

## Глава четвърта

### Организация на системната памет

#### 4.1. Йерархия на паметта в КС

Системната памет обединява всички видове запомнящи устройства (ЗУ), използвани в една КС за съхраняване на цялата необходима информация. Това са както потребителските програми и обработваните данни, така и всички елементи на операционната система (ОС), системни програми, библиотеки и различни управляващи програми. Съхраняването на тези информационни ресурси се извършва в различни по тип и предназначение памет, които имат следните основни функционални характеристики:

- **Бърздействие** – определя се от общото време за доставяне на информацията по предназначение. Това време включва времето за достъп до мястото на съхраняване, осъществяване на самата операция (запис или четене) и времето за прехвърляне на тази информация по шината за данни. При едни памет, някои от тези компоненти са пренебрежимо малки, при други – големи.

- **Капацитет** – максимален брой информационни единици, които могат да се съхраняват в дадена памет. Прието е измерването да става в основната адресируема единица – байт (килобайт - KB, мегабайт – MB, гигабайт – GB) или в основната организационна единица – дума (W).

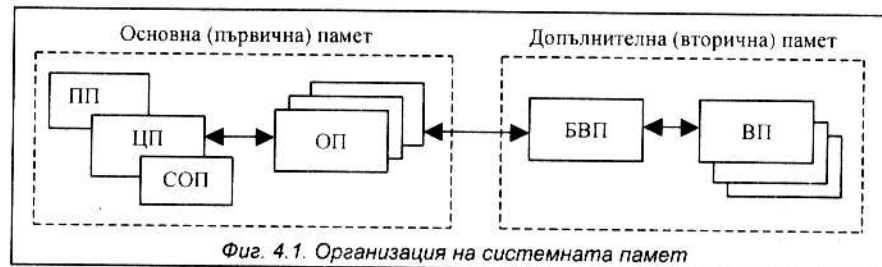
- **Плътност** – количество информация, която може да се запише на единица площ или обем от паметта. Изразява технологичната страна на процеса на записване и възможностите за съхраняване на повече информация на по-малка площ от запомнящата среда.

- **Метод за достъп** – начин, по който се осъществява достигане до мястото на съхраняване на дадена информация в конкретна памет.

В зависимост от конкретните параметри по тези основни характеристики, различните памет намират своето място в общата системна памет, като се оформят йерархични нива. Въвеждането на йерархия в паметта е свързано с отношението на централния процесор към нея и организацията на процесорния достъп до информацията. Така се оформят две основни групи (фиг. 4.1), които са:

- **основна (първична) памет**, с която процесорът може да работи директно и служи за съхраняване на всички изпълнявани програми,

обработваните от тях данни и необходимите за управление на изчислителните процеси системни програми и микропрограмно осигуряване;  
- **допълнителна (вторична) памет**, която съдържа голям обем информация, но за нейното използване от процесора е необходимо да бъде прехвърлена в основната памет.



Дефинирането на двете нива е свързано и с различните стойности за основните характеристики. Целта на **първичната памет** е да осигурява изчислителния процес и компютърната обработка в процесора, което поставя изискването за достатъчно високо бърздействие, съвместимо с процесорното. Известно е, че изискванията за бърздействие са в конфликт с желанието за по-голям капацитет. С най-високо бърздействие са **регистровите памет**, т.е. група от регистри, с които процесорът работи директно. Такава памет поддържа бърздействие, аналогично на процесорното, но по технологични съображения има ограничен капацитет. Към групата могат да се включат **буферните памет** и **свърхоперативните памет** (СОП), които имат интегрално изпълнение подобно на процесорното. С развитието на технологиите ролята на кеш-паметите (cache) при поддържане на компютърната обработка значително нараства. Архитектурата на 32-разрядните микропроцесори (IA-32) предвижда вградена кеш-памет в самата микропроцесорна схема.

Поради ограничения капацитет на бързодействащата СОП (кеш-памет), в първичната памет се включва и **оперативна памет (ОП)**, която е с полупроводникова реализация (съвкупност от интегрални схеми с определен капацитет). В нея се съхранява цялото количество служебна и потребителска информация, необходима за работата на КС (и в частност на процесора). Тази памет има по-малко бърздействие, което ограничава и това на процесорните операции при работа с нея. Затова се предпочита прехвърляне на информацията от ОП в кеш-паметта преди нейното използване.

В състава на основната (първичната) памет влиза и **постоянна памет (ПП)**, в която се съхранява необходимото микропрограмно осигуряване – всички микроинструкции за реализация на управлението. Нейната

реализация е също полупроводникова, аналогична на тази на ОП. За увеличаване на бързодействието в съвременните процесори се използват подходи за въвеждане на еднотактови процесорни операции или конвейеризация на микроинструкциите.

При **вторичната (допълнителната) памет** целта е съхраняване на възможно най-висок обем информация за по-дълго време, включително архивиране. Това определя и основния стремеж – засилено внимание върху капацитета с приоритет пред бързодействието. Това не означава, че на последната характеристика не се обръща внимание. В съвременните КС доста традиционни масови памет (за съхраняване на голям обем информация) отстъпиха място на нови, по-перспективни в технологично отношение памет. Например, много разпространените в близкото минало ЗУ с магнитна лента вече не са основна част от системната памет. За сметка на това се появиха оптични и холограмни памет, които позволяват много по-висока плътност на записа.

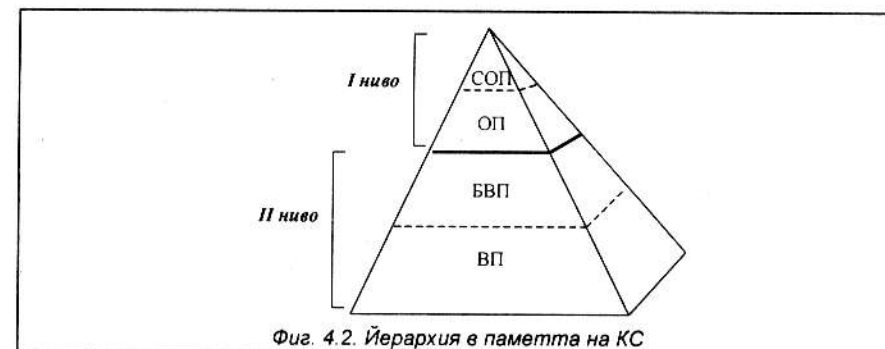
Основен елемент на вторичната памет е **буферната външна памет (БВП)**, която се изгражда от магнитен диск и е сравнително бързодействаща спрямо останалите **външни памет (ВП)**. Последните могат да бъдат ЗУ с различни информационни носители – магнитен, оптичен и др. За тези ЗУ е характерно, че носителите са сменяеми и преносими (например, компактен диск – CD) и позволяват трайно съхраняване (архивиране). Достъпът до ВП изисква повече време в сравнение с този до БВП.

БВП съхранява по-често използваната от процесора информация, т.е. тази, която с по-висока вероятност може да бъде прехвърляна в ОП. Пример за такава памет е твърдият диск в микрокомпютрите.

Трябва да се отбележи, че прехвърлянето на информацията между двете йерархични нива – първичната и вторичната памет, се извършва от посредник, специализиран за работа с външните устройства. Обикновено това е специализиран канален процесор (КП), който заменя централния процесор (ЦП) при връзка с периферията. В микрокомпютрите ролята на такъв посредник се изпълнява от канални (драйверни) програми, които са част от информацията в управляващата памет (постоянната памет).

Въведената йерархия в системната памет регламентира достъпа на програмите до отделните нива и определя цялостната организация на запомнящото пространство. Тя може да се илюстрира като пирамидална структура (фиг.4.2) с нарастване на капацитета в посока към основата и с нарастване на бързодействието в посока към върха.

В състава на системната памет влизат различни ЗУ, които могат да се класифицират по няколко признака.



Фиг. 4.2. Йерархия в паметта на КС

- **По метод на достъп.** Това е начинът, по който съответното устройство за извършване на самата операция по запис или четене се премества до мястото върху информационния носител, на което ще се извърши тя. Паметите се разделят на:

- а) **памет с произволен достъп** – времето за достъп  $t_d$  не зависи от разположението на информацията върху носителя ( $t_d = \text{const}$ ) и се определя само от технологията на изработване – напр., полупроводникови памет;

- б) **памет с последователен достъп** – за достигане до дадено място от информационния носител е необходимо да се премине през всички позиции между текущото положение на устройството за запис/четене и търсената информация; така времето за достъп се явява функция от разстоянието  $L$ , т.е.  $t_d = f(L)$ ;

- в) **памет с цикличен достъп** – движението на информационния носител е такова, че една и съща позиция от него периодически се преминава под устройството за запис/четене (ротационно движение); ако пълното завъртане на дадена позиция става за време  $t^*$ , то времето за достъп винаги ще е по-малко от него, т.е.  $0 \leq t_d \leq t^*$ , като ще зависи от текущото разположение.

- **По начина на търсене на информацията,** паметите се разделят на:

- а) **адресируеми памет** – търсенето на информацията се осъществява по зададен адрес на нейното разположение върху носителя на ЗУ; така се оформя адресно пространство, което характеризира капацитета на съответната памет;

- б) **асоциативни памет** – информацията се търси по част от нейното съдържание (асоциативен признак), като се извършва паралелно сравняване на указаното поле за всички записи (думи) в запомнящата среда.

При използване на паметите се разграничават два аспекта на представяне на информацията върху носителя – логически и физически.

Логическият аспект на паметта характеризира потребителския "поглед" на организацията на информацията върху носител (напр., двумерен масив или вектор, файл с определен метод на достъп до данните, организация на списъчни структури и пр.). Тази организация определя алгоритмичния достъп на приложенията до данните като общо управлявана информационна среда.

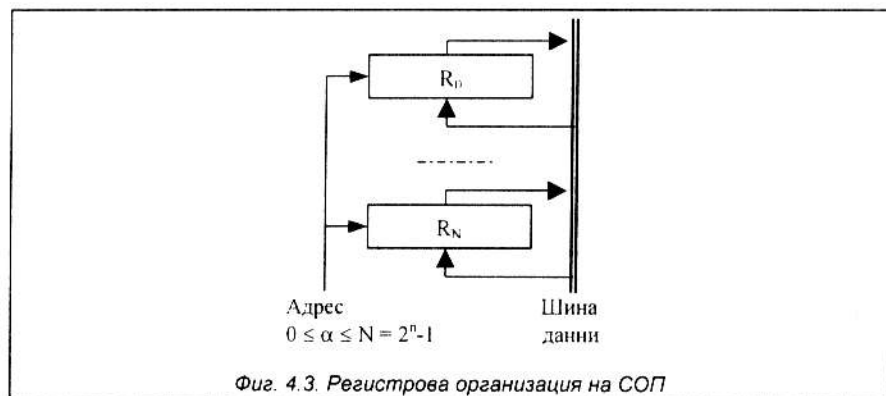
Физическият аспект на паметта отразява реалната организация на данните върху използвания в ЗУ информационен носител и дефинира еднозначно правило за преобразуване на конкретен логически модел на данните (напр., двумерен масив) в последователност от адресируеми клетки (в ОП) или записи (във ВП).

## 4.2. Организация на основната памет

### 4.2.1. Свърхоперативна и буферна памет

При съвременното развитие на компютърните технологии двете понятия – свърхоперативна и буферна памет, все повече се покриват във функционалното си предназначение. И двете имат основна задача да осигурят бързодействие при достъп до информацията, съгласувано с това на процесора. Въпреки това, независимо от препокриването, може да се определи известна разлика и тя е в начина на достъп до данните – с формиране на адрес или автоматичен избор.

**Свърхоперативната памет (СОП)** или още кеш-паметта (cache), е предназначена за временно съхраняване на информацията (данни, инструкции, адреси) в ЦП и има много високо бързодействие. Традиционният начин на изпълнение е като регистрова памет с директна адресация (фиг. 4.3).



Съхранява необходимата за работата на ЦП информация за няколко последователни стъпки от алгоритъма на изчислението. Логически мястото на СОП е между ЦП и по-бавната ОП, като капацитетът ѝ обикновено е няколко процента от този на ОП. В процеса на работа отделни информационни блокове се копират от ОП в СОП (кеширане). Когато ЦП търси инструкция или операнд, първо се проверява кеш-паметта. При наличие, тази информация се извлича бързо, което става с тактовата честота на процесора. Ако отсъства в кеш-паметта, необходимата информация се извлича от ОП и едновременно се копира в кеш-паметта.

Очевидно е, че за повишаване на общото бързодействие е желателно търсените данни да се намират в кеш-паметта. Осигуряване на това е основната цел на кеш-паметта, като ефективността на концепцията се осигурява от два принципа, установени статистически:

- пространствена близост, определяща голяма вероятност за използване на съседно разположени в паметта данни в последователни моменти от изчислението;
- времева близост, свързана с това, че в последователни моменти от изчислението се обработват едни и същи данни (например, при цикли, рекурсивни алгоритми и др.).

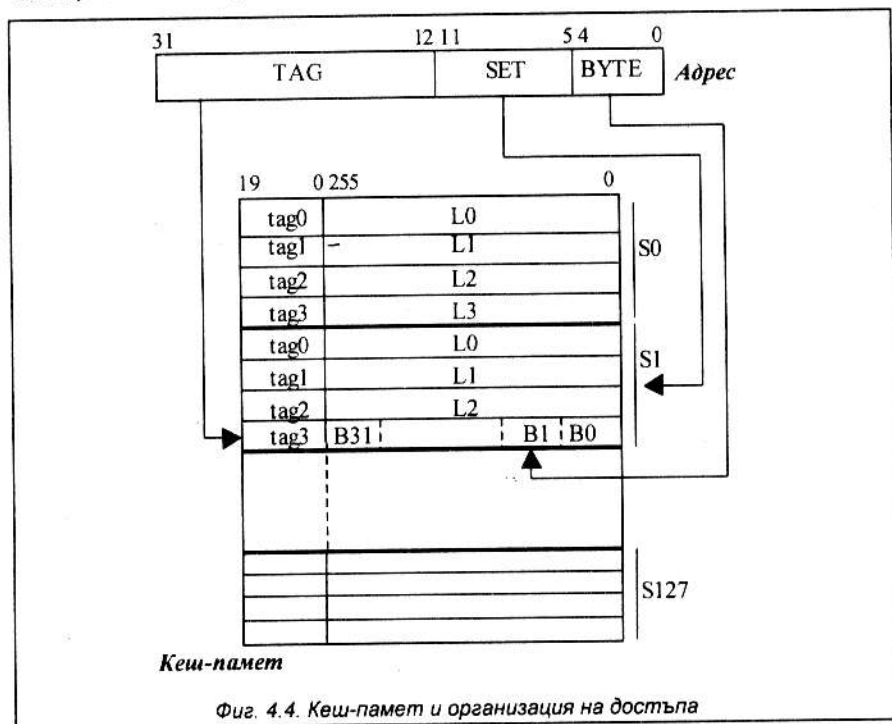
С развитие на технологиите концепцията за кеш-паметта значително се усъвършенства по отношение на методите за достъп до данните и нарастване на капацитета. В съвременните микропроцесори се вграждат вътрешни кеш-паметти с неголям капацитет (напр., при i486 – 8 KB, при Pentium – 2 x 8KB), но добре оптимизирани. Те позволяват да се елиминира голяма част от състоянията на изчакване (около 90%). Тяхната ефективност доведе до въвеждане и на външна кеш-памет (кеш-памет от второ ниво), която е извън процесора. За микропроцесорите Pentium като минимален капацитет на тази памет се определя 512 KB.

При организацията на кеш-паметите се прилагат два подхода – директно отражение (Direct Mapped) и асоциативна памет (Associative Cache).

При *директното отражение* всяка зона от ОП разполага със съответстващо място в кеш-паметта, което позволява търсените данни от дадена зона да бъдат лесно открити. Недостатъкът е, че при голям брой операции за четене или запис в ограничено пространство от паметта е възможно препълване на СОП.

При *асоциативната организация* на кеш-паметта търсенето се осъществява по част от самата информация на базата на паралелно сравнение между задаван асоциативен признак и едноименните полета от думи в запомнящата среда. Този подход позволява да се избегне препълването, но по-трудно се открива информация в повече от една зони

на ОП. Тъй като по-често се срещат операции (инструкции), които работят с последователно съхранени в ОП данни в една и съща зона, този метод се смята за по-ефективен. Такава е и организацията на кеш-паметта в микропроцесорите от фамилията P6 на Intel (фиг.4.4). Вътрешната кеш-памет е с капацитет по 16 KB отделно за съхраняване на данни и на инструкции. Допълнително (в корпуса на процесора) е реализирана самостоятелна външна кеш-памет (от второ ниво), също съгласувана по бързодействие с процесора. За различните МП от фамилията P6 нейният капацитет е 256 KB, 512 KB или 1 MB.



Фиг. 4.4. Кеш-памет и организация на достъпа

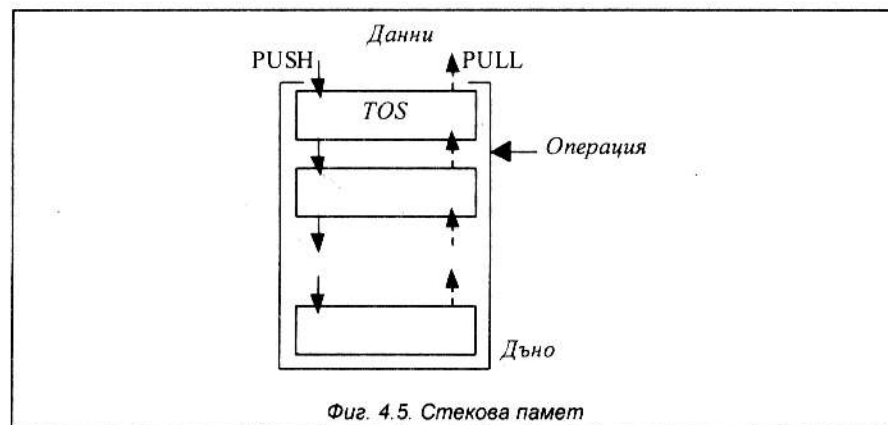
Кеш-паметта на процесорите P6 е от модифициран асоциативен тип и се състои от редове с дължина по 32 байта. В кеш-паметта за инструкции редовете са обединени по четворки (L0, L1, L2, L3) в 128 групи (S0, S1, ..., S127). В кеш-паметта за данни групите са 256 (S0, ..., S255) с по два реда (L0, L1). Външната кеш-памет е обща за данни и инструкции и групите са по четири реда.

Адресирането е чрез 32-разряден адрес, включващ три полета - TAG, SET, BYTE. Полето SET определя номер на една от групите Sj, след което съдържанието на полето TAG се сравнява с полетата tag0=tag3 за

избраната група. При откриване на съвпадение с някое поле се фиксира наличие на търсената информация в кеш-паметта и по съдържанието на поле BYTE се извлича необходимият операнд.

Ако съвпадение по TAG не се открие, това означава, че търсената информация не е в кеш-паметта и трябва да се осъществи достъп до ОП, което става по адресните полета TAG/SET, т.е. адрес A[31÷5]. От ОП се извлича нов ред от 32 байта, който се копира като ред в кеш-паметта в избраната по поле SET група. Съдържанието на поле TAG от адреса се записва в поле tag и става атрибут на новия ред.

**Буферните памет** са безадресни памет, които изпълняват аналогична роля, но с автоматично формиране на адреса на данните. Типичен пример е *стековата памет* (фиг.4.5.), при която операциите запис и четене се осъществяват само с клетката, която е връх на стека (TOS – Top Of Stack). Съдържанието на TOS се променя автоматично след всяка операция: при запис (PUSH) всички данни се преместват "навътре", а на върха TOS се записва новата дума; при четене (PULL) – всички данни се преместват "нагоре", като "изтласкват" съдържанието на клетката от върха TOS към шината за данни.



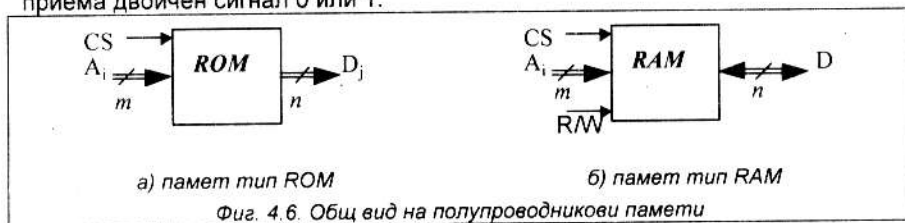
Фиг. 4.5. Стекова памет

#### 4.2.2. Полупроводникови постоянни и оперативни памет

Полупроводниковите памет се изграждат на основата на тригерни схеми с подходящи интегрални технологии, които осигуряват необходимия капацитет и бързодействие. Разделят се на памет само за четене (ROM – Read Only Memory), наречени още постоянни памет и памет за запис и четене с произволен достъп до данните (RAM – Random Access Memory) за изграждане на оперативната памет на компютъра.



**Постоянните памети** от тип ROM (за разлика от другия тип) са енергонезависими, което ги прави удобни за трайно съхраняване на управляващи програми и микропрограми. Затова такава памет се нарича още управляваща памет. В нея информацията е записана предварително (при производителя или с програматор) и може да бъде използвана чрез адресиране. За целта е необходимо да бъде известно разположението на информацията в адресното пространство. Реализират се като отделни интегрални схеми с определен капацитет (фиг.4.6а), позволяващи свързването им в по-голяма постоянна памет. Всяка отделна схема притежава адресни входове  $A_i$  ( $0 \leq i \leq m-1$ ), чрез които се задава адрес за прочитане на група от  $n$  бита и информационни изходи за прочетените данни  $D_j$  ( $0 \leq j \leq n-1$ ). Такава организация позволява в една схема да се съхраняват ( $2^m \times n$ ) бита информация. За избор на определена схема се използва допълнителен управляващ вход CS (Chip Select), който може да приема двоичен сигнал 0 или 1.



**Оперативната памет** се изгражда от интегрални схеми тип RAM (фиг.4.6б), свързани така, че да се получи необходимия капацитет. RAM-схемите могат да бъдат статични (информацията се съхранява непрекъснато при наличие на захранване) и динамични (с времето информацията 'избледнява' и е необходимо динамично да се възстановява).

В структурно отношение RAM-схемите имат двупосочни информационни изходи  $D_j$  ( $0 \leq j \leq n-1$ ), позволяващи движение на данните в двете посоки (при запис и при четене). Това се осигурява от подходящо буфериране и съответно управление чрез допълнителния сигнал "четене/запис" (R/W – Read/Write), допълващ управлението по CS.

При организацията на оперативна памет се използват подходящи схеми тип RAM, които се свързват по определен начин по входове и/или по изходи. Обикновено управляващият вход CS също участва при формиране на адреса. Прост пример за свързване на RAM-схеми в обща ОП е показан на фиг.4.7, като в табл. 4.1 е дадено съответното разпределение на адресното пространство (карта на паметта). За примера е избрана схема с организация 1024x1bit. Това определя десет адресни линии ( $A_0, \dots, A_9$ ) за адресиране на всеки отделен бит в схема. При подаване на общ адрес към

осем свързани схеми може да бъде прочетен или записан 1 байт (8 бита), формиран на линиите  $D_0, D_1, \dots, D_7$ , например.

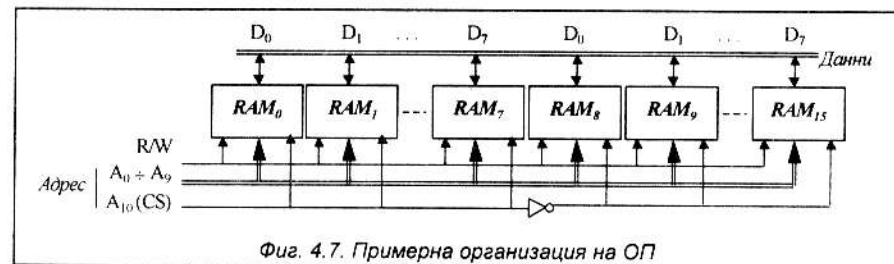


Таблица 4.1.

Байт								Адрес към ОП							
7	6	5	4	3	2	1	0	A <sub>10</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>8</sub>	...	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>		
RAM <sub>8</sub> + RAM <sub>15</sub> (общо 1 KB)								0	0	0	...	0	0	0	0
								0	0	0	...	0	1	0	1
								0	1	1	...	1	1	1	1
								1	0	0	...	0	0	0	0
RAM <sub>0</sub> + RAM <sub>7</sub> (общо 1 KB)								1	0	0	...	0	1	0	1
								1	1	1	...	1	1	1	1

Така дължината на прочетената дума може да се регулира чрез броя на свързаните към обща адресна шина входове ( $A_0-A_9$ ). За увеличаване на адресното пространство може да се използва вход CS (фиг.4.7), чрез който се управлява избора на част от конфигурираната ОП. В случая се формира памет от 2 KB с организация 2048 думи по 1 байт.

По аналогичен начин могат да се конфигурират постоянни и оперативни памет с различен капацитет и организация на адресируемите обекти (байт, дума, поле). За целта при формиране на адресирането могат да бъдат използвани и дешифраторни схеми, позволяващи значително разширяване на паметта, като изходите на дешифратора се подават към входовете CS на схемите-памет по начин, съобразен с общата организация.

В този смисъл, при организацията на основната (първичната) памет може да се оформи желаното адресно пространство, което се определя от размера на адресната шина и начина на формиране на физическия адрес. Това адресно пространство се разпределя между отделните области по

предназначение. При процесорите от Р6 се оперира с физическа памет с капацитет 64 гигабайта, като всеки байт има свой физически адрес от 00000000<sub>16</sub> до FFFFFFFF<sub>16</sub>. В тази памет могат да се съхраняват 8-разрядни байтове (B), 16-разрядни думи (W), 32-разрядни двойни думи (DW) и 64-разрядни четворни думи (FW). Думите заемат два съседни байта, а DW и FW – съответно по 4 и 8 съседни байта. При тази организация младшият байт се разполага в клетка с по-малък адрес. За адрес на думата се използва адресът на младшия байт.

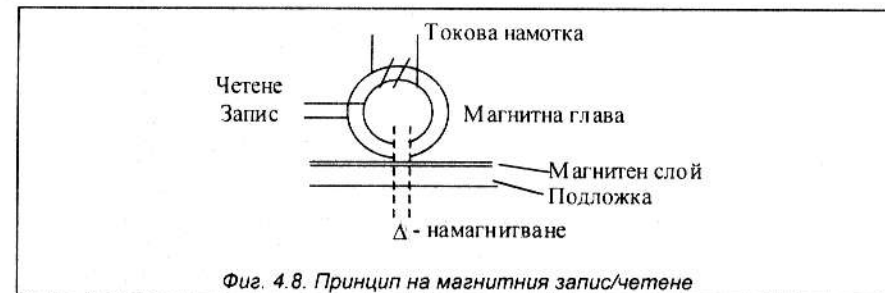
При организация на адресирането на такова голямо адресно пространство се използват два подхода – сегментна и странична организация на паметта. Съществуват компютри, при които е заложен само един от двата, но в съвременните КС най-често се комбинират и двата подхода. Например, при процесорите от Р6 формирането на даден адрес осигурява обръщане към избран сегмент, а той може да бъде разделен на страници, намиращи се в различни области от адресното пространство.

### 4.3. Външни памет

Вторичната (допълнителната) памет е предназначена за трайно съхраняване на големи по обем информационни ресурси. Организирана е от различни по вид външни запомнящи устройства (ВЗУ), затова се нарича външна памет. В зависимост от функционалното предназначение на дадена КС се определя необходимата структура и състав на нейната външна памет. Съставящите я ВЗУ се различават преди всичко по типа на информационния носител и от там – по начина за регистриране и прочитане на данните (обикновено в двоичен код). Като изключим остарелите вече хартиени носители на информация, по-долу ще бъдат разгледани външни памет, използващи два основни типа носители – магнитночувствителен и светлинночувствителен.

#### 4.3.1. Външни памет с магнитен носител

*Магнитният носител* е тънко магнитно покритие на носещия слой, който може да бъде оформен като лента, диск, барабан и пр. За регистрация (запис) и четене на двоична информация се използват физичните свойства на електромагнитното въздействие. Използва се магнитна глава с токова намотка около сърцевината (фиг.4.8). Чрез пропускане на ток през намотката в сърцевината се генерира магнитно поле, което създава намагнитено петно  $\Delta$  върху магнитния слой с различна посока на магнитните линии при запис на 1 или 0.



Фиг. 4.8. Принцип на магнитния запис/четене

При четене от магнитното поле върху носителя се възстановява съответния ток в намотката, което позволява да се определи двоичната информация 1 или 0.

Магнитните носители се оформят като гъвкав магнитен диск (дискета), твърд магнитен диск (диск), дискови пакети, касети, магнитни ленти. За да могат да се използват те се поставят в специално устройство за запис/четене, което е снабдено с подходяща магнитна глава и се управлява от специализирано УУ (контролер) и драйверна програма. Цялата система от устройство, носител и управление се нарича тракт и е съставна част от периферията на КС.

*Дисковите магнитни носители* съхраняват информацията по концентрични пътечки, които са разделени на сектори. Магнитната глава се движи по радиуса на дисковата повърхност като се позиционира върху избрана пътечка. След това се осъществява т.нар. цикличен достъп до паметта. Начинът, по който информацията се разполага върху пътечките, е уникален за отделните операционни системи и е свързан с т. нар. файлова система. Това е такава организация на дисковата повърхност, при която лесно могат да се разполагат и намират данните (файловете). Тази организация се задава чрез операцията "форматиране", при която се създава конфигурационна таблица (FAT – File Allocation Table) за разположението на информационните елементи. Разликата в дисковите магнитни носители и от там - в съответните дискови ЗУ, е в реализацията, а не в принципа на магнитния запис/четене. За увеличаване на капацитета и респективно трайността и достоверността на записаната информация, се използват твърди дискове, а при мощните КС и дискови пакети (обединяват няколко дискови повърхности в общо запомнящо пространство).

*Лентозите магнитни носители* са свързани с ВЗУ с последователен достъп. При тях са оформени успоредни пътечки, всяка обслужвана от собствена магнитна глава. Лентата се предвижда под блока от магнитни глави, като информацията се организира по записи (еднократни данни върху отделни пътечки) и файлове (съвкупност от последователни

записи). За разделители се използват маркери за край на запис. При еднократен достъп минималната информация, която може да се прочете (запише) е един запис.

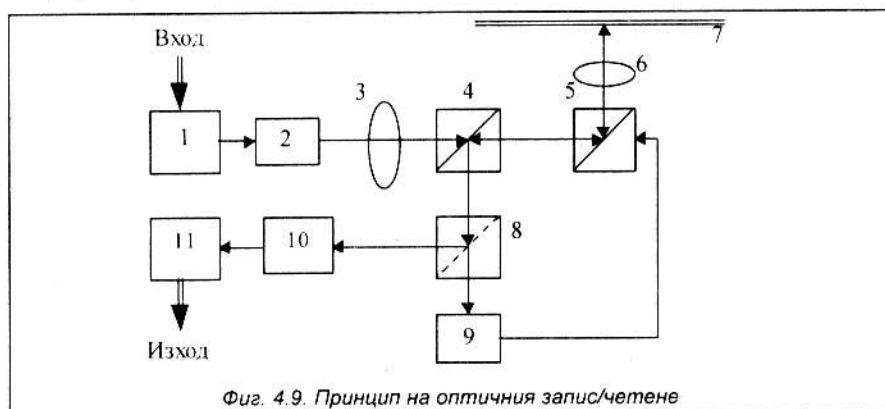
ВЗУ с магнитна лента имат твърде голямо време за достъп и малка скорост при предаване на данните, поради което се използват главно за създаване и поддържане на архиви от данни.

### 4.3.2. Външни памети с оптичен носител

Външните памети с оптичен носител се реализират като ВЗУ с оптичен диск и побитов запис на информацията по концентрични пътечки. Позволяват съхраняване на информация в обем два и повече порядъка по-голям от традиционните магнитни носители.

Принципът на работа на ВЗУ с оптичен носител е показан на фиг.4.9. Източник на светлинния лъч за запис/четене е полупроводников лазер (2), а носителят (7) е диск със светлочувствително покритие. Върху диска са формирани вдлъбнатини за позициониране на лъча при адресирането. Изисква се висока прецизност на фокусиране и отклонение на лъча под  $\pm 0,5$   $\mu\text{m}$ .

При запис входната информация преминава през усилвател-модулятор (1), който управлява излъчването на лазера (2). Лъчът преминава през оптичната леща (3), поляризатор (4) и огледало (5) и след фокусиране (6) се насочва върху носителя (7). При запис поляризаторът (4) пропуска светлинния лъч. Оптичният носител е с висок коефициент на светлинно поглъщане и при попадане на модулирания и фокусиран светлинен лъч се регистрира светлочувствително петно, отговарящо на записваната информация.



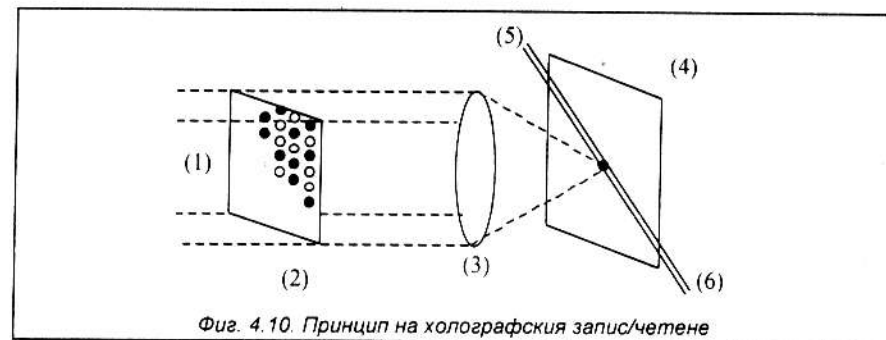
Фиг. 4.9. Принцип на оптичния запис/четене

При четене лазерът (2) генерира непрекъснато излъчване с ниска интензивност, което не може да промени информацията върху носителя при насочване върху него. Чрез прецизно адресиране този лъч се насочва върху записаните светлочувствителни петна, които го отразяват след като го модулират. Разпространявайки се в обратна посока, поляризаторът (4) отклонява лъча към полупрозрачно огледало (8), което го разделя на две части – към коректор на позиционирането (9) за по-прецизно адресиране и към фотоприемник (10). Последният преобразува прочетената информация в електрически сигнал, който се демодулира (декодира) и услива от (11).

### 4.3.3. Холографски памет

Холографската памет позволява съхраняване на много големи информационни масиви, като обработката на информацията (запис/четене) става по страници (двумерна матрица от двоични битове). Всяка страница се регистрира като отделна холограма върху светлочувствителния носител, което осигурява много висока плътност. Обемът (размерът) на страницата е въпрос на технологични възможности при реализацията.

Принципът на холографския запис/четене на информацията е илюстриран на фиг.4.10, като основните елементи са: (1) - обектен лъч за записване; (2) - управляем транспарант (УТ) за подготовка на входната информация; (3) - Фурие-леща; (4) - регистрираща среда (носител); (5, 6) - допълнителен лъч.



Фиг. 4.10. Принцип на холографския запис/четене

При запис двоичната информация се формира по страници чрез УТ (2), представляващ електронно-управляема матрица от клетки, които могат да променят своята прозрачност. Така една клетка кодира 1 бит информация чрез двете състояния на пропускане или на непропускане на светлината. Формираната "картина" (страница информация) се осветява от монохромната светлина на обектния лъч (1), която преминавайки през УТ (2) се подлага на пространствено-амплитудна модулация. Фурие-лещата (3) формира съответния Фурие-образ на "картината" в своята задна фокална