

МИКРОПРОЦЕССОРНА ТЕХНИКА

ЛЕКЦИЯ #1

МИКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНИКА (МПТ)

за специалност **"КОМПЮТЪРНО И СОФТУЕРНО ИНЖЕНЕРСТВО (КСИ)"**
образователно-квалификационна степен БАКАЛАВЪР
обучаваща катедра: "Компютърни системи" (ФКСУ)

Водещи преподаватели:

- **доц. д-р инж. Валентин С. Моллов**, катедра "Компютърни системи"
каб.1200, тел. 965 3523; mollov@tu-sofia.bg
гр.45-48 (поток X). Приемно време: пн.12:30-13:30; чт.13:30-15:30 ч.
- **доц. д-р инж. Асен Н. Тодоров**, катедра "Инф.технолог. в индустрията"
каб.1406, тел. 965 2164; atodorof@tu-sofia.bg
гр.40-44 (поток IX)

Асистенти по дисциплината за поток X:

доц. д-р инж. Кирил Мечков; лаб.1217, тел.965 3105
e-mail: cyril@circuit-fantasia.com гр.45,47
хон.ас. инж. Йордан Милев; лаб.1413, гр.46,48

× **Хорариум:**

Лекции – 30 часа (1 лекция седмично);

Лабораторни упражнения – 30 часа (3 ч. през седмица).

(упражненията започват от 2-ра учебна седмица)

× **Провеждане на:**

Лекции (поток X) → четвъртък 15:45-17:30 ч. - зала 1151

Лаб.упражнения – лаб.1413

гр.46 - пн.13:45-16:30 ч.

гр.48 - вт.10:30-13:15 ч

гр.45 - ср.10:30-13:15 ч.

гр.47 - ср.13:45-16:30 ч.

× **Форма на контрол:** *изпит (писмен)*.

× **Код на дисциплината в Учебния план на специалността КСИ (ЕСНТК) - **BCS26**, Брой кредити 5.**

- × **СТАТУТ НА ДИСЦИПЛИНАТА В УЧЕБНИЯ ПЛАН:** **Задължителна учебна дисциплина** за студентите от специалност “Компютърно и софтуерно инженерство” на ФКСУ, образователно-квалификационна степен “Бакалавър”;
- × **ЦЕЛИ НА УЧЕБНАТА ДИСЦИПЛИНА:** Дисциплината има за цел да запознае студентите със съвременното състояние на микропроцесорната техника, в т.ч. **структура на едночипови микрокомпютъри, организация и приложение на съвременни схеми памети, както и характеристики и възможности на различни типове интерфейси (сериен и паралелни).** Разгледани са и приложните аспекти за управление с периферни драйверни схеми за връзка с околната среда.
- × **ОПИСАНИЕ НА ДИСЦИПЛИНАТА:** Разглеждат се организация на **памети с непосредствен и сериен достъп, статични и динамични памети, постоянни запомнящи устойчива.** Изучават се организация на паметта, режими на четене, запис, регенерация, видове информационни и управляващи входове и изходи, разширение на паметта, времеви параметри на памети. Разглеждат се различни структури на микропроцесори и **едночипови микрокомпютри, организация на адресното пространство, режими на работа на едночипови микоркомпютри.** Изучават се механизмите на прекъсване и директен достъп до паметта, приоритет, **реализация на паралелен и сериен (асинхронен и синхронен) интерфейс** със стандарти и специализирани схеми.
- × **ПРЕДПОСТАВКИ:**
Полупроводникови елементи; Материалознание / Химия;
Теоретична електротехника; Анализ и синтез на логически схеми.

Препоръчителна литература

- × Лекционни записки, презентационни слайдове (lecture notes)
<http://cs.tu-sofia.bg> → еОбучение → Курсове степен бакалавър-инженер → Семестър IV → Микропроцесорна техника
- × Атанасов А., Микропроцесорите – от 1970 до 2009, София, 2009.
- × Clemens A., The Principles Computer Hardware, Oxford University Press, 1994.
- × Клинкман Р., Проектиране на микропроцесорни системи, Техника, 1999.
- × Боянов К., Практически схеми с микропроцесори, Техника, 1999.
- × Sharma K., Advanced Semiconductor Memories, Willey Inter-Science, 2003.
- × **А.Тодоров, В.Моллов, К.Мечков, Ръководство за лабораторни упражнения по микропроцесорна техника, Изд.на ТУ-София, 116 с., ISBN: 978-619-167-128-1, 2015**

Internet ресурси:

<http://www.freescale.com/>
<http://www.msr-elektronik.com/>
<http://www.microchip.com>
<http://www.ssti.com/>
<http://www.bluetooth.com/>
<http://www.superFlash.com/>
<http://www.answers.com/>

Ключови думи (keywords):

Scale integration, Semiconductor memories, SRAM, DRAM, PROM, EPROM, EEPROM, Flash, Single chip microcomputers, Microcontrollers, 68HC11, Computer interfaces, SPI, I2C, USB, Timers, Watchdog, ADC, Design of microprocessor devices. *Free resources on.... Lecture notes on.....*

Допълнителни източници – при представяне на всяка отделна лекция

РАЗВИТИЕ НА ЕЛЕМЕНТНАТА БАЗА НА МИКРОПРОЦЕСОРНАТА ТЕХНИКА

Поколения интегрални схеми според броя на изграждащите компоненти:

1-во поколение: SSI (Small-Scale Integration) – с ниска степен на интеграция (< **100 компонента/чип**): главно ЛЕ (AND, OR, NAND, NOR, XOR и т.н.);

2-ро поколение: MSI (Medium-Scale Integration) – със средна степен на интеграция (**от 100 до 3000 компонента/чип**): броячи, дешифратори, суматори, мултиплексори, регистри и др.

3-то поколение: LSI (Large-Scale Integration): с висока степен на интеграция (**от 3000 to 100,000 компонента/чип**): специализирани схеми, малки микроконтролери, АЦП, ЦАП, памети с неголям обем;

РАЗВИТИЕ НА ЕЛЕМЕНТНАТА БАЗА НА МИКРОПРОЦЕСОРНАТА ТЕХНИКА

4-то поколение: VLSI (Very Large-Scale Integration): със свръхвисока степен на интеграция (от 100,000 до 1,000,000 компонента/чип): микроконтролери, полупроводникови памети (главно SRAM, PROM), някои DSP структури;

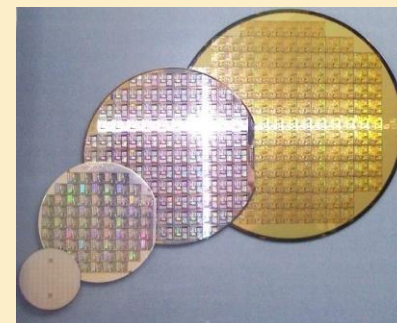
5- то поколение: ULSI / SVLSI (Ultra Large-Scale Integration): с повече от 1 милион електронни компонента на чип – съвременни DRAM памети, PLD структури (FPGA, CPLD), микропроцесори с общо предназначение, многоядрени процесори (multi-core processors), схеми за обработка на изображения и др.

Закон на Мур: (Gordon Moore) → на всеки 18 месеца броят компоненти върху един чип се удвоява (1965 г.). В този период <60 комп/чип, сега до 4.3 млрд комп/чип (Intel 15-core Xeon IvyBridge-EX) и 5.4 млрд комп/чип (4096 cores TrueNorth чип). 20 млрд комп/чип – Xilinx FPGA.

ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРЕДПОСТАВКИ. ИЗРАБОТКА НА ИС (Fabrication aspects)

- **VLSI / ULSI** схемите стават реалност поради:
 - постигане на подобрени параметри на технологичния процес: висока разделителна способност, повишена чистота (контрол на примесите); Понастоящем $L=18\text{ nm}$ стабилен технологичен процес. При DRAM и PLD (FPGA, CPLD) се достига технологичната граница. Тенденции: до пр. 16 nm , изп. на други физ. принципи;
 - адаптация и постигане на стабилност на нови технологии – напр. BiCMOS, C²MOS;
 - прилагане на нови материали (GaAS, хетеросъединения): подобрени параметри (по-висока подвижност на токоносителите);
 - нисковолтови и маломощни low-voltage / low-power структури.
- **ИЗРАБОТКА** на кристали с голям диаметър (crystalline / silicon wafers): 4 инча (100mm), 8 инча (200mm), понастоящем 11.8 инча (300mm). Понастоящем – 450mm (от 2012 г.).
- **Брой на отделните кристални елемента** (*die per wafer*) за изработка на ИС с площ S от един цял кристал с диаметър d :

$$DPW = d\pi \left(\frac{d}{4.S} + \frac{1}{\sqrt{2.S}} \right)$$



РАЗВИТИЕ НА МИКРОПРОЦЕСОРА

- Първа структура на микропроцесор – INTEL4004 (ноември 1971 г.). Създава се след запитване на *Busicom* към *Intel* за производство на набор от високопроизводителни чипове за електронни калкулатори. Първоначално проектът съдържа 12 отделни custom ИС. Тед Хоф предлага общо single-chip решение. Ползва **4-битови данни** / 8-битови инструкции, общо 46 инструкции, **отделна памет за данни и програмна памет** (4K). Включва общо 2300 PMOS транзистора в 16-pin корпус. 60K операции за секунда (**0.06 MIPS**), 108-740KHz, 1W консумация;
- **4040** (1972) - добавя още 16 инструкции, работи на 1 MHz, разполага с 8K програмна памет;
- **8008** (1972) - 2 пъти по-ефективен от 4004 - припл. 0.1 MIPS;
- **8080** (1974) / **8085** (1977) – **8-bit**, 2MHz, 40 pin DIP корпус, **0.5 MIPS**, добавени инструкции за прекъсване, 5V захр.напрежение. 8080 става основна част от първия персонален компютър Altair; При 8085 – само +5V

РАЗВИТИЕ НА МИКРОПРОЦЕСОРА

- ❑ **6800 (1974) – Motorola**, 8-bit, 78 инструкции, 40 pin DIP; 6801,6803, 6805;
- ❑ **Z80** ZiLOG (1975) – разработен от бивши инженери на Intel. По-добра система за прекъсвания, нови инструкции и методи за адресация. 2MHz работна честота (в последствие – на 4MHz и 6MHz), включва високопроизводителни периферни схеми;
- ❑ **6502** (1975) – разработка на Чък Педъл - първоначално 6501 /изтеглен/, MOS Technologies (Commodore) и включен в първите Commodore, Apple, Ataris, Nintendo, Acon Electron;
- ❑ **8048** (1976) – MCS-48. 8-битов, **CMOS технология**, по-ниска консумация. Само за текущата година са продадени над 250000 бр. ! 1 byte инструкции, програмна ROM, on-chip RAM, ниска цена, достъпни развойни средства;
- ❑ **Intel 8086/8088, Motorola 68000, ZiLOG Z8000** (1978,1979) – **16 битови структури**. Intel ползва същата структура от регистри, но с увеличена разрядност;
- ❑ **8088** (1979) – по-ниска цена. Използван от IBM за първия масов PC (1981). Използва 8088 (16/8 битов), но с по-лоши параметри;

РАЗВИТИЕ НА МИКРОПРОЦЕСОРА

- ❑ *Apple Macintosh* персонален компютър използва 68000 (16-битов) в модела си от 1984 г. Z8000 не успява да се утвърди на пазара въпреки добрата архитектура и качества на своя процесор;
- ❑ **8051(1980)** – Intel предлага 8-bit микроконтролер с **on-board EPROM памет**. Заменя MCS-51. Първоначално – по NMOS технология, в последствие – CMOS (80C51). Продава над 91 млн. броя само през 1981 г.
- ❑ **Intel 80286, Motorola 68010. 80286** се използва в модела IBM AT;
- ❑ **Motorola 68020** (1984) – **32 bit микропроцесор**. Общо 200,000 транзистора, CMOS технология;
- ❑ **Intel 80386** (1985) – 275,000 транзистора. Използва се от Compaq в модела им от 1986 г.
- ❑ **Intel 80486** (1986) – първият микропроцесор с вграден математически ко-процесор;

РАЗВИТИЕ НА МИКРОПРОЦЕСОРА

- ❑ **Pentium серия на Intel (1993)** – лансира нова архитектура **с повишени възможности за обработка на звук и изображения** (мултимедия);
- ❑ **Pentium Pro (1995)** – включва около 5.5 млн. транзистора;
- ❑ **Pentium II (1997)** – прилага **MMX технология** за работа с мултимедийни приложения;
- ❑ **Pentium III (1999)** – 9.5 млн. транзистора. По-високи възможности за работа с **мултимедия и 3D приложения (SSE набор инструкции, Streaming SIMD Extension)**. Използва от 0.25 μ m до 0.13 μ m технология. Налага марките Celeron (за настолни конфигурации) и Xeon (за високопроизводителни машини – сървъри, работни станции);
- ❑ **Pentium IV (ноември 2000 до 08.08.2008 г.)** – такт.честота до 4GHz (**SSE2, SSE3 набор инструкции**), Включва в себе си т.нар. **Hyper - Threading технология**;
- ❑ **Pentium D, Pentium Extreme Edition , Pentium Dual Core (двухдрени процесори), Core 2 Quad, Core i3/i5/i7/i7 Extreme (2011) и т.н.**

Развитие на процесорите Intel Pentium */архитектура, ориентация, търговски означения/*

| Марка | Микро-архитектура | за десктопи | за лаптопи | за сървъри |
|--|-------------------|--|---|---------------------------------------|
| Pentium Pentium OverDrive | P5 | P5 (0.8 μm) P54C (0.6 μm) P54CS (0.35 μm) | | |
| Pentium MMX Pentium OverDrive MMX | | P55C (0.35 μm) Tillamook (0.25 μm) | | |
| Pentium Pro | P6 | | | P6 (0.5 μm) P6 (0.35 μm) |
| Pentium II Pentium II Xeon Pentium II OverDrive Mobile Pentium II | | Klamath (0.35 μm) Deschutes (0.25 μm) | Tonga (0.25 μm) Dixon (0.25 μm) | Drake (0.25 μm) |
| Pentium III Pentium III Xeon Mobile Pentium III Pentium III M | | Katmai (0.25 μm) Coppermine (180 nm) Tualatin (130 nm) | Coppermine (180 nm) Tualatin(130 nm) | Tanner (0.25 μm) Cascades (180 nm) |

Развитие на процесорите Intel Pentium * */архитектура, ориентация, търговски означения/*

| | | | | |
|--|--------------|---|--|-------------------|
| Pentium 4 Pentium 4 Extreme Edition | NetBurst | Willamette (180 nm) Northwood (130 nm) Gallatin (130 nm) Prescott-2M (90 nm) Prescott (90 nm) Cedar Mill (65 nm) | Northwood (130 nm) Prescott (90 nm) | Rebranded as Xeon |
| Pentium D Pentium Extreme Edition | | Smithfield (90 nm) Presler (65 nm) | | |
| Pentium M | P6 based | | Banias (90 nm) Dothan (65 nm) | |
| Pentium Dual-Core | | | Yonah (65 nm) | |
| | Core | Allendale (65 nm) Wolfdale-3M (45 nm) | Merom-2M (65 nm) | |
| Pentium | | | Penryn-3M (45 nm) | |
| | Nehalem | Clarkdale (32 nm) | Arrandale" (32 nm) | |
| | Sandy Bridge | Sandy Bridge (32 nm) | | |

Източник: <http://en.wikipedia.org/wiki/Pentium>

Н.В. Представената фирмена информация за процесорите Intel няма за цел да отрази в детайли съвременната продуктова гама, а дава само начина на представяне на продуктите като марка, микроархитектура и приложна ориентация.

Основни параметри на микропроцесорите

- **Дължина на думата** – определя се от броя линии в магистралата за данни, (data bus), вътрешните регистри и I/O портове.
- **Разрядност RA** – тази на адресната магистрала;
- **Максимална тактова честота** – F_C [MHz];
- **Производителност (MIPS)** – *MIPS – Mega-Instructions Per Second*;
- **CPI - cycles per instruction.** $CPI \geq 1$, само при суперскаларни процесори $CPI < 1$.

Брой (специфика) на инструкциите:

Complex Instruction Set Computer (CISC) – по-голям брой инструкции. Ангажира процесора в по-голяма степен. За първи път се прилага от Digital Equipment Corp. (DEC) във фамилията PDP11.

Reduced Instruction Set Computer (RISC) – с ограничен брой инструкции. Софтуерът е ангажиран с по-голяма част от работата, по-малка заетост на процесора. Архитектурата тип RISC се ползва от Apple Corp., Macintosh, IBM's RISC System/6000 работни станции, Sun Microsystems's SPARC.

Very Long Instruction Word (VLIW) - представлява продължение на RISC концепцията. Компиляторът разделя инструкциите на базови операции, изпълними от процесора. Прилага принципа Instruction Level Parallelism (ILP). Цел: намаляване заетостта на процесора;

Superscalar Processors (суперскаларни процесори) – при тях се изпълнява повече от 1 инструкция на цикъл ($CPI < 1$). Прилага се концепция на кеширане и паралелна обработка;

Друга класификация според спецификата на набора инструкции:

- **General Purpose Processor (GPP**, универсални);
- **Special Purpose Processor (SPP**, със спец.предназначение);
- **Application-Specific Instruction-set Processor (ASIP)** (идва от ASIC схемите),
напр. PLC контролерите;
- **Digital Signal Processor (DSP)** – за бърза обработка в реално време.

Адресно пространство ($N_A=2^{RA}$). Видове адресация;

Организация на Cache паметта;

Производителност (време за изпълнение на задача) друга дефиниция:

$T=N.I.C$, където:

- N : брой команди в програмата;
- I : среден брой машинни такта за изпълнение на 1 команда;
- C : дължина на процесорния такт [μs].

Консумирана мощност – обикновено се дават две стойности:

- при нормален “товар” (средна);
- максимална (измерена при най-лоша съвкупност “worst-case set” инструкции.

Пример: Pentium 4 (с макс. тактова честота) 2.8 GHz отделя средно 68.4 W термична мощност и около 85 W максимална мощност.

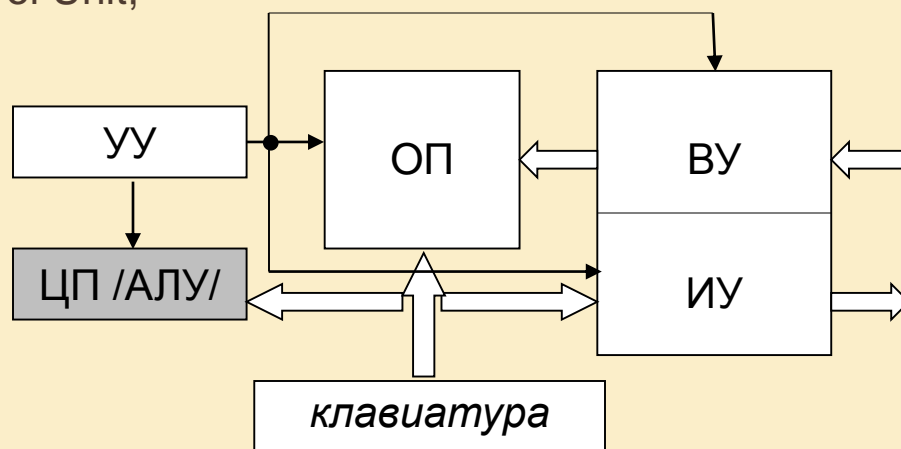
Едночипови микрокомпютри – ЕМК (микроконтролери)

Приложение: за контрол и управление на различни обекти и процеси.
вид Embedded System (вградена МП система със спец. предназначение).

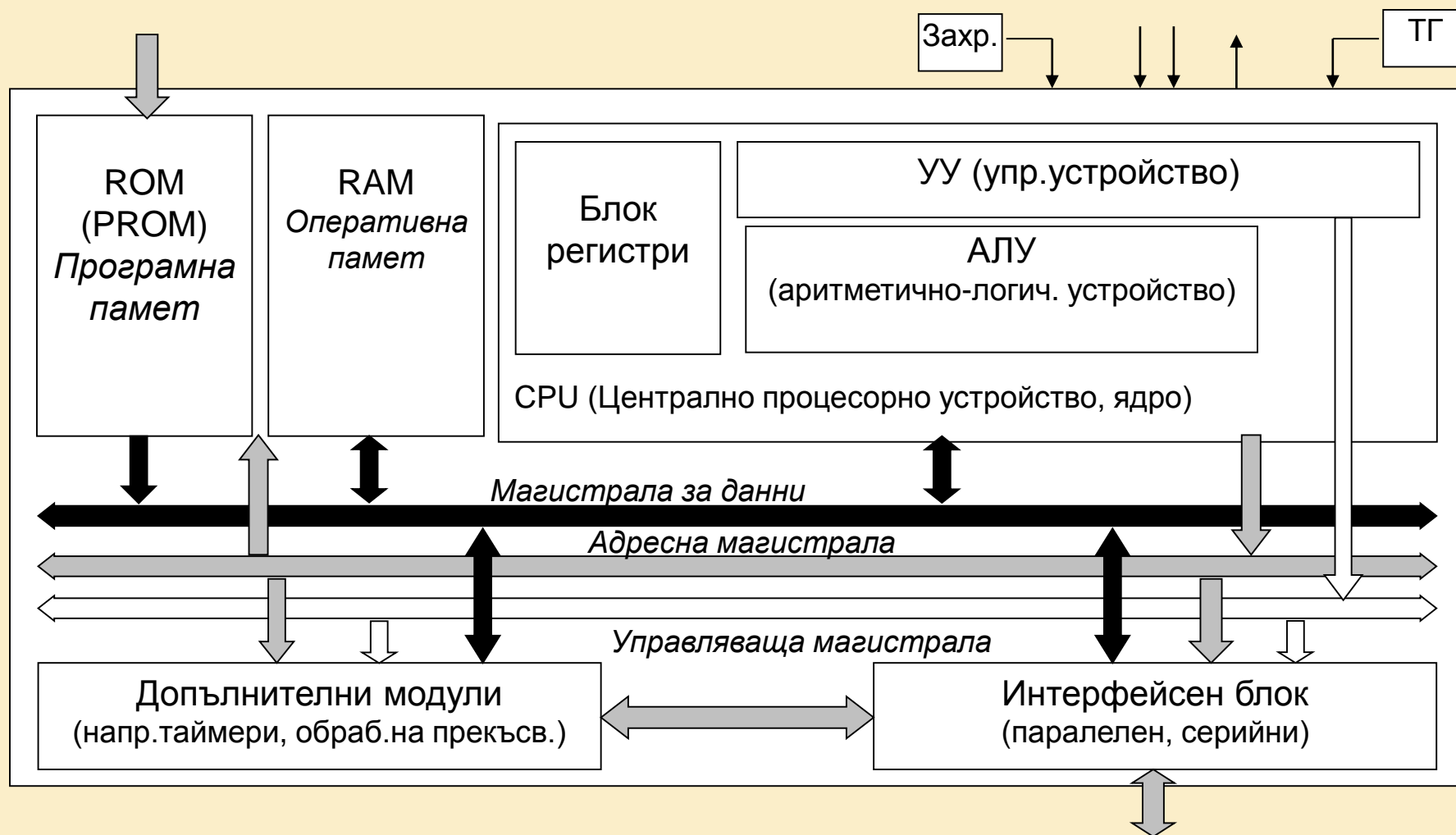
Структура на микропроцесорно устройство

Класическа структура (Чарлз Бабидж): включва следните компоненти:

- **Централен процесор** (аритметично-логическо устройство, АЛУ, Arithmetic Logic Unit) с възможност за работа със специфична система от инструкции. Инструкциите се изпълняват за определено време в зависимост от тактовата честота и спецификата им;
- **Оперативна памет** (енергозависима) **RAM** (Random Access Memory);
- **Управляващо устройство** (УУ), Control Unit;
- **Входно устройство** (Input Unit);
- **Изходно устройство** (Output Unit).



Структура на микрокомпютър



- **Шинна организация:**
 - АШ (AB, AL, address bus) – адресна шина;
 - ШД (DB, DL, data bus, data line) – шина за данни;
 - Буфериране на шините (bus buffers);
- **Блок за управление:**

управляващо устройство (Control Unit, CU);
ROM за макрокода; стекова памет (STACK);
указател на стека (SP, Stack Pointer);
контролер на прекъсванията (IC, Interrupt Controller).
- **Блок за обработка на командите:**

програмен брояч / брояч на командите (PC, Program Counter);
регистър на командния код / код на инстр.(IR, Instruction Register);
дешифратор на кода на инструкцията (ID).
- **Блок за обработка на данните:**

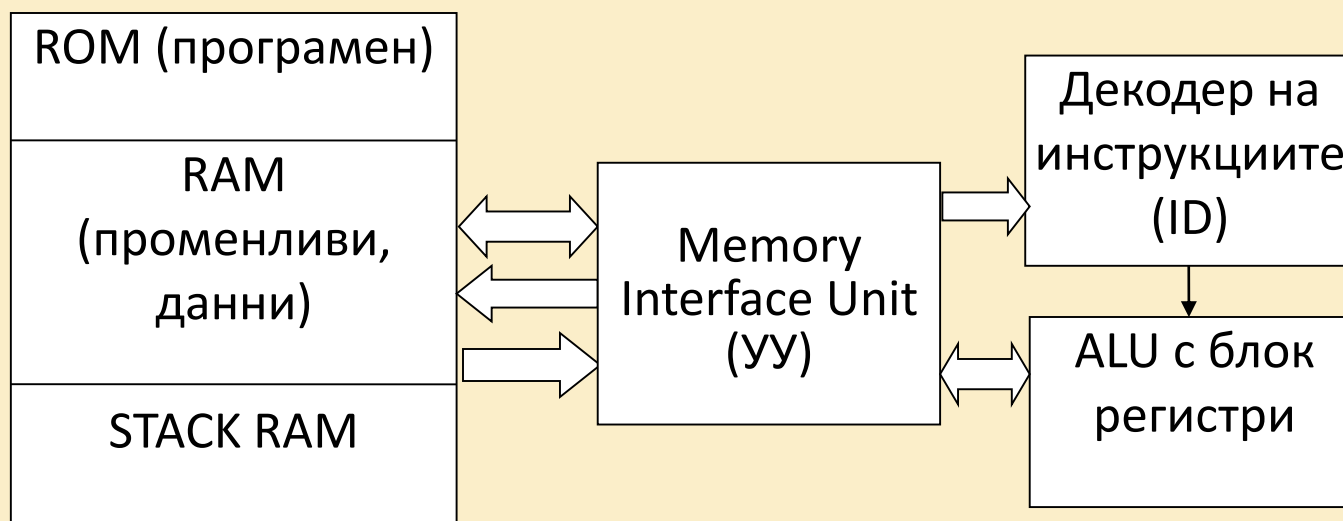
АЛУ;
акумулатор (ACC, accumulator);
регистри с общо предназначение (RB, Registers Block);
флагов / контролен регистър (CCR, Code Condition Register).

Основни архитектури на микропроцесора

Архитектура на Фон Нойман (1945 г.): **общо съхранение на данни и програма** (*Принстънска архитектура*).

- Memory interface unit (УУ) – управлява достъпа до паметта за програми и данни, прехвърля за изпълнение към АЛУ и регистри;
- Бавен обмен през УУ – нова команда се зарежда едва след пълното изпълнение на предходната.

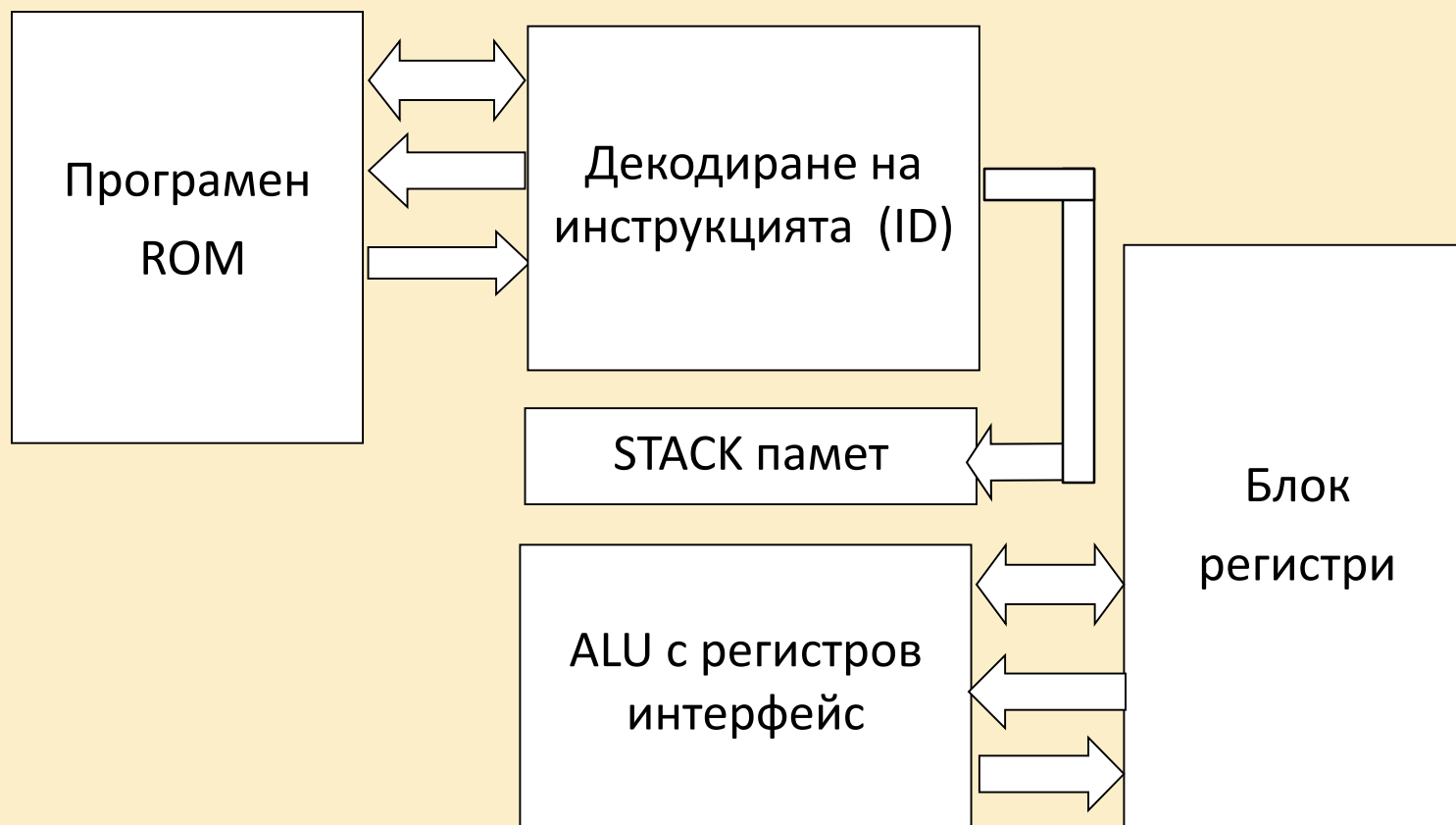
В по-новите фон Нойманови процесори – т.нар. Instruction pre-fetching – прочитане на новата команда преди изпълнението на предходната.



Основни архитектури на микропроцесора

Харвард архитектура:

- въвежда ниво на **паралелизъм** (изпълнява повече от 1 команда едновременно)
- по-малък брой цикли за изпълнение на командите



Представяне на данните в микропроцесорните системи

| Брой линии | Комбинации | Наименование |
|------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | 2 2^1 | Бит (Bit, Binary digit) |
| 4 | 16 2^4 | Полубайт (Nybble) |
| 8 | 256 2^8 | Байт (Byte) |
| 10 | 1024 2^{10} | Кило (Kilo) |
| 16 | 65536 2^{16} | Дума (Word) |
| 20 | 1048576 2^{20} | Мега (Mega) |
| 30 | 1073741824 2^{30} | Гига (Giga) |
| 32 | 4294967296 2^{32} | Дълга дума (Long Word) |
| 40 | 1099511627776 2^{40} | Терабайт (Terra Byte)=1000GB |
| 50 | 1125899906842624 2^{50} | Petabyte |
| 64 | 18446744073709551616 2^{64} | Exbibyte |

Най-често използвана дължина (разрядност) за представяне на данните в МПС: 4, 8, 16, 32, 64.

Бройни системи за представяне на данните в МПС

| Десетична (0..9) | Двоична (бинарна) (0,1) | Шестнадесе- тична (0..9,A..F) | Осмична (октална) (0..7) | BCD (Binary Coded Decimal) - 8421 |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---|
| 0 | 0000 | 0 | 0 | 0000 |
| 1 | 0001 | 1 | 1 | 0001 |
| 2 | 0010 | 2 | 2 | 0010 |
| 3 | 0011 | 3 | 3 | 0011 |
| 4 | 0100 | 4 | 4 | 0100 |
| 5 | 0101 | 5 | 5 | 0101 |
| 6 | 0110 | 6 | 6 | 0110 |
| 7 | 0111 | 7 | 7 | 0111 |
| 8 | 1000 | 8 | 10 | 1000 |
| 9 | 1001 | 9 | 11 | 1001 |
| 10 | 1010 | A | 12 | |
| 11 | 1011 | B | 13 | |
| 12 | 1100 | C | 14 | |
| 13 | 1101 | D | 15 | |
| 14 | 1110 | E | 16 | |
| 15 | 1111 | F | 17 | |

Типове информация в КС

- **Логическа** – управляваща → 0,1
- **Числова**
 - За знак се използват 0, за положителни числа, и 1, за отрицателни
 - Знакът участва при сумирането на числата

Прав код: само за положителни числа

Примери: + 3 в прав код → 0, 0011;

+12 в прав код → 0, 1100

Обратен код: За положителни числа обратния код съвпада с правия код.

За отрицателни числа се получава от правия код на числото чрез инвертиране (заместване на всички нули с единици и единиците с нули). При него знаковите битове се обработват заедно с информационните.

Примери: - 3 в обратен код → 1, 1100

-12 в обратен код → 1, 0011

Допълнителен код: За положителни числа обратният код съвпада с правия код.

За отрицателни числа допълнителният код се получава като към обратния код се прибави единица в най младшия разряд.

Примери: -3 в допълнителен код → 1, 1101

-12 в допълнителен код → 1, 0100

Бройни системи - запис, преобразуване

- ❑ Преобразуване на число от двоичен в десетичен код:

$$10101101_2 = 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 128 + 32 + 8 + 4 + 1 = 173_{10}$$

- ❑ Преобразуване на число от десетичен в двоичен код:

Чрез делене на 2 с остатък - получават се частно и остатък, който се отделя /до получване на частно 0/. Остатъците (0 или 1) формират в обратен ред двоичния еквивалент.

$$\underline{148}:2=74 \rightarrow \text{остатък } 0; \text{ (LSB)}$$

$$74:2=37 \rightarrow \text{остатък } 0;$$

$$37:2=18 \rightarrow \text{остатък } 1;$$

$$18:2=9 \rightarrow \text{остатък } 0;$$

$$9:2=4 \rightarrow \text{остатък } 1;$$

$$4:2=2 \rightarrow \text{остатък } 0;$$

$$2:2=1 \rightarrow \text{остатък } 0;$$

$$1:2=0 \rightarrow \text{остатък } 1. \text{ (MSB)}$$



$$\text{т.е. } 148_{10} = 10010100_2$$

Бройни системи - запис, преобразуване

❑ Преобразуване на число от двоичен в шестнадесетичен код:

$1101\ 0011\ 1110_2$ - разделя се на полубайтове и за всеки от тях се съпоставя шестнадесетичният им еквивалент. За примера - $D3E_{16}$

❑ Преобразуване на число от шестнадесетичен в десетичен код:

Основата (16) се повдига в степен, съответстваща на теглото на всеки бит от числото и се умножава по десетичната му стойност. Получените резултати се сумират за получаване на крайния резултат в десетичен код:

$$D3E_{16} = 13 \cdot 16^2 + 3 \cdot 16^1 + 14 \cdot 16^0 = 3328 + 48 + 14 = 3390_{10}$$

Типове информация в КС

Символна – ASCII код (American Standard Code for Information Interchange)

Стандартизиран код за обмен на символна информация между микропроцесорни устройства: 128 7-битово кодирани буквени, цифрови, графични и контролни символи

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|-----|-------------|-------|---|---|---|---|-----|
| 0 | NUL | DLE | space | 0 | @ | P | ` | p |
| 1 | SOH | DC1 XON | ! | 1 | A | Q | a | q |
| 2 | STX | DC2 | " | 2 | B | R | b | r |
| 3 | ETX | DC3 XOFF | # | 3 | C | S | c | s |
| 4 | EOT | DC4 | \$ | 4 | D | T | d | t |
| 5 | ENQ | NAK | % | 5 | E | U | e | u |
| 6 | ACK | SYN | & | 6 | F | V | f | v |
| 7 | BEL | ETB | ' | 7 | G | W | g | w |
| 8 | BS | CAN | (| 8 | H | X | h | x |
| 9 | HT | EM |) | 9 | I | Y | i | y |
| A | LF | SUB | * | : | J | Z | j | z |
| B | VT | ESC | + | ; | K | [| k | { |
| C | FF | FS | , | < | L | \ | l | |
| D | CR | GS | - | = | M |] | m | } |
| E | SO | RS | . | > | N | ^ | n | ~ |
| F | SI | US | / | ? | O | _ | o | del |

Примери:

'ACK' (Acknowledge) : 06

'z' (малко z): 7A

'Z' (главно Z): 5A.

7-битово кодиране → по колона (3 бита) и по ред (4 бита).

ASCII код (American Standard Code for Information Interchange) – друго представяне

| Dec | Hex | Name | Char | Ctrl-char | Dec | Hex | Char | Dec | Hex | Char | Dec | Hex | Char |
|-----|-----|-------------------|------|-----------|-----|-----|-------|-----|-----|------|-----|-----|------|
| 0 | 0 | Null | NUL | CTRL-@ | 32 | 20 | Space | 64 | 40 | @ | 96 | 60 | ` |
| 1 | 1 | Start of heading | SOH | CTRL-A | 33 | 21 | ! | 65 | 41 | A | 97 | 61 | a |
| 2 | 2 | Start of text | STX | CTRL-B | 34 | 22 | " | 66 | 42 | B | 98 | 62 | b |
| 3 | 3 | End of text | ETX | CTRL-C | 35 | 23 | # | 67 | 43 | C | 99 | 63 | c |
| 4 | 4 | End of xmit | EOT | CTRL-D | 36 | 24 | \$ | 68 | 44 | D | 100 | 64 | d |
| 5 | 5 | Enquiry | ENQ | CTRL-E | 37 | 25 | % | 69 | 45 | E | 101 | 65 | e |
| 6 | 6 | Acknowledge | ACK | CTRL-F | 38 | 26 | & | 70 | 46 | F | 102 | 66 | f |
| 7 | 7 | Bell | BEL | CTRL-G | 39 | 27 | ' | 71 | 47 | G | 103 | 67 | g |
| 8 | 8 | Backspace | BS | CTRL-H | 40 | 28 | (| 72 | 48 | H | 104 | 68 | h |
| 9 | 9 | Horizontal tab | HT | CTRL-I | 41 | 29 |) | 73 | 49 | I | 105 | 69 | i |
| 10 | 0A | Line feed | LF | CTRL-J | 42 | 2A | * | 74 | 4A | J | 106 | 6A | j |
| 11 | 0B | Vertical tab | VT | CTRL-K | 43 | 2B | + | 75 | 4B | K | 107 | 6B | k |
| 12 | 0C | Form feed | FF | CTRL-L | 44 | 2C | , | 76 | 4C | L | 108 | 6C | l |
| 13 | 0D | Carriage feed | CR | CTRL-M | 45 | 2D | - | 77 | 4D | M | 109 | 6D | m |
| 14 | 0E | Shift out | SO | CTRL-N | 46 | 2E | . | 78 | 4E | N | 110 | 6E | n |
| 15 | 0F | Shift in | SI | CTRL-O | 47 | 2F | / | 79 | 4F | O | 111 | 6F | o |
| 16 | 10 | Data line escape | DLE | CTRL-P | 48 | 30 | 0 | 80 | 50 | P | 112 | 70 | p |
| 17 | 11 | Device control 1 | DC1 | CTRL-Q | 49 | 31 | 1 | 81 | 51 | Q | 113 | 71 | q |
| 18 | 12 | Device control 2 | DC2 | CTRL-R | 50 | 32 | 2 | 82 | 52 | R | 114 | 72 | r |
| 19 | 13 | Device control 3 | DC3 | CTRL-S | 51 | 33 | 3 | 83 | 53 | S | 115 | 73 | s |
| 20 | 14 | Device control 4 | DC4 | CTRL-T | 52 | 34 | 4 | 84 | 54 | T | 116 | 74 | t |
| 21 | 15 | Neg acknowledge | NAK | CTRL-U | 53 | 35 | 5 | 85 | 55 | U | 117 | 75 | u |
| 22 | 16 | Synchronous idle | SYN | CTRL-V | 54 | 36 | 6 | 86 | 56 | V | 118 | 76 | v |
| 23 | 17 | End of xmit block | ETB | CTRL-W | 55 | 37 | 7 | 87 | 57 | W | 119 | 77 | w |
| 24 | 18 | Cancel | CAN | CTRL-X | 56 | 38 | 8 | 88 | 58 | X | 120 | 78 | x |
| 25 | 19 | End of medium | EM | CTRL-Y | 57 | 39 | 9 | 89 | 59 | Y | 121 | 79 | y |
| 26 | 1A | Substitute | SUB | CTRL-Z | 58 | 3A | : | 90 | 5A | Z | 122 | 7A | z |
| 27 | 1B | Escape | ESC | CTRL-[| 59 | 3B | ; | 91 | 5B | [| 123 | 7B | { |
| 28 | 1C | File separator | FS | CTRL-\ | 60 | 3C | < | 92 | 5C | \ | 124 | 7C | |
| 29 | 1D | Group separator | GS | CTRL-] | 61 | 3D | = | 93 | 5D |] | 125 | 7D | } |
| 30 | 1E | Record separator | RS | CTRL-^ | 62 | 3E | > | 94 | 5E | ^ | 126 | 7E | ~ |
| 31 | 1F | Unit separator | US | CTRL-` | 63 | 3F | ? | 95 | 5F | ` | 127 | 7F | DEL |

ASCII код (American Standard Code for Information Interchange)

Разширена таблица за кодиране на символите от кирилица – 8-битово кодиране

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| — | | Г | Г | Л | Л | Т | Т | Т | Т | Т | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 |
| ▒ | ▒ | ▒ | Г | ■ | ● | √ | ≈ | ≤ | ≥ | nbsp | Ј | • | 2 | • | ÷ |
| 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 |
| = | | F | ё | П | Г | Г | П | Г | Е | Ц | Ц | Г | Ц | Г | Г |
| 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 | 170 | 171 | 172 | 173 | 174 | 175 |
| Г | Г | Г | Ё | Г | Г | Г | П | Г | Г | Г | Г | Г | Г | Г | © |
| 176 | 177 | 178 | 179 | 180 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 | 186 | 187 | 188 | 189 | 190 | 191 |
| Ю | а | б | ц | д | е | ф | г | х | и | й | к | л | м | н | о |
| 192 | 193 | 194 | 195 | 196 | 197 | 198 | 199 | 200 | 201 | 202 | 203 | 204 | 205 | 206 | 207 |
| п | я | р | с | т | у | ж | в | ь | ы | з | ш | э | щ | ч | ъ |
| 208 | 209 | 210 | 211 | 212 | 213 | 214 | 215 | 216 | 217 | 218 | 219 | 220 | 221 | 222 | 223 |
| Ю | А | Б | Ц | Д | Е | Ф | Г | Х | И | Й | К | Л | М | Н | О |
| 224 | 225 | 226 | 227 | 228 | 229 | 230 | 231 | 232 | 233 | 234 | 235 | 236 | 237 | 238 | 239 |
| П | Я | Р | С | Т | У | Ж | В | Ь | Ы | З | Ш | Э | Щ | Ч | Ъ |
| 240 | 241 | 242 | 243 | 244 | 245 | 246 | 247 | 248 | 249 | 250 | 251 | 252 | 253 | 254 | 255 |