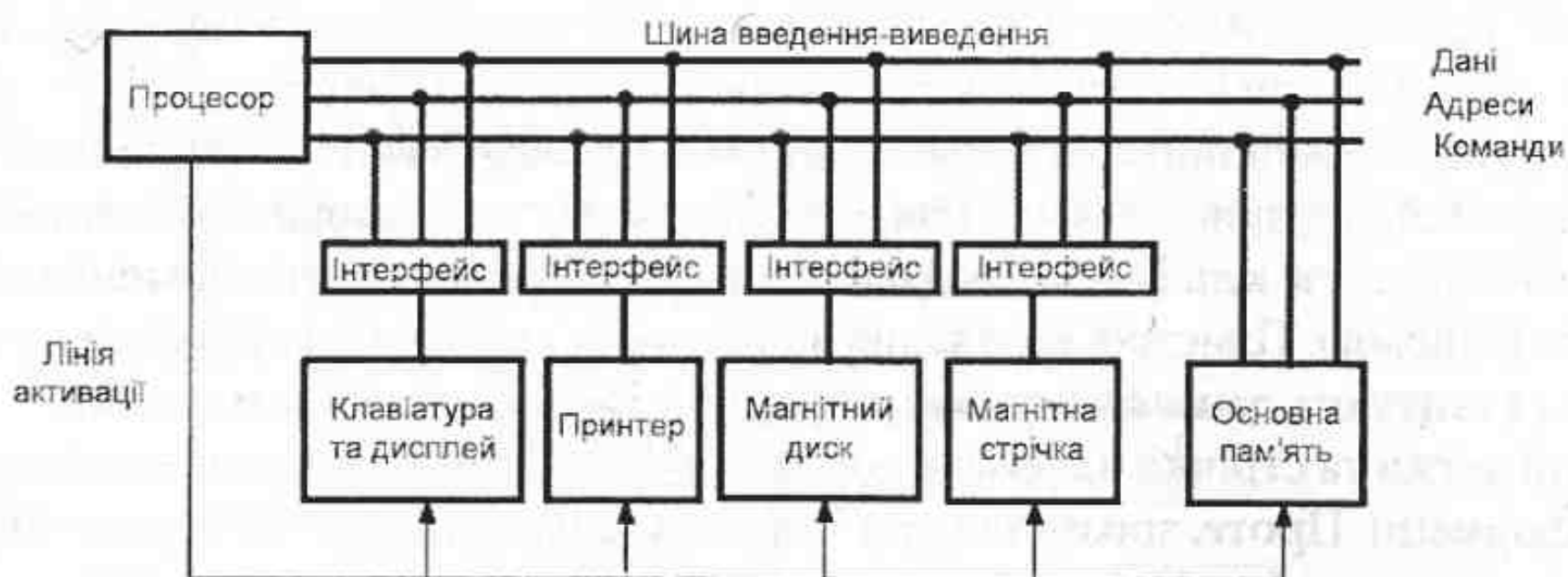


Рис. 11.3. Використання спільної шини

Коли на лінії активації "0" – проводиться обмін процесора з основною пам'яттю, коли "1" – з пристроями введення-виведення.

В цьому випадку об'єднана шина розподіляється в часі між пам'яттю та пристроями введення-виведення. Хоча при такому підході продуктивність комп'ютера дещо нижча, ніж при використанні двох окремих шин, він часто застосовується завдяки таким перевагам як простота організації взаємодії пристроїв та нарощування їх кількості. Прикладом об'єднаних шин є шини VME bus, Multibus II, Nubus.

Інший спосіб організації взаємодії процесора з пам'яттю та пристроями введення-виведення – це включення номерів пристроїв введення-виведення в адресний простір пам'яті. Це так зване скрите пам'яттю введення-виведення. Тут не потрібна лінія акти-

вації. Зв'язок процесора з пристроями введення-виведення здійснюється так само, як з комірками пам'яті. Цей спосіб використовується частіше за інші.

Для взаємодії з процесором пристрої введення-виведення мають спеціальні вузли (рис. 11.4), які називають інтерфейсами або інтерфейсними схемами.



Рис. 11.4. Інтерфейсні схеми пристроїв введення-виведення

Кожен пристрій введення та виведення має інтерфейсну схему (рис. 11.1), яка виконує наступні функції:

- декодує адресу пристрою (номер пристрою), який поступає з процесора;
- декодує команди (визначає потрібну дію);
- забезпечує взаємодію з контролером пристрою введення-виведення;
- синхронізує потік даних і контролює швидкість передачі даних між пристроєм введення-виведення і процесором або пам'яттю.

11.3. Методи керування введенням-виведенням

В комп'ютерах використовують чотири загальних методи керування введенням-виведенням. Це наступні методи:

- програмно кероване введення-виведення,
- кероване перериваннями введення-виведення (введення-виведення за перериваннями),
- прямий доступ до пам'яті,
- введення-виведення під керуванням периферійних процесорів (каналів).

Тип методу керування введенням-виведенням суттєво впливає на структуру та продуктивність комп'ютера. Тому потрібно знати, в якому випадку доцільно використовувати конкретний метод введення-виведення в деякому комп'ютері, та як він використовується.

11.4. Програмно-кероване введення-виведення

В комп'ютерах, що використовують програмно-кероване введення-виведення, в інтерфейсній схемі кожного пристрою введення-виведення наявний регістр команд і станів РКС (рис. 11.5). В цьому регістрі є розряд прапорця Е, який при потребі обміну з боку пристрою введення-виведення встановлюється в "1".



Рис. 11.5. Взаємодія між процесором і пристроями введення-виведення

Процесор безупинно опитує регістр команд і станів кожного пристрою введення-виведення, чекаючи на надходження даних (рис. 11.6). Тому програмно-кероване введення-виведення іноді називають введенням-виведенням за запитами. Як тільки процесор виявляє умову готовності даних, він діє згідно з вказівками команд з програми відповідного пристрою введення-виведення.



Рис. 11.6. Опитування пристрою введення-виведення та виконання операції введення даних

Вигода від використання цього підходу полягає в тому, що забезпечується програмний контроль над поведінкою кожного пристрою. Постійний опит регістра, проте, є проблемою. Процесор знаходиться в безперервній петлі "активного очікування", поки він почне обслуговувати запит введення виведення. Він не виконує інших функцій, поки є процес введення виведення. Тобто продуктивність процесора знижується аж до рівня продуктивності пристроїв введення виведення. Внаслідок цих обмежень, програмно-кероване введення виведення найкраще підходить для спеціальних систем, де вимоги до продуктивності процесора невисокі.

Розглянемо програмно кероване введення виведення на прикладі відеотерміналу в складі клавіатури і дисплею. Швидкість передачі даних від клавіатури в комп'ютер визначається в основному швидкістю роботи оператора, яка рівна декільком символам за секунду. Швидкість передачі даних з комп'ютера на відеотермінал значно вища. Вона визначається швидкістю передачі даних по шині, і типово знаходиться біля показника 1000 символів за секунду. Але це значно менше, ніж може забезпечити процесор (мільярди операцій за секунду). Проблема узгодження швидкостей вирішується наступним чином. Процесор посилає перший символ, чекає на підтвердження відображення символу на дисплеї, посилає другий символ і т. д. При взаємодії з клавіатурою процесор чекає сигнал, який свідчить про те, що клавіша натиснута і можна виконувати ввід коду символу.

Один з варіантів з'єднання процесора і відеотерміналу показаний на рис. 11.7.

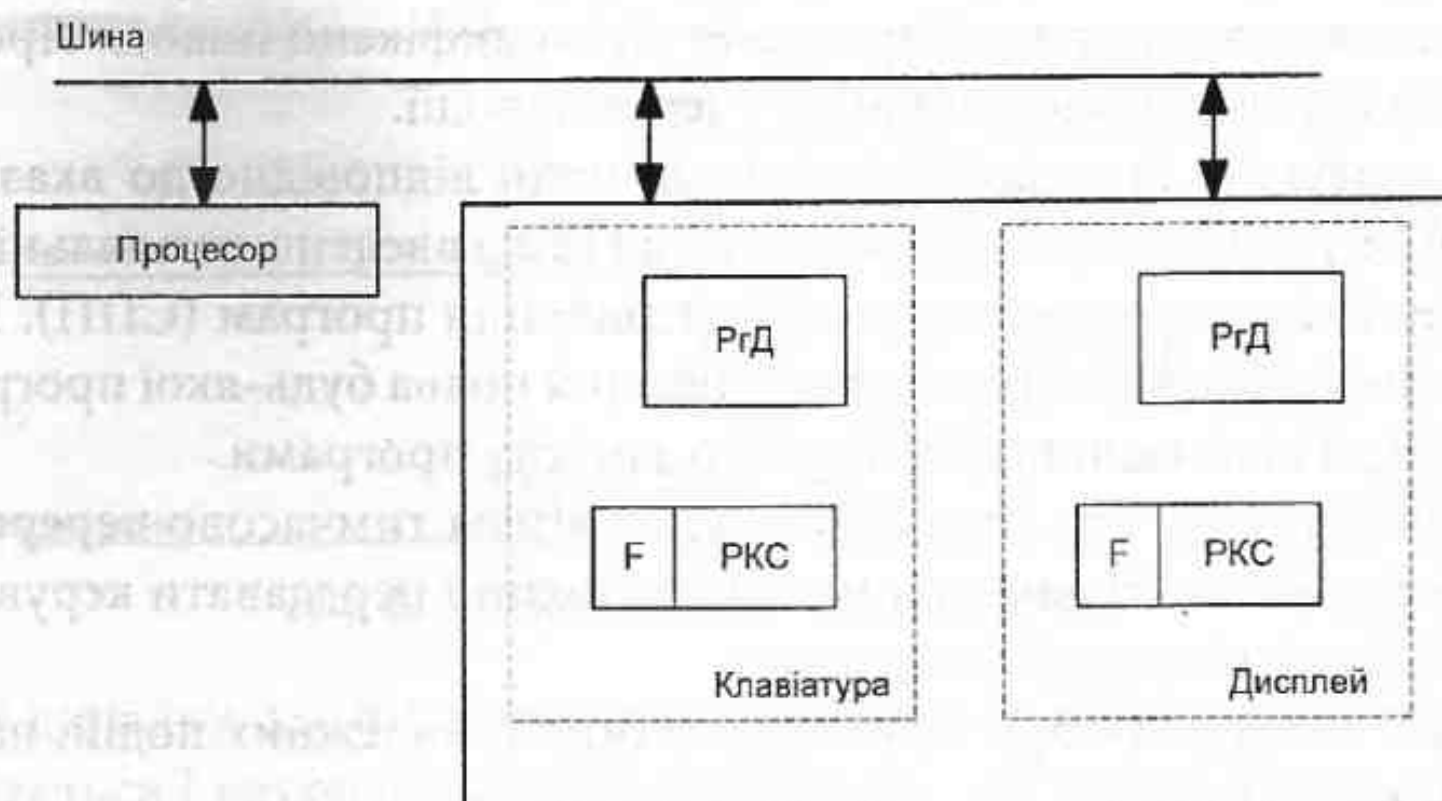


Рис. 11.7. Підключення відеотерміналу до процесора

При пересиланні даних з клавіатури послідовність операцій має бути наступною. Процесор постійно перевіряє вміст прапорця F регістра РКС, аж поки він не встановиться в одиницю, після чого відбувається пересилання даного з регістра даних РгД в один з регістрів процесора, номер якого вказується в команді.

Аналогічно при пересиланні даних на дисплей процесор постійно перевіряє вміст прапорця F регістра РКС, аж поки він не встановиться в одиницю, після чого відбувається пересилання даного з одного з регістрів процесора, номер якого вказується в команді, до регістра даних РгД.

11.5. Система переривання програм та організація введення-виведення за перериваннями

11.5.1. Функції системи переривання програм

Роботу комп'ютера можна представити як послідовність подій: виконання операцій, запити на введення-виведення, зміна станів зовнішніх об'єктів, якими керує комп'ютер, і т. д. Частина цих подій є програмно визначеною, тобто передбаченою в програмі, інша частина подій є програмно незалежною, тобто моменти виникнення подій наперед невідомі. До програмно незалежних належать:

- зупинення виконання програми, пов'язане з перевищенням виділеного часу для її виконання;
- запити оператора, який вирішив внести зміни до програми під час її виконання;
- запити периферійних пристроїв за причини завершення операцій введення-виведення або потреби проведення додаткових операцій по їх обслуговуванню;
- переповнення розрядної сітки;
- ділення на нуль;
- вихід за дозволені границі пам'яті і т. д.

Останні три названі вище та подібні події, які ініційовані апаратними засобами та фіксуються програмою, виділяють в окремий клас подій зважаючи на їх важливість та те, що вони не є передбачуваними. Наприклад, в багатопрограмних комп'ютерних сис-

темах, до яких на даний час належать всі універсальні комп'ютери, необхідна фіксація таких подій з метою захисту однієї програми від модифікації іншою. Програми взаємодіють з операційною системою комп'ютера через ці події.

Комп'ютер реагує на програмно визначені події відповідно до вказівок програми. Для реакції на програмно незалежні події в комп'ютер введено спеціальні апаратно-програмні засоби, які дістали назву системи переривання програм (СПП). Ці засоби є невід'ємною частиною сучасних комп'ютерів. Без них поява будь-якої програмно незалежної події приведе до необхідності повторного запуску програми.

Переривання програм – це властивість комп'ютера тимчасово переривати виконання поточної програми на час виконання деяких подій і передавати керування програмі, яка спеціально передбачена для даної події.

Сигнали, які сповіщають про появу програмно незалежних подій, називають запитами переривання.

Програми, на виконання яких є запити, називають переривальними програмами, тобто такими, що переривають інші програми. А програми, які виконувались до появи запитів, називають перериваними програмами, тобто такими, що перериваються.

Часова діаграма процесу переривання наведена на рис. 11.8.

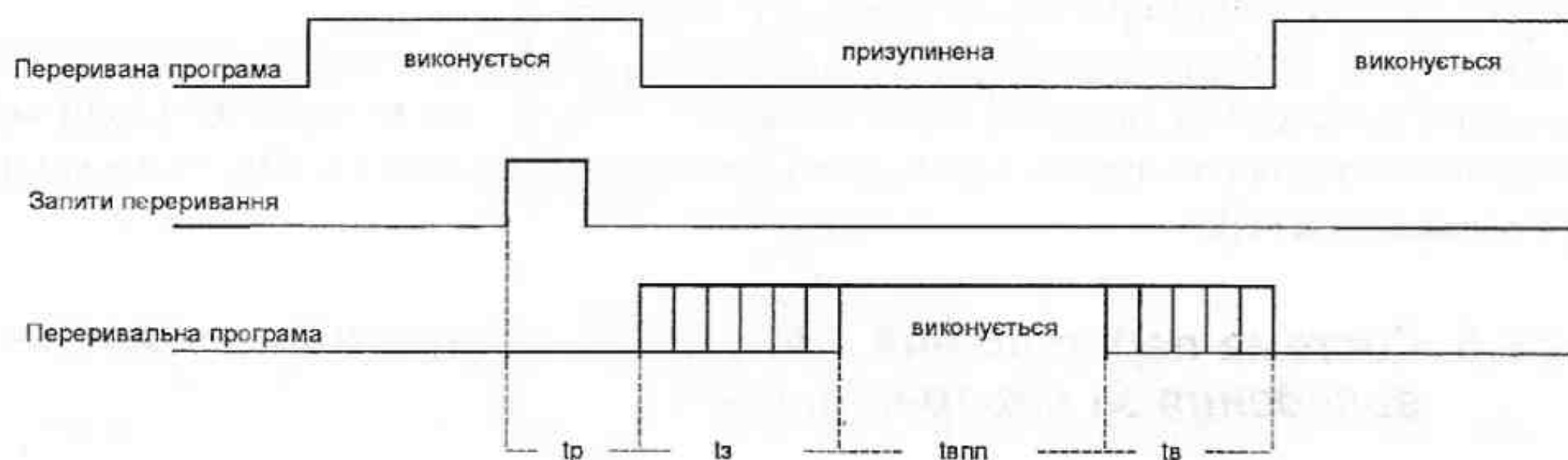


Рис. 11.8. Часова діаграма процесу переривання

Тут t_r – час реакції системи переривання на запит переривання; t_z – час запам'ятовування стану перериваної програми, $t_{вп}$ – час виконання переривальної програми, t_b – час виходу з переривальної програми та повернення до перериваної програми (відновлення її стану).

11.5.2. Характеристики системи переривання програм

До основних характеристик системи переривання програм належать наступні:

- час реакції t_r , який показує як швидко система реагує на запит переривання;
- час обслуговування переривання – затрати часу на вхід в переривальну програму та вихід з переривальної програми $t_o = t_z + t_b$;
- глибина переривання – максимальне число програм, які можуть переривати одна одну;
- кількість входів приймання переривань.

На рис. 11.9 показано переривання двох програм запитами, причому перша програма має глибину переривання 2, а друга – 3.

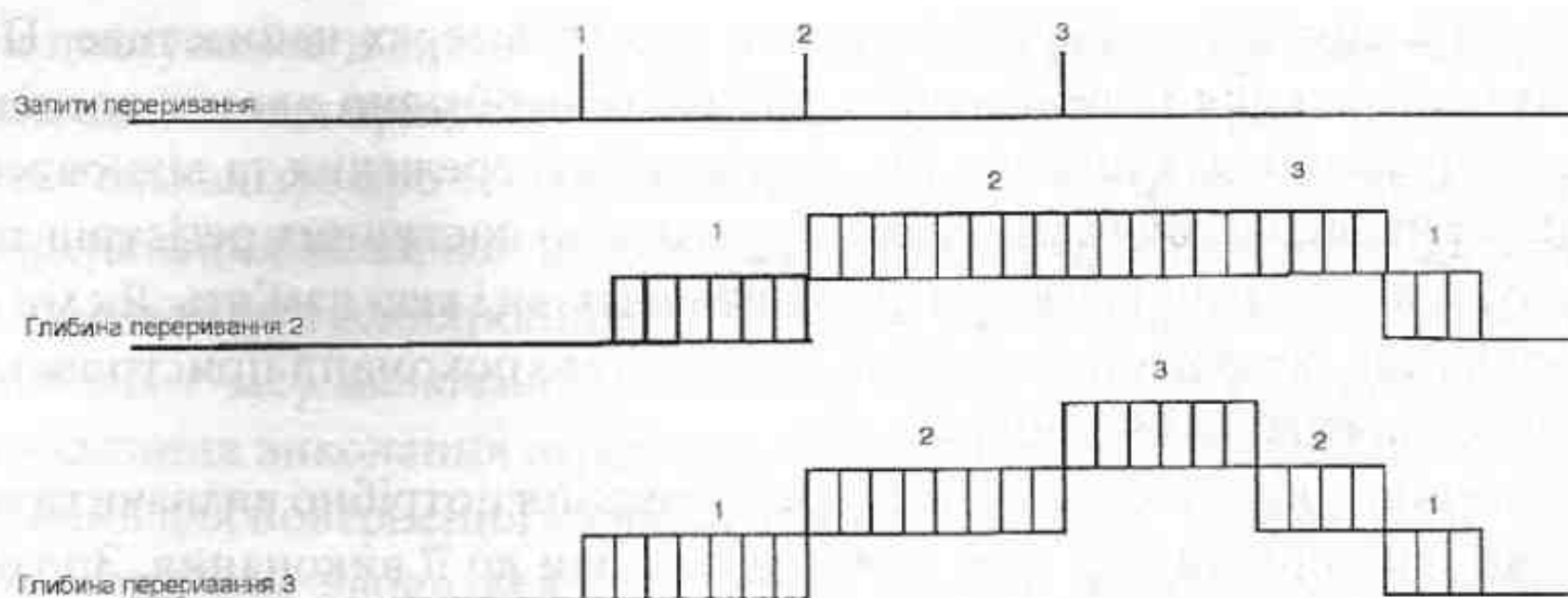


Рис. 11.9. Переривання програм запитам

В першому випадку, коли поступив запит переривання 2, виконання першої програми переривається і виконується друга програма, яка виконується до завершення не дивлячись на те, що під час її виконання поступив запит 3. Це пояснюється тим, що система переривання програм не дозволяє виконання наступного переривання. Після закінчення виконання програми 2 виконується програма 3 (звичайно, якщо вона має вищий пріоритет, ніж програма 1), а тоді відбувається повернення до виконання програми 1. В другому випадку з поступленням кожного запиту переривання він обслуговується без затримки. Чим більша глибина переривання, тим краще враховуються пріоритети запитів переривання. Якщо t_p або t_o більше за час надходження запиту переривання від того ж джерела (події), то виникає так зване насичення системи переривання, чого не можна допускати.

11.5.3. Вхід в переривальну програму

При поступленні запиту переривання системи переривання програм повинна спочатку визначити допустимий момент переривання і початкову адресу переривальної програми. При цьому, для забезпечення повернення до перериваної програми, вміст елементів пам'яті комп'ютера, в першу чергу лічильника команд та регістра станів, в момент її переривання повинен бути збережений з тим, щоб після завершення виконання переривальної команди відновити цей вміст та продовжити виконання перериваної програми.

Існують наступні способи визначення допустимого моменту переривання:

- включення в кожен команду програми розряду дозволу переривання. В цьому випадку програміст сам слідкує за тим, щоб переривання не зашкодило виконанню перериваної програми. Недолік цього способу – великий час реакції t_p , а також створення додаткових клопотів програмісту;
- переривання дозволено після закінчення будь-якої команди. Недоліки цього способу: необхідність запам'ятовувати стани програмно доступних регістрів процесора та комірок пам'яті, включаючи і кеш пам'яті, а також малий час реакції t_p , який є рівним часу виконання команди;
- переривання дозволено після кожного такту команди. Тут час реакції t_p є мінімальним. Недолік цього способу: необхідність збереження станів не тільки програмно доступних регістрів та комірок пам'яті, включаючи і кеш пам'яті, а й недоступних програм і вузлів, зокрема вмісту лічильника тактів.

Другий і третій способи використовуються в комп'ютерах найчастіше. При цьому потрібно зазначити, що для їх реалізації в процесор необхідно ввести спеціальні апаратні та програмні засоби для проведення операцій із збереження та відновлення після завершення переривальної програми вмісту програмно доступних регістрів та комірок основної пам'яті, в яких зберігалася програма, включаючи і кеш пам'ять. Як ми вже наголошували раніше, для обробки переривань в пам'яті мікрокоманд пристрою керування для цього записані спеціальні мікропрограми.

Після визначення допустимого моменту переривання потрібно визначити початкову адресу переривальної програми з тим, щоб приступити до її виконання. Зрозуміло, що джерел переривання може бути декілька. Це, наприклад, запити від пристроїв введення-виведення, від джерела живлення, від засобів захисту пам'яті, від АЛП. Тому система переривання програм повинна вміти розпізнати причину переривання та вказати на початкову адресу програми, яка обробляє це переривання. Існують наступні способи визначення початкової адреси переривальної програми:

- програмне розпізнавання причин переривання. Запит переривання спочатку фіксується, а потім переривальна програма проводить опитування джерел переривання;
- апаратне розпізнавання причин переривання. Тут кожному джерелу переривання, або групі джерел переривання, ставиться у відповідність своя адреса початку переривальної програми. Кількість початкових адрес рівна кількості рівнів системи переривання. Для реалізації цього способу потрібні додаткові апаратні засоби.

Зазвичай використовують комбінацію обох описаних способів, тобто апаратно-програмне розпізнавання причин переривання.

На рис. 11.10 наведено пристрій фіксування запитів переривання та формування початкової адреси переривальної програми.

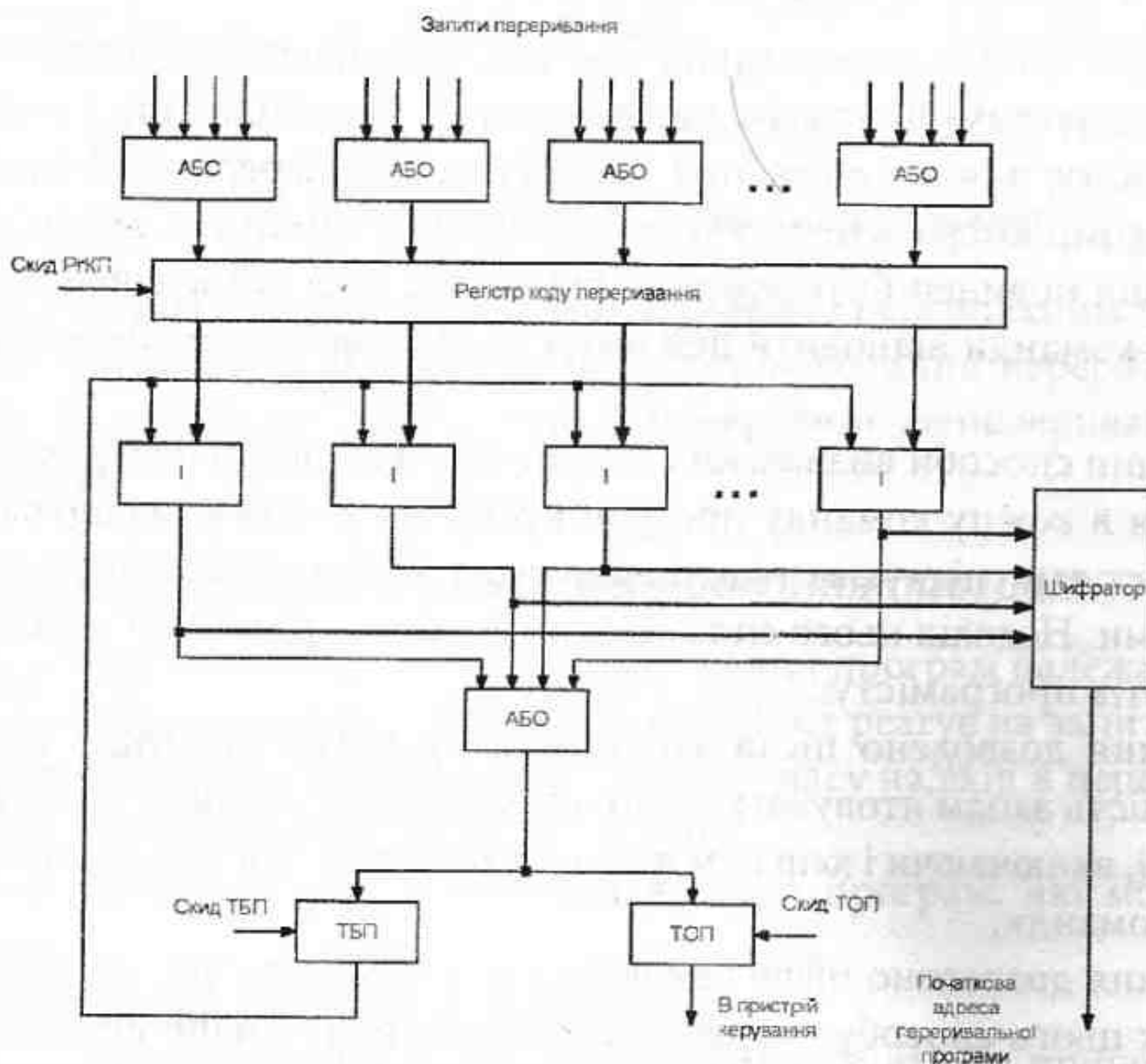


Рис. 11.10. Пристрій фіксування запитів переривання та формування початкової адреси переривальної програми

Запити поступають в систему переривання по спеціальній шині запиту переривання. Запити з однаковим пріоритетом поступають на ті ж самі логічні схеми АБО. Сигнал переривання сигналізує про те, що даний пристрій потребує переривання програми. Всі сигнали переривання зазвичай фіксуються в регістрі коду переривання РгКП. Оскільки сигнали переривання є асинхронними, будь-який пристрій може послати переривання в довільний момент часу, включаючи і моменти, коли обробляється попереднє переривання. Для запобігання виконання переривання програми до збереження необхідної інформації, потрібної для повернення до виконання перериваної програми, до складу системи переривання програм вводиться тригер блокування переривання (ТБП). Крім того, в системі переривання існує тригер очікування переривання (ТОП), який інформує пристрій керування про потребу проведення переривання. Тригер блокування переривання блокує схеми І, та не дозволяє фіксацію запиту переривання в тригері очікування переривання. За значенням вмісту регістра коду переривання дешифратор формує початкову адресу переривальної програми. Мікронакази скидання регістра РгКП та тригерів ТБП і ТОП формує пристрій керування комп'ютера.

11.5.4. Пріоритетне обслуговування переривання

Джерел переривання в комп'ютері є багато, і запити від них можуть поступати одночасно, тому потрібно встановити порядок їх обслуговування, тобто пріоритетність.

В системі переривання програм є два типи пріоритетів:

- пріоритет між запитами переривань;
- пріоритет між переривальними програмами.

Перший пріоритет потрібний головним чином для селекції: вибирається один запит з багатьох, оскільки комп'ютер не завжди може відразу прийняти декілька запитів. Він може бути реалізований методом послідовного пошуку, або шляхом паралельного дешифрування всіх запитів, та вибору з них одного за якимось правилом, наприклад, з найменшим номером серед прийнятих запитів.

Другий пріоритет визначає фактичний порядок, в якому переривальні програми будуть виконуватись.

Вибір пріоритету програм в багаторівневій системі переривання програм є досить складною задачею. Часто пріоритетність програм потрібно поміняти. Тому встановлення пріоритетів має бути програмно керованим.

В сучасних комп'ютерах використовується метод встановлення програмно-керованого пріоритету, який забезпечує присвоєння пріоритету програмістом, який називають маскою переривань. Маска переривань – це двійкове число, кожний розряд якого ставиться у відповідність одному із рівнів переривання і дозволяє (якщо його значення рівне 1), або забороняє (якщо його значення рівне 0) переривання від запитів, які належать до даного рівня. Існує регістр маски переривань, вміст якого змінюється програмним шляхом. Значення розрядів цього регістра поступають на логічні схеми І пристрою фіксування запитів переривання та формування початкової адреси переривальної програми, як це показано на рис. 11.11, та дозволяють, або забороняють, фіксацію запиту переривання в тригері очікування переривання ТОП. Для того, щоб значення в тригері очікування переривання не було змінено до його фіксації, в пристрій введено тригер блокування переривань ТБП.

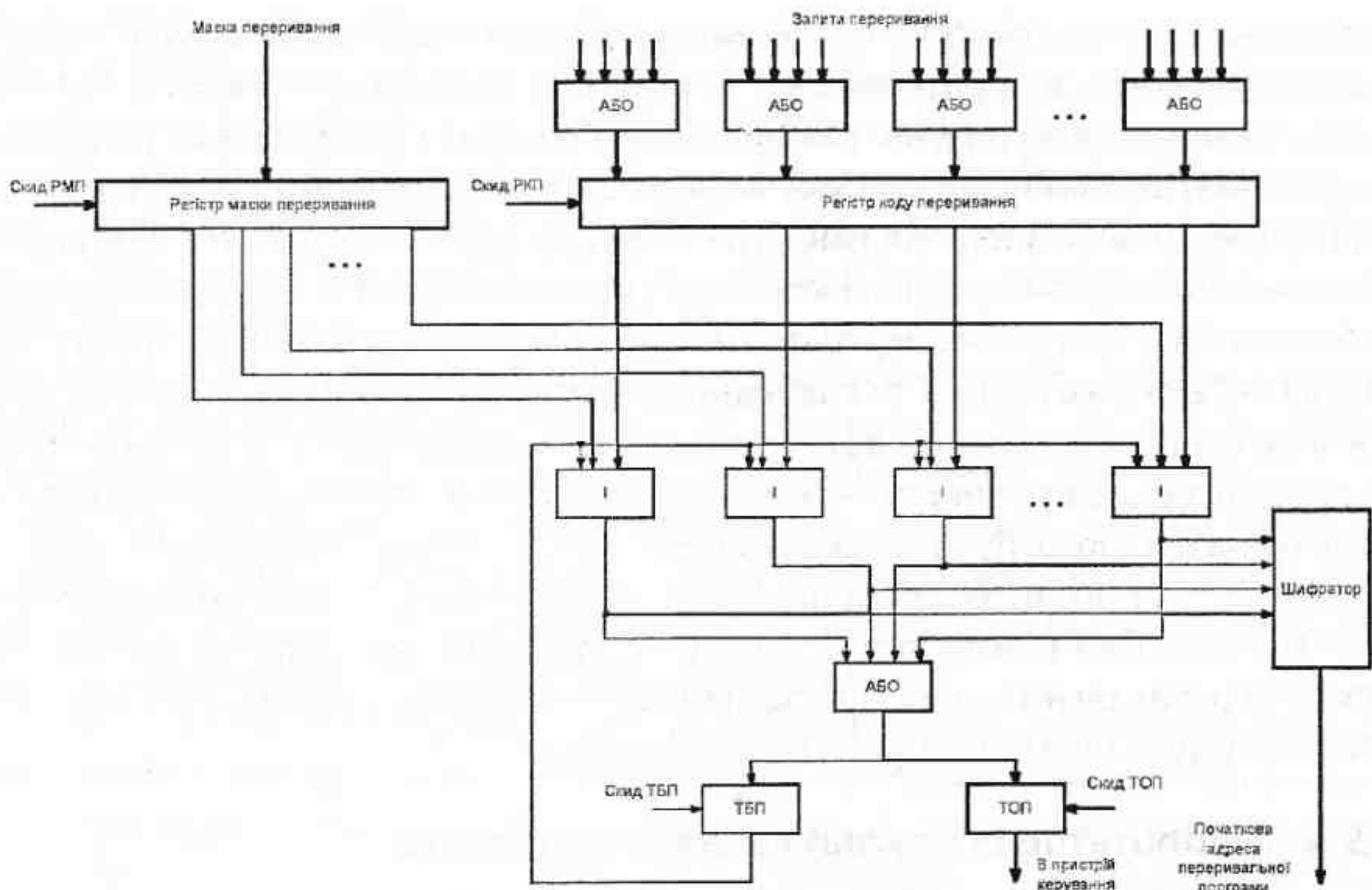


Рис. 11.11. Пристрій фіксування запитів переривання та формування початкової адреси переривальної програми з врахуванням маски переривання

Для кожної переривальної програми може бути встановлена своя маска. Маска для всіх програм зберігається в основній пам'яті та засилається в регістр маски, якщо викликається до виконання відповідна програма.

Крім індивідуальних масок можуть бути і групові, в яких один розряд належить до декількох рівнів. Вищим ступенем в такій ієрархії масок може бути головний тригер, який виключає систему переривання повністю.

Якщо запит переривання заборонений маскою, він або ігнорується, або запам'ятовується відповідною апаратурою, про що може бути відповідна вказівка в масці переривання.

11.5.5. Організація повернення до перериваної програми

Повернення до перериваної програми полягає у відновленні стану цієї програми, в якому вона була в момент переривання і який був збережений в момент входу в переривальну програму.

Інформація про біжучий стан перериваної програми ділиться на дві частини:

- основну, яка повинна запам'ятовуватись завжди при вході в переривальну програму;
- додаткову інформацію, необхідність запам'ятовування якої залежить від змісту переривальної програми.

До складу першої частини інформації про біжучий стан перериваної програми належать:

- вміст лічильника команд;
- стан тригера роботи комп'ютера (робота/зупинка);
- маска переривання;
- код переривання – двійковий номер джерела переривання;
- вміст регістрів захисту пам'яті.

Перераховані дані компонуються в так званий вектор переривання, який займає декілька комірок основної пам'яті.

В деяких комп'ютерах, наприклад в системі IBM 370, для збереження вектора переривання використовується регістр слова стану програми РгССП. В ньому зберігаються код переривання, маска переривання та інша важлива інформація. Початкова частина переривальної програми проводить запам'ятовування ССП перериваної програми і встановлює ССП переривальної програми. Заклучна частина переривальної програми відновлює ССП перериваної програми. Під час заміни ССП будь-яке нове переривання забороняється.

До складу другої частини інформації про біжучий стан перериваної програми належать вміст індексних та інших програмно доступних регістрів. В більшості випадків сам програміст визначає, що тут необхідно зберігати.

11.5.6. Введення-виведення за перериваннями

При програмно-керованому введенні-виведенні процесор чекає, коли зовнішній пристрій буде готовий до обміну. В цей час він не зайнятий роботою. Інший підхід – процесор постійно працює, а при необхідності введення-виведення з пристрою введення-виведення до нього по спеціальній лінії поступає запит переривання. Це і є введення-виведення за перериваннями, реалізація якого покладена на систему переривання програм, описану вище. Тому організація введення-виведення за перериваннями не відрізняється від виконання інших програм, які виконуються в комп'ютері з діянням системи переривання програм.

Коли поступає переривання від зовнішнього пристрою, процесор припиняє виконання поточної перериваної програми і переходить до програми обслуговування цього переривання, тобто до переривальної програми, наприклад, це може бути програма друкування, як це показано на рис. 11.12.



Рис. 11.12. Обслуговування переривання підпрограми друкування

Якщо сигнал переривання поступав при виконанні $i-1$ команди перериваної програми, її виконання закінчується, запам'ятовується вміст програмного лічильника і процесор переходить до виконання переривальної програми друкування, після закінчення

якої знову загрузає в програмний лічильник раніше запам'ятоване значення, і продовжує виконання поточної перериваної програми.

Коли процесор приступає до обслуговування переривання, він повідомляє про це відповідний пристрій введення-виведення, який після цього знімає запит.

Введення-виведення за перериваннями можна представити як інверсію програмованого введення-виведення. Замість того, щоб процесор безупинно опитував приєднані до нього пристрої чи вони хочуть вводити інформацію, самі ці пристрої говорять процесору, коли вони мають дані для посилення. Процесор обслуговує інші задачі поки пристрій введення-виведення не виставить переривання. Про наявність переривання повідомляє відповідний прапорець в регістрі стану процесора, який називається прапорцем переривання.

Як тільки прапорець переривання встановлений, операційна система перериває виконання поточної програми, зберігаючи стан програми і її змінну інформацію. Система переривання вибирає адресний вектор, який указує на адресу службової програми введення-виведення. Після того, як процесор завершив обслуговування введення-виведення, він відновлює інформацію, яка була збережена від перерваної програми, і виконання програми поновлюється.

11.6. Прямий доступ до пам'яті

Для звільнення процесора від організації введення-виведення з синхронними пристроями введення-виведення, передача даних з яких здійснюється з частотою, незалежною від процесора і не зв'язаною з його частотою, використовується прямий доступ до пам'яті, коли передача блоків даних здійснюється прямо між пам'яттю і пристроями введення-виведення без участі процесора. Наприклад, магнітний диск не можна зупинити після записування символу.

В цьому випадку необхідний контролер прямого доступу до пам'яті, який керує взаємодією пам'яті та пристроїв введення-виведення без участі процесора.

На рис 11.13 показаний двоканальний контролер прямого доступу до пам'яті, який керує зв'язком основної пам'яті з дисковою пам'яттю і високошвидкісним принтером.

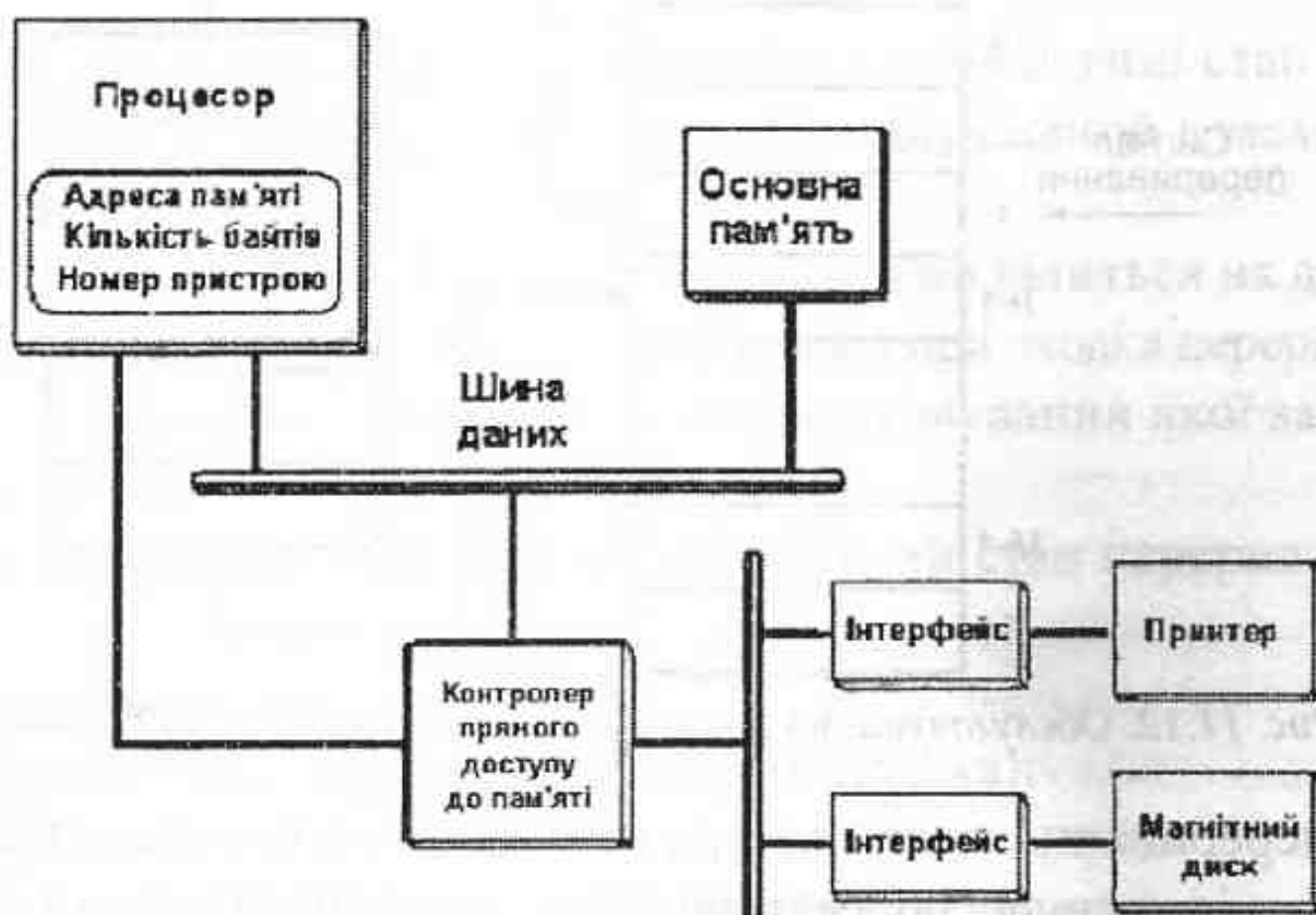


Рис. 11.13. Двоканальний контролер прямого доступу до пам'яті

До складу контролера входять:

- реєстр даних;
- реєстр адреси;
- лічильник слів;
- реєстр команд;
- реєстр станів;
- логіка керування.

Ці вузли мають свої адреси для засилання в них інформації з процесора. Кількість таких вузлів кратна кількості каналів.

Для початку передавання даних між пам'яттю і пристроєм введення-виведення в контролер записується наступна інформація:

- адреса пам'яті;
- кількість слів;
- адреса даних в пристрої введення-виведення (на диску);
- виконувана функція (запис/зчитування).

Ця інформація поступає в контролер з процесора. Коли передача закінчена, цей факт реєструється в реєстрі станів контролера. Тут також записується інформація про помилки при передачі даних. Після закінчення введення-виведення, чи при наявності помилки, система прямого доступу до пам'яті повідомляє про це процесор відповідним сигналом переривання.

Як це видно з рисунку, контролер прямого доступу до пам'яті та процесор розділяють шину пам'яті. Тільки один з них в той же час може мати контроль над шиною. Загалом, пристрої введення-виведення мають перевагу над процесором при взаємодії з пам'яттю, тому що багато пристроїв введення-виведення діють з суттєвими часовими обмеженнями. Якщо вони не проводять ніякої діяльності в межах вказаного періоду, вони припиняють роботу і переривають процес введення-виведення. Оскільки пересилання інформації від пристроїв введення-виведення здійснюється блоками не досить довгої тривалості, це не суттєво впливає на продуктивність процесора.

11.7. Введення-виведення під керуванням периферійних процесорів

11.7.1. Принципи введення-виведення під керуванням периферійних процесорів

Програмно-кероване введення-виведення передбачає передачу одного байта за один раз. Кероване перериваннями введення-виведення також може маніпулювати даними по одному байту за один раз або малими блоками, залежно від виду пристрою, що бере участь у введенні-виведенні. Повільніші пристрої, як наприклад клавіатура, генерують більшу кількість переривань відносно кількості переданих байтів, ніж диски або принтери. Методи прямого доступу до пам'яті є блочно-орієнтованими. Тут переривання роботи процесора відбувається лише після завершення (або помилки) передачі групи байтів. Після того, як система прямого доступу до пам'яті сигналізує про завершення введення-виведення, процесор може надати їй адресу наступного блоку пам'яті, для зчитуван-

ня або запису. У випадку невдачі, обов'язок по вживанню відповідних заходів лежить на процесорі. Тому, введення системи прямого доступу до пам'яті вимагає лише трохи меншої участі процесора, ніж при керованому перериваннями введенні-виведенні. Такі підходи до організації введення-виведення допустимі для малих систем, орієнтованих на одного користувача, проте, вони не є ефективними для великих систем, орієнтованих на багатьох користувачів, як наприклад, великі універсальні комп'ютери – мейнфрейми. Більшість мейнфреймів використовують інтелектуальний вид інтерфейсу прямого доступу до пам'яті, відомого як каналне введення-виведення.

При використанні каналного введення-виведення один або більше процесорів введення-виведення, які ще називають каналами, керують різними трактами введення-виведення. Тракти для "повільних" пристроїв, як, наприклад, термінали і принтери, можуть комбінуватися (мультиплексуватися), дозволяючи керування деякою кількістю цих пристроїв тільки одним процесором введення-виведення. В мейнфреймах фірми IBM процесор введення-виведення, який керує мультиплексованим каналним трактом, називають мультиплексним каналом (МПК). Канали для дисководів й інших "швидких" пристроїв називають селекторними каналами (СК).

Процесори введення-виведення оптимізують для організації виконання операцій введення-виведення. На відміну від схем прямого доступу до пам'яті, процесори введення-виведення мають здатність виконувати програми, які включають арифметично-логічні команди та команди переходу. На рис. 11.14 наведена спрощена конфігурація каналного введення-виведення.

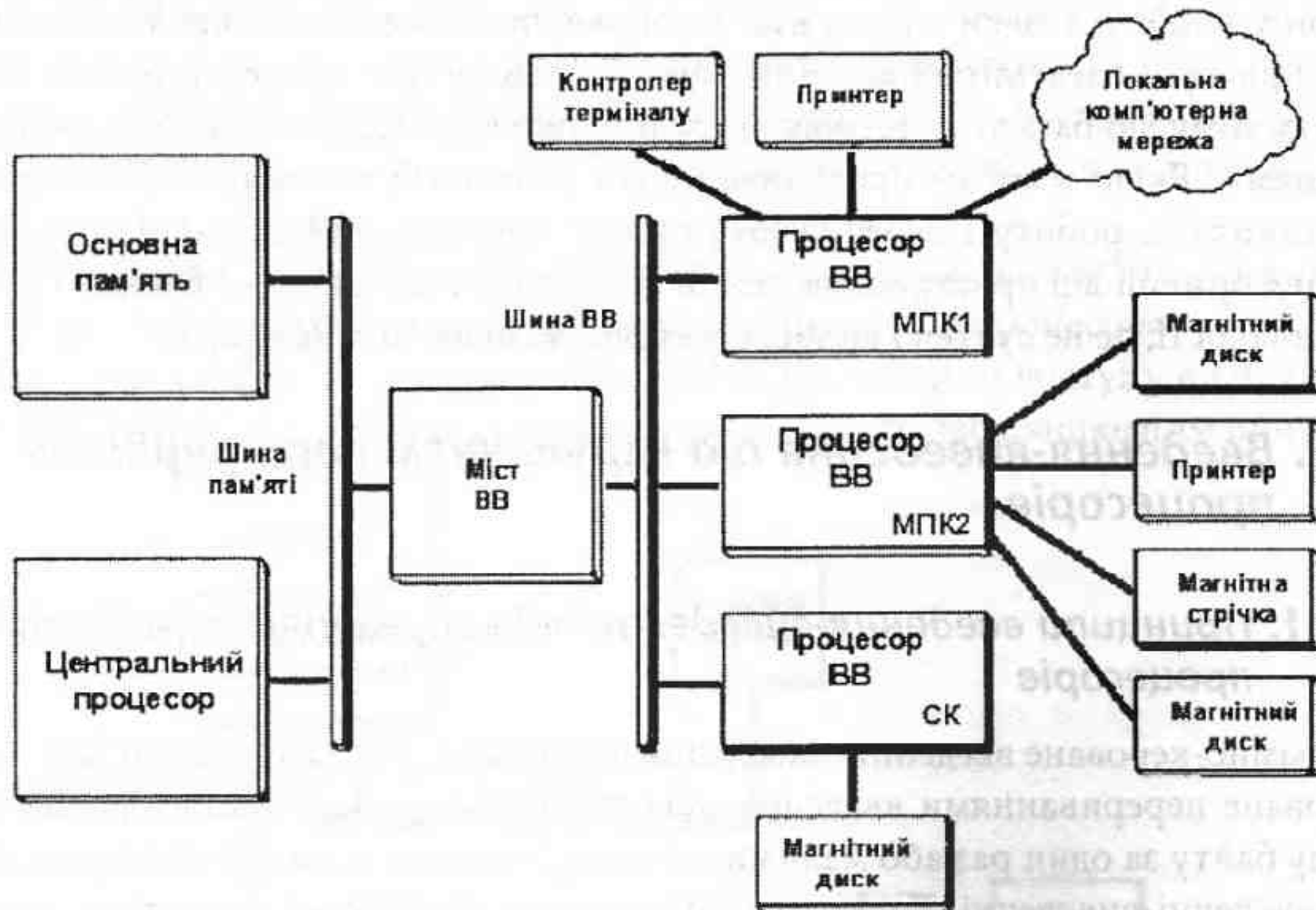


Рис. 11.14. Спрощена конфігурація каналного введення-виведення

Процесори введення-виведення виконують програми, які розміщені центральним процесором в основній пам'яті. Ці програми, складаючись з серій слів команд каналу, включають не тільки фактичні команди пересилання, але і команди, які керують при-

строями введення-виведення. Названі команди включають різні види ініціалізацій пристрою, відторгнення сторінки принтером, команди перемотування стрічки та інші. Як тільки програма введення-виведення була розміщена в пам'яті, процесор комп'ютера видає команду старту підканалу, інформуючи процесор введення-виведення про місце розташування програми в пам'яті. Після того, як процесор введення-виведення завершив свою роботу, він розміщує інформацію про завершення в пам'яті та відправляє переривання центральному процесору комп'ютера. Центральний процесор тоді одержує інформацію про завершення і вживає заходи по виходу з переривання.

Головна відмінність між автономним прямим доступом до пам'яті і каналним введенням-виведенням полягає в більш широких можливостях процесора введення-виведення. Процесор введення-виведення забезпечує дотримання протоколів, видає команди пристрою, транслює коди зовнішньої пам'яті до кодів основної пам'яті, і може перенести повні файли або групи файлів незалежно від центрального процесора. Центральному процесору комп'ютера належить лише створити команди програми для операцій введення-виведення і вказати процесору введення-виведення, де їх знайти.

Подібно до автономного прямого доступу до пам'яті, процесор введення-виведення повинен забрати від центрального процесора цикли звернення до пам'яті. На відміну від автономного прямого доступу до пам'яті, системи введення-виведення обладнані окремими шинами введення-виведення, які допомагають звільнити центральний процесор від виконання введення-виведення. Копіюючи файл з диску на стрічку, наприклад, процесор введення-виведення використовує системну шину пам'яті тільки для вибору його команд з основної пам'яті. Остання частина передачі проводиться використовуючи лише шину введення-виведення. Завдяки широким функціональним можливостям та шинній ізоляції, каналне введення-виведення використовується в середовищах діалогової високопродуктивної обробки запитів, де його вартість і складність можуть бути виправдані.

11.7.2. Причини застосування каналів введення-виведення

Поява каналів введення-виведення викликана необхідністю:

- створення комп'ютерних систем із змінним складом обладнання;
- забезпечення паралельної роботи пристроїв введення-виведення по відношенню до інших пристроїв введення-виведення і до процесора;
- уніфікація програмування введення-виведення;
- забезпечення реакції обчислювальних засобів на багатоманітність ситуацій, які виникають в пристроях введення-виведення (готовність, збій і т. п.);
- узгодження швидкості роботи процесора і пристроїв введення-виведення;
- розвантаження процесора від виконання функцій керування обміном.

Канал (пристрій обміну, процесор введення-виведення) – спеціальний уніфікований пристрій керування вводом-виводом, який забезпечує обмін інформацією між ядром комп'ютера (процесором і основною пам'яттю), та периферійними пристроями з здійсненням паралельної роботи змінного набору периферійних пристроїв різних типів.

При цьому в комп'ютері повинні бути уніфіковані шини, схеми підключення, сигнали та алгоритми керування обміном, формат і множина команд процесора.

11.7.3. Функції каналів введення-виведення

Функції каналів введення-виведення залежать від типу комп'ютера. В великих комп'ютерних системах канал – самостійний в логічному відношенні пристрій, який працює за відповідною програмою. Він звільняє процесор від багатьох допоміжних операцій введення-виведення. Функції каналів у наведеному на рис. 11.15 форматі керуючого слова (КС) каналу.

КОП	ВЛК	ВЛД	ВПІ	ВПКП	ПА	N
-----	-----	-----	-----	------	----	---

Рис. 11.15. Формат керуючого слова каналу

До функцій каналів введення-виведення належать наступні:

1. Визначення типу операції введення-виведення. Тип операції введення-виведення задається кодом операції КОП.

2. Організація ланцюга операцій. Ланцюг операцій – це послідовність КС, кожне з яких описує нову операцію введення-виведення над новим масивом інформації. Для організації ланцюга операцій до складу КС вводять розряд вказівника ланцюга операцій ВЛО. Якщо ВЛО = 1, то після виконання КС вибирається нове КС, якщо ВЛО = 0, то дане КС є останнім в ланцюгу.

3. Визначення області пам'яті. Область пам'яті задається початковою адресою ПА і розміром області N, тобто кількістю слів, починаючи від початкового слова.

4. Організація ланцюга даних. Ланцюг даних організується при роботі з масивами даних. Ланцюг даних – це послідовність з декількох КС. Після закінчення введення-виведення одного масиву даних, канал переходить до іншого КС. Для керування ланцюгом даних використовується двійковий розряд – вказівник ланцюга даних ВЛД, який приймає одне з двох значень – 0 або 1. Якщо вказівник ланцюга рівний 1, то канал вибирає з пам'яті наступне КС, якщо вказівник ланцюга рівний 0, то операція закінчується.

5. Забезпечення пропуску інформації. Записуються/зчитуються окремі частини масиву та пропускаються дані, які не є потрібними в конкретному випадку. Для реалізації пропуску інформації в керуюче слово каналу вводиться розряд вказівника пропуску інформації ВПІ. Якщо ВПІ = 0, то виконується КС, якщо ВПІ = 1, то запис/зчитування не проводиться, лише підраховуються дані.

Утворення ланцюгів даних і операцій можна комбінувати. В загальному випадку ланцюг КС – це програма каналу.

6. Організація переривання введення-виведення.

Канал інформує центральний процесор про хід введення-виведення, посилаючи запити переривання. Два основних види переривань – програмно-кероване переривання і переривання, яке викликане закінченням введення-виведення. На наявність програмно-керованого переривання вказує відповідний розряд в КС, який називають вказівником програмно-керованого переривання ВПКП. Якщо ВПКП = 1, то апаратура каналу формує запит переривання, виконуючи одночасно поточну операцію введення-виведення. Переривання, зв'язані з закінченням введення-виведення, формуються, якщо виконані всі операції в ланцюгу КС, або виявлені помилки.

11.7.4. Керуюча інформація каналу введення-виведення

Існує 4 види керуючої інформації каналу введення-виведення: команди центрального процесора, керуюче слово каналу, накази периферійним пристроям та коди стану периферійних пристроїв і каналів. На рис. 11.16 наведено закріплення керуючої інформації каналу за пристроями комп'ютера.



Рис. 11.16. Керуюча інформація каналу

Команди введення-виведення керують роботою центрального процесора. Послідовність команд введення-виведення – це програма центрального процесора по введенню-виведенню інформації. Формат команди введення-виведення наведено на рис. 11.17.

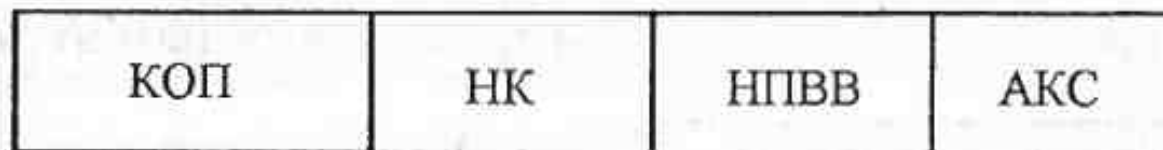


Рис. 11.17. Формат команди введення-виведення

До складу команди центрального процесора входять наступні поля: КОП – поле коду операції, яке задає операції запуску введення-виведення, припинення введення-виведення, опит стану каналу, опит стану пристрою введення-виведення; поле номера каналу НК; поле номера пристрою введення-виведення НПВВ; поле адреси керуючого слова каналу АКС.

Код операції керуючого слова каналу, який наведено на рис. 11.15, задає операцію введення інформації в основну пам'ять; операцію зчитування інформації з основної пам'яті в периферійний пристрій, опит стану периферійного пристрою, операцію видачі в периферійний пристрій наказу типу "перехід в каналі".

Наказ – це частина КС (або код, який адресується КС) – код, який приймається з каналу і виконується периферійним пристроєм. Наказ містить інформацію, специфічну для даного периферійного пристрою (магнітного диску, магнітної стрічки, оптичної пам'яті, давача і т. д.).

Коди стану інформують центральний процесор про стан каналу та периферійного пристрою (справність, готовність і т. д.).

11.7.5. Мультиплексний та селекторний канали введення-виведення

За здатністю до одночасного обслуговування декількох периферійних пристроїв розрізняють два види каналів: мультиплексний і селекторний.

Мультиплексний канал дозволяє одночасно обслуговувати декілька паралельно працюючих периферійних пристроїв. Кожний периферійний пристрій працює з каналом в визначений сеанс зв'язку. Для різних периферійних пристроїв існують свої пріоритети. Тому при одночасному запиті на обслуговування може бути черга. Звідси зрозуміло, що

мультиплексний канал призначений для роботи з повільними пристроями без втрати інформації.

Апаратні засоби мультиплексного каналу можна розділити на дві частини. До першої частини належать апаратні засоби, призначені для обслуговування окремих периферійних пристроїв. Ці засоби називають підканалом. До другої частини належать апаратні засоби, загальні для всіх периферійних пристроїв, які розділяються між ними в часі. Кількість підканалів визначає максимальна кількість одночасно працюючих периферійних пристроїв.

В цілому мультиплексний канал – це процесор з усіма властивими йому елементами. Тобто до його складу входять пристрій керування, АЛП, набір регістрів та швидка оперативна пам'ять. При цьому пам'ять мультиплексного каналу ділиться на підканали (рис. 11.18). Підканал це – пам'ять, що зберігає команди введення-виведення та дані для окремих периферійних пристроїв. Загальні апаратні засоби (обладнання) – це всі інші засоби процесора. До загальних засобів належать пристрій керування та регістри мультиплексного каналу, до яких належать наступні: регістр номера підканалу, регістр команди введення-виведення, регістр керуючого слова, регістр адреси керуючого слова, регістри зв'язку з периферійними пристроями та основною пам'яттю, лічильник слів.



Рис. 11.18. Мультиплексний канал

В мультиплексному каналі може бути можливість монопольного обслуговування одного периферійного пристрою. В цьому режимі один з підканалів повністю займає канал. Це дозволяє підключити до мультиплексного каналу швидкодіючі периферійні пристрої.

Селекторний канал призначений для монопольного обслуговування одного периферійного пристрою. Він обслуговує швидкодіючі пристрої. Фактично селекторний канал має один підканал. Тому він є простішим, ніж мультиплексний канал. До його складу входять, крім пам'яті, пристрій керування та регістри, до яких належать наступні: регістр номера периферійного пристрою, регістр команди введення-виведення, регістр керуючого слова, регістр адреси керуючого слова, регістри зв'язку з периферійними пристроями та основною пам'яттю, лічильник слів.

В мейнфреймах зазвичай є один мультиплексний та кілька селекторних каналів, причому кількість підканалів в мультиплексному каналі рівна 256 і більше.

Залежно від фізичної реалізації канали ділять на автономні і вбудовані. Вбудований канал не має власних апаратних засобів і реалізує свої функції за допомогою апаратних засобів процесора. Виділяється тільки вузол зв'язку з периферійними пристроями. Вбудовані канали діляться на канали з затриманим і негайним доступом. Канал з затриманим доступом виконує зв'язок з периферійним пристроєм тільки в проміжках між командами процесора. З негайним – між мікроопераціями процесора. В цьому випадку необхідно зберігати вміст регістрів процесора.

11.8. Короткий зміст розділу

Пристрої введення-виведення призначені для введення інформації в комп'ютер та виведення інформації з комп'ютера. Існує широкий спектр пристроїв введення-виведення, зокрема клавіатура, цифрова відеокамера, сенсорні екрани, світлове перо, мишка, аналогові пристрої з цифровим входом та виходом, електронно-променева трубка, рідкокристалічний дисплей, принтер та інші.

Оскільки в комп'ютері може бути багато пристроїв введення-виведення, при зверненні до них, їх потрібно розпізнати. Спосіб розпізнавання залежить від способу їх підключення до процесора. В розділі наведено пояснення способів розпізнавання пристроїв введення-виведення з використанням шини введення-виведення, лінії активації та скритого пам'яттю введення-виведення. Подана схема та описані функції інтерфейсної схеми пристроїв введення-виведення.

Наведено чотири загальних методи керування введенням-виведенням та пояснена суть, переваги та недоліки програмно керованого введення-виведення.

Оскільки важливою складовою частиною засобів керування введенням-виведенням є система переривання програм, яка призначена для реакції на програмно-незалежні події, в розділі наведений її детальний опис. Переривання програм – це властивість комп'ютера тимчасово переривати виконання біжучої програми при виконанні деяких подій і передавати керування програмі, яка спеціально передбачена для даної події. Введено основні поняття та характеристики системи переривання програм: запити переривання, переривальні програми, переривані програми, час реакції, час обслуговування переривання, глибина переривання. Розглянуті програмно-апаратні засоби, які забезпечують визначення допустимого моменту переривання і початкової адреси переривальної програми при поступленні запиту переривання, а для забезпечення повернення до перериваної програми забезпечують збереження вмісту елементів пам'яті комп'ютера в момент її переривання, та, після завершення виконання переривальної команди, відновлюють цей вміст та надають комп'ютеру можливість продовжити виконання перериваної програми.

Описаний прямий доступ до пам'яті, його переваги та недоліки, та описана організація введення-виведення під керуванням периферійних процесорів (каналів). Наведені причини появи каналів введення-виведення, їх функції, керуюча інформація каналів введення-виведення. Описані функції та склад селекторного та мультиплексного каналів.

11.9. Література для подальшого читання

Питанням організації введення-виведення інформації присвячена значна кількість літератури. В першу чергу слід назвати навчальну літературу, зокрема підручники з архітектури комп'ютера [1-8]. Крім того, ці питання відображені в великій кількості спеціальної літератури, де описані серійні комп'ютери різних фірм-виробників, яку можна знайти на веб-сторінках цих фірм.

11.10. Література до розділу 11

1. Каган Б. М. Электронные вычислительные машины и системы. – М.: Энергия, 1979. – 528 с
2. Каган Б. М., Каневский М. М. Цифровые вычислительные машины и системы. – М.: Энергия, 1974. – 680 с
3. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2000. – 528 с
4. Справочник по цифровой вычислительной технике. Б. Н. Малиновский и др. – К.: Техніка, 1980. – 320 с
5. D. Patterson, J. Hennessy. Computer Architecture. A Quantitative Approach. Morgan Kaufmann Publishers, Inc. 1996.
6. Patterson, D. A., & Hennessy, J. L. *Computer Organization and Design, The Hardware/Software Interface*, 2nd ed, San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1997.
7. Stallings, W. *Computer Organization and Architecture*, 5th ed., New York, NY: Macmillan Publishing Company, 2000.
8. Tanenbaum, Andrew. *Structured Computer Organization*, 4th ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

11.11. Питання до розділу 11

1. Назвіть пристрої введення інформації в комп'ютер
2. Назвіть пристрої виведення інформації з комп'ютера
- 3.
- 4.
5. Поясніть спосіб розпізнавання пристроїв введення-виведення з використанням шини введення-виведення
6. Поясніть спосіб розпізнавання пристроїв введення-виведення з використанням лінії активації
7. Поясніть суть скритого пам'яттю введення-виведення
8. Наведіть схему та назвіть функції інтерфейсної схеми пристроїв введення-виведення
9. Які є чотири загальних методи керування введенням-виведенням?
10. Поясніть суть, переваги та недоліки програмно-керованого введення-виведення
11. Поясніть суть, переваги та недоліки керованого перериваннями введення-виведення
12. Які події належать до програмно незалежних?
13. Які події належать до програмно залежних?
14. Як комп'ютер реагує на програмно визначені події?
15. Як комп'ютер реагує на програмно незалежні події?
16. Для чого є в комп'ютері система переривання програм?
17. Як називають сигнали, які сповіщають про появу програмно незалежних подій?
18. Як називають програми, на виконання яких є запити?
19. Як називають програми, які виконувались до появи запитів?

20. Наведіть часову діаграму процесу переривання.
21. Наведіть основні характеристики системи переривання програм.
22. Назвіть способи визначення допустимого моменту переривання.
23. Для чого і як визначається початкова адреса переривальної програми?
24. Назвіть способи визначення початкової адреси переривальної програми.
25. Як працює пристрій фіксування запитів переривання та формування початкової адреси переривальної програми?
26. Для чого до складу системи переривання програм вводиться тригер блокування переривання?
27. Де фіксуються переривання?
28. Для чого потрібно встановлювати порядок обслуговування запитів переривання?
29. Для чого потрібний пріоритет між запитами переривань?
30. Для чого потрібний пріоритет між переривальними програмами?
31. Що таке маска переривань та як вона використовується?
32. В чому полягає повернення до перериваної програми?
33. Поясніть суть, переваги та недоліки прямого доступу до пам'яті.
34. Поясніть суть, переваги та недоліки введення-виведення під керуванням периферійних процесорів (каналів).
35. Що таке канал введення-виведення?
36. Які причини появи каналів введення-виведення?
37. Назвіть функції каналів введення-виведення.
38. Керуюча інформація каналів введення-виведення?
39. Назвіть функції та склад селекторного та мультиплексного каналів.
40. Яка різниця між автономними та вбудованими каналами?