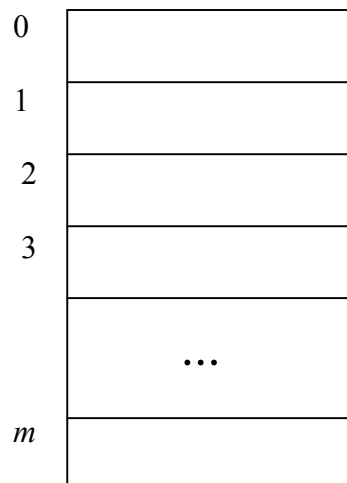


6.2 Pamięci ROM i RAM

1. Pamięci ROM

Ogólnie rzecz biorąc pamięci dzielimy na ulotne (ang. volatile memory) i nieulotne (ang. nonvolatile memory). Pamięci ulotne to takie, w których przechowywana informacja znika po wyłączeniu zasilania (tracimy ją bezpowrotnie) a nieulotne to takie, które nie tracą zapisanej informacji po wyłączeniu zasilania.

Wyobrażamy sobie pamięć jako zestaw m rejestrów n bitowych (por. rys 25), które nazywamy komórkami (ang. locations). Każda komórka ma przyporządkowany adres $a \in \langle 0, m-1 \rangle$ jednoznacznie ją identyfikujący. Możemy więc powiedzieć, że pamięć to zestaw zaadresowanych rejestrów. Podstawowym parametrem pamięci jest jej pojemność wyrażana na ogół liczbą pamiętanych bajtów oraz długość pamiętanego w pamięci słowa. Każda pamięć ma specjalne wejście tzw. wejście adresowe na które podawany jest adres wybranej komórki. Pamięci dzielimy na 2 zasadnicze grupy: pamięci ROM (tylko do odczytu) i pamięci RAM (do odczytu i zapisu).



Rys.1. Pamięć jako zestaw rejestrów (tzw. komórek) zaadresowanych liczbami całkowitymi ze zbioru $\langle 0, m-1 \rangle$; z reguły $m = 2^k$ dla pewnego $k \in \mathbb{N}$, czyli liczba komórek pamięci jest na ogół potęgą 2

Pamięć ROM (ang. Read Only Memory) to inaczej tzw. pamięć stała (por. Rys. 2.). Jest to pamięć, z której możemy tylko odczytywać informacje podając na wejście adresowe pamięci ROM liczbę ze zbioru $\langle 0, m-1 \rangle$ czyli adres. Adres podawany jest z reguły w kodzie NKB (naturalny kod binarny). Nie tracimy danych po wyłączeniu zasilania pamięci ROM. Pamięć ROM zaliczana jest więc do kategorii pamięci nieulotnych (ang. nonvolatile memory). Wyjście danych jest na ogół wyjściem trójstanowym. Typowa pamięć stała ma 2 wejścia sterujące \overline{OE} (output enable) i \overline{CE} (chip enable). Stan wysokiej impedancji wyjścia uzyskujemy dla $\overline{OE} = 1$. Sygnał $\overline{CE} = 1$ wyłącza układ ROM. Jeśli $\overline{OE} = 0$ i $\overline{CE} = 0$, to na wyjściu mamy słowo n -bitowe napisane w pamięci pod adresem a .

Żeby pamięć ROM była użyteczna, musi być w pewien sposób jak mówimy zaprogramowana, tzn. do jej komórek muszą być wpisane słowa, które chcemy pamiętać. Współczesne pamięci ROM mogą być albo programowane maską w fabryce albo mogą być

też w łatwy sposób programowane przez użytkownika. (są to tzw. pamięci PROM od ang. Programmable ROM).

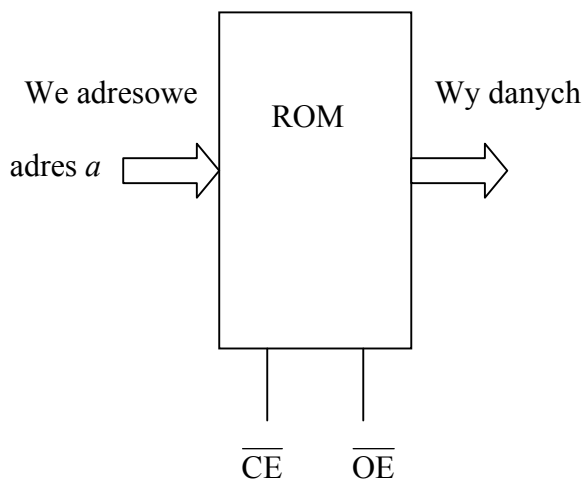
Istnieje wiele typów pamięci PROM m.in. pamięci EPROM (Electrically Programmable ROM), EEPROM (Electrically Erasable ROM) oraz pamięci typu flash. Pamięci flash stanowią odmianę pamięci EEPROM czyli pamięci kasowalnych elektrycznie. Pamięci flash dają się jednak kasować (w całości lub dużych blokach) bardzo szybko (w około 1ms).

Najczęściej stosowanymi obecnie pamięciami ROM są właśnie pamięci typu flash. Np. część systemu operacyjnego komputera nazywana BIOS (Basic Input Output System) jest zapisywana z reguły w pamięci typu flash.

Z punktu widzenia teorii układów logicznych pamięć ROM jest uniwersalnym układem kombinacyjnym. Dlatego też wygodnie jest małe pamięci ROM realizować jako tzw. układy PLA (ang Programmable Logic Array) (por. następny podrozdział). Jednocześnie za pomocą pamięci ROM można łatwo zrealizować dowolny układ kombinacyjny lub automat skończony. Istota rzeczy polega tu oczywiście na zapamiętaniu funkcji boolowskiej lub funkcji przejść i wyjść opisującej automat.

Do współczesnych pamięci PROM można z reguły dane zapisywać wielokrotnie, ale zapis nowych danych trwa relatywnie długo w porównaniu z czasem odczytu lub wymaga użycia specjalnych urządzeń programujących tzw. programatorów (por. pamięci PROM, EPROM, EEPROM).

Wszystkie pamięci ROM są pamięciami półprzewodnikowymi choć oczywiście można skonstruować pamięć w której słowa binarne będziemy pamiętały za pomocą odpowiednio włączonych przełączników mechanicznych.



Rys. 2. Pamięć stała czyli pamięć ROM

2. Pamięci RAM

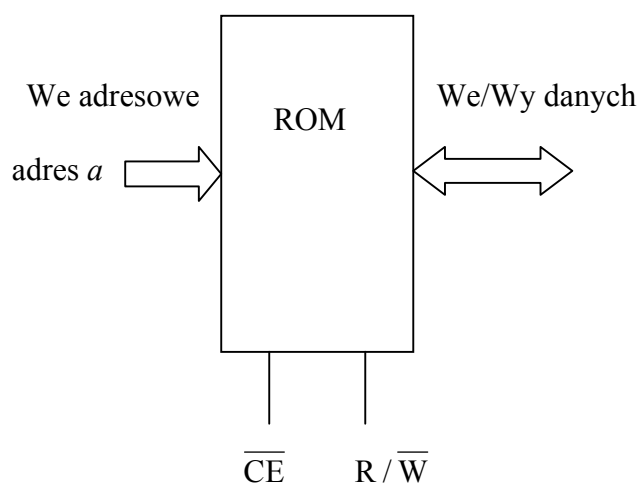
Pamięć RAM (ang. Random Access Memory) to inaczej pamięć o dostępie swobodnym. Jest to uporządkowany zestaw rejestrów (komórek), z których każdy jest jednoznacznie identyfikowany przez liczbę $z \in \langle 0, m \rangle$ czyli adres. Różnica pomiędzy pamięciami ROM i RAM polega na tym, że do komórek pamięci RAM możemy zapisywać słowa binarne

i odczytywać z nich zapisane słowa, natomiast pamięć ROM służy zasadniczo tylko do odczytu.

Pamięć RAM (por. Rys. 3) ma wejście adresowe, wejście danych wyjście danych i dwa wejścia sterujące: wejście wyboru układu \overline{CE} (Chip Enable) (czasami oznaczane jako \overline{CS} od ang. chip select) i wejście R/\overline{W} mówiące o tym czy dane zapisujemy czy odczytujemy. Adres podawany jest z reguły jako słowo binarne kodzie NKB (naturalny kod binarny). Najczęściej adresy są kolejnymi liczbami całkowitymi od 0 do $m = 2^k - 1$, gdzie k jest długością słowa adresowego. Wszystkie adresy pamięci nazywamy przestrzenią adresową.

Rejestry składające się na pamięć nazywamy komórkami (pamięci). Liczbę komórek pamięci nazywamy pojemnością pamięci. Typowe pojemności pamięci RAM we współczesnym systemie mikrokomputerowym to 128 MB do 1 GB, ale można spotkać stacje robocze z pamięcią RAM np. 4GB. Z kolei w bardzo prostych mikroprocesorach jednoukładowych stosowane są pamięci RAM np. o pojemności 256 B (por. mikroprocesory rodziny Intel MCS-51). Warto w tym miejscu przypomnieć, że przy określaniu pojemności pamięci B oznacza bajt, b oznacza bit, k (kilo) oznacza 1024, M (mega) oznacza 2^{20} , G (giga) oznacza 2^{30} .

Pamięci RAM są z reguły półprzewodnikowymi pamięciami ulotnymi pełniącymi w systemie cyfrowym funkcję tzw. pamięci operacyjnej lub pamięci głównej. Z punktu widzenia teorii układów logicznych pamięć RAM jest układem sekwencyjnym.



Rys. 3. Pamięć o dostępie swobodnym czyli pamięć RAM

Pamięci RAM dzielimy na *pamięci statyczne* (pamięci SRAM) i *pamięci dynamiczne* (pamięci DRAM). SRAM (Static Random Access Memory) to tzw. statyczna pamięć RAM. Elementem pamiętającym takiej pamięci jest przerzutnik bistabilny z reguły zrealizowany w technice CMOS. Pamięć SRAM jest więc ulotna (ang. volatile memory). Po wyłączeniu i ponownym włączeniu napięcia zasilającego przerzutnik stanowiący komórkę elementarną może się ustawić w dowolnym z dwu możliwych stanów. W pamięci SRAM nie ma konieczności odświeżania komórek elementarnych jak w pamięciach DRAM, o których za chwilę. Pamięci SRAM mają mniejszy czas dostępu (są szybsze) niż pamięci DRAM ale komórka elementarna zajmuje więcej miejsca na chipie stąd mniejsze pojemności tych pamięci. Pamięci SRAM stosowane są w systemach komputerowych jako szybkie pamięci podręczne czyli pamięci typu cache poziomu pierwszego (pamięci cache L1) i poziomu drugiego (pamięci cache L2).

DRAM (ang. Dynamic Random Access Memory) to tzw. dynamiczna pamięć RAM. Pamięci tego typu są zbudowane z tranzystorów MOS. Elementem pamiętającym 1-bitowej komórki elementarnej pamięci DRAM jest kondensator a ściśle rzecz biorąc pojemność wejściowa tranzystora MOS o wartości 30-50 fF (femtofarady). Zasada pamiętania 0 i 1 jest więc taka sama jak w przypadku układów próbkująco-pamiętających (układów S/H) i tak jak w przypadku układów S/H z powodu nieuniknionych prądów upływu następuje szybkie rozładowywanie się kondensatora. Pociąga to za sobą konieczność okresowego doładowywania komórek pamiętających stan wysoki H co nazywamy odświeżaniem pamięci DRAM. W typowej pamięci DRAM odświeżanie odbywa się co około kilkanaście ms. Z reguły nie odświeżamy od razu całej pamięci DRAM ale pewien jej fragment potem następny itd. Czas dostępu do pamięci DRAM jest rzędu 50 ns. Typowa organizacja kostek pamięci DRAM to np 64M x 4 (czterobitowe słowa wyjściowe), 128M x 2 (dwubitowe słowa wyjściowe), 256Mx1 (jednubitowe słowa wyjściowe).

Pamięci DRAM dzielą się na *synchroniczne* i *asynchroniczne*. Obecnie prawie wyłącznie stosuje się pamięci synchroniczne tzw. SDRAM (Synchronous DRAM) pracujące w takt zegara systemu i umożliwiające wykonanie kolejnych czynności przez pamięć zakładkowo (pipelining) co pozwala znacznie skrócić cykl odczytu. Dane przesyłane są w seriach tzw. "burst". Pamięci synchroniczne wykorzystujące narastające i opadające zbocze zegara noszą nazwę DDR SDRAM (Double Data Rate SDRAM). Typowe pamięci DDR SDRAM pracują z magistralami taktowanymi zegarem 133 MHz.

Podstawowe parametry pamięci RAM to czas dostępu do pamięci (access time), czas cyklu (ang cycle time) i pojemność pamięci RAM.

Pamięci (kostki pamięci czyli chipy) SDRAM umieszcza się najczęściej na małych płytkach drukowanych tzw. modułach DIMM (ang. Dual In line Memory Module).

Pamięci specjalne to pamięci FIFO, LIFO i pamięci CAM.

Pamięć FIFO (ang. First in - First out) to inaczej kolejka.

Pamięć LIFO (ang. Last in - First out) to inaczej stos.

Pamięć CAM (ang. Content Addressable Memory) to inaczej pamięć asocjacyjna lub pamięć skojarzeniowa. Pamięci specjalne zostaną omówione szerzej w rozdziale o architekturze systemów komputerowych.