

Struktura počítačů

Jan Outrata



KATEDRA INFORMATIKY
UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

přednášky

1 Úvod do počítačů

Co je to počítač, kategorie počítačů, historie vývoje počítačů. Architektura počítače (von Neumannova, harvardská) a princip jeho činnosti.

2 Binární logika

Číselné soustavy, Booleova algebra, logické operace a jejich vlastnosti, logické funkce a jejich úpravy, kombinační a sekvenční logické obvody.

3 Reprezentace dat

Kódování celých čísel a čísel s řádovou čárkou (fixní, plovoucí), kódování textu (ASCII, Unicode), detekční a samoopravné kódy.

4 Součásti počítače

Osobní počítač a jeho součásti (včetně skříně a zdroje napájení). Základní deska, (vnitřní) sběrnice, čipová sada (chipset), BIOS. Mikroprocesor (CPU), instrukce, procesory Intel. (Vnitřní) paměti ROM, RAM a cache.

5 Vnitřní součásti počítače

Přídavné karty: grafická, zvuková, síťová, multimediální. Rozhraní/sběrnice pro disková zařízení. Pevný disk (HDD), disková pole. Výměnné disky: disketa (floppy, FDD), optické disky, flash disky.

Anotace

Předmět je prvním ze dvou úvodních předmětů ke studiu technologicky zaměřených oblastí informatiky a seznamuje studenty se strukturou, součástmi, základními principy a technologiemi počítačů.

V rámci cvičení studenti řeší úlohy z oblastí číselných soustav, binární logiky a reprezentace dat. Samostatně také plní na přednáškách zadané domácí úkoly a seznámí se součástmi počítače a jejich činností.



- Null L.: *Essentials of Computer Organization and Architecture*, 5th Edition. Jones & Bartlett Learning, 2018.
- Hennessy J. L., Patterson D. A.: *Computer Architecture: A Quantitative Approach*, 6th Edition. Morgan Kaufmann, 2017.
- Brookshear J. G.: *Informatika*. Computer Press, 2013.
- Zelený J., Mannová B.: *Historie výpočetní techniky*. Scientia, 2006.
- Dembowski K.: *Mistrovství v hardware*. Computer Press, 2009.



Úvod

Co je to počítač?



Co je to počítač?

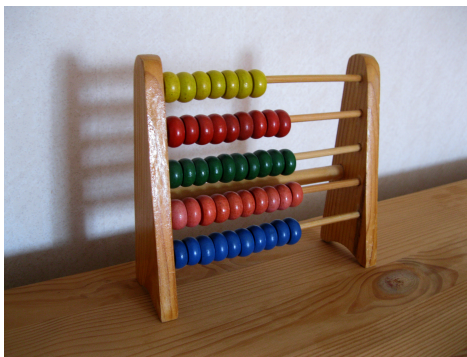


Počítač je stroj, který zpracovává data podle předem vytvořeného programu.

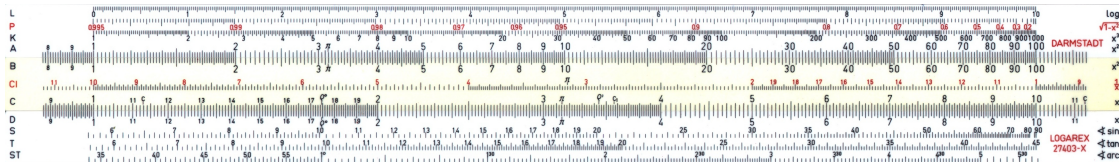
– česká Wikipedie, zjednodušeno

- do konce 19. st. počítací **pomůcky** a mechanické stroje ~ počítačový „pravěk“
- od počátku 20. st. elektromechanické a elektronické počítací stroje ~ historie **počítačů**:
 - nultá generace: WW2, unikátní (účelové) stroje, relé a elektronky, jednotky operací/s
 - první generace: 1946 až 1953, unikátní prototypy **mainframe (sálový počítač)**, elektronky, stovky až desítky tisíc operací/s
 - druhá generace: 1954 až 1963, (nekompatibilní) komerční sériové univerzální mainframe, tranzistory, desítky až stovky tisíc operací/s
 - třetí generace: 1964 až 1972, univerzální terminálové **minipočítače** a **superpočítače** (TOP 500), integrované obvody, miliony operací/s
 - čtvrtá generace: od 1973 dodnes, masové všeobecné **mikropočítače**, mikroprocesor, čipy, miliony až miliardy operací/s
 - od pol. 80 let („klasické“) **osobní počítače (personal computer, PC)**, počítačové sítě, klastry, Internet, mobily, ...
- další generace: od 20xx kvantové počítače?

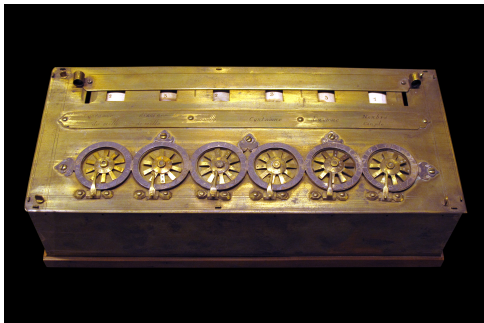
- do konce 19. st. počítací **pomůcky** a mechanické stroje ~ počítačový „pravěk“
- od počátku 20. st. elektromechanické a elektronické počítací stroje ~ historie **počítačů**:
 - nultá generace: WW2, unikátní (účelové) stroje, relé a elektronky, jednotky operací/s
 - první generace: 1946 až 1953, unikátní prototypy **mainframe (sálový počítač)**, elektronky, stovky až desítky tisíc operací/s
 - druhá generace: 1954 až 1963, (nekompatibilní) komerční sériové univerzální mainframe, tranzistory, desítky až stovky tisíc operací/s
 - třetí generace: 1964 až 1972, univerzální terminálové **minipočítače** a **superpočítače** (TOP 500), integrované obvody, miliony operací/s
 - čtvrtá generace: od 1973 dodnes, masové všeobecné **mikropočítače**, mikroprocesor, čipy, miliony až miliardy operací/s
 - od pol. 80 let („klasické“) **osobní počítače (personal computer, PC)**, počítačové sítě, klastry, Internet, mobily, ...
- další generace: od 20xx kvantové počítače?



Abacus (počítadlo, před 5 tis. lety), zdroj



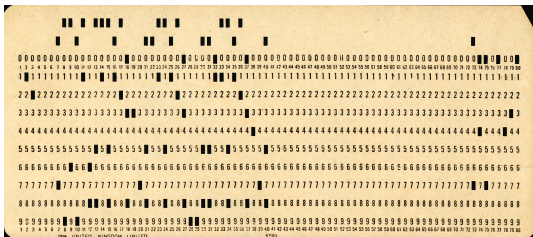
Logaritmické pravítko (17. st.), zdroj



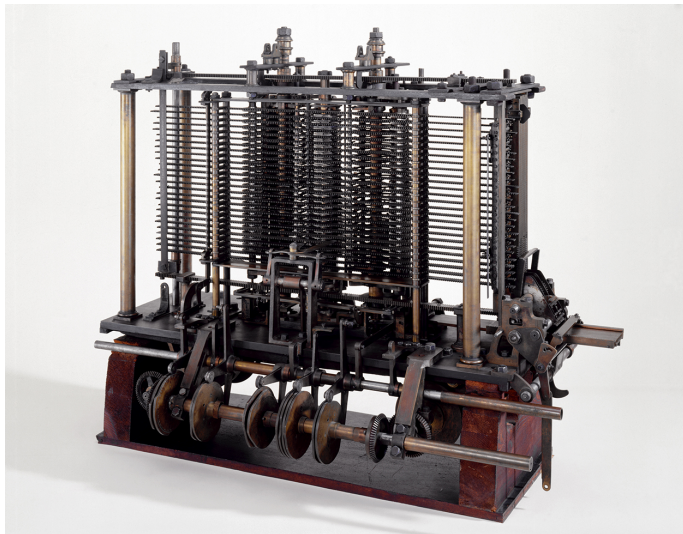
Pascaline (B. Pascal, 17. st.), zdroj



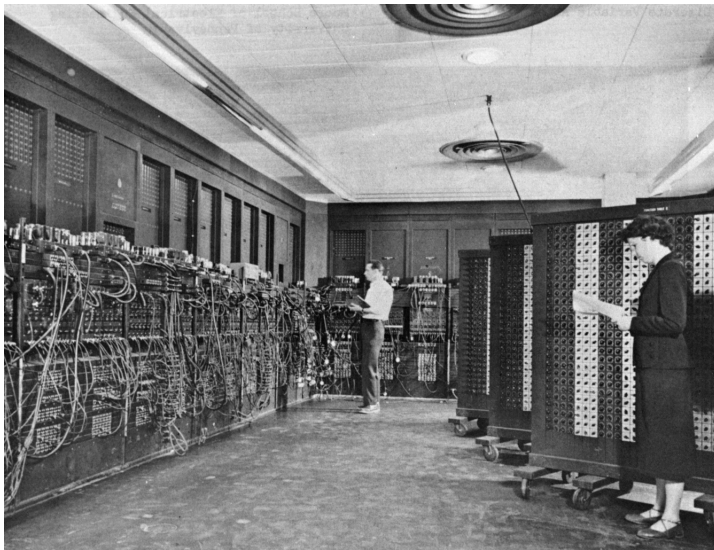
Děrná páska (18. st.), zdroj



Děrný štítek (18. st.), zdroj



Analytical Engine (výkonná část „mlýnek“, Ch. Babbage, 1833), zdroj



ENIAC (U Pennsylvania, 1946), zdroj



UNIVAC (Remington Rand, 1951), zdroj



IBM System/360 (1964), zdroj



DEC PDP-11 (1970), zdroj



Cray 1 (S. Cray, 1975), zdroj



Didaktik M (ČSSR, 1990), zdroj



IBM PC 5150 (1981), zdroj

Přečíst stránky Wikipedie k **historii vývoje počítačů** a souvisejícímu:

- **Dějiny počítačů,**

 - https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C4%9Bjiny_po%C4%8D%C3%ADta%C4%8D%C5%AF

- **History of computing hardware,**

 - https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_computing_hardware

- **History of computing hardware (1960s--present),**

 - [https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_computing_hardware_\(1960s-present\)](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_computing_hardware_(1960s-present))

- **History of personal computers,**

 - https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_personal_computers

- **History of computer science,**

 - https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_computer_science

- **History of operating systems,**

 - https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_operating_systems

- **History of programming languages,**

 - https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_programming_languages

- **History of software,**

 - https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_software

- John von Neumann, 1945, Princeton Institute for Advanced Studies, USA
- koncepce **řízení počítače programem uloženým v (operační) paměti**
- v principiálním základu dle ní i současné počítače (až na paralelizace, integrace aj.)

Součásti počítače:

- **procesor (CPU): řadič (řídící jednotka) (CU) + aritmeticko-logická jednotka (ALU)**
- **operační paměť:** lineárně rozdělená na stejně velké buňky s dynamickým přístupem pomocí adres
- **vstupní a výstupní (I/O) zařízení**
- propojené **sběrnici** (soustavy vodičů, původně jedna systémová)
- stejné už od pol. 19. st. (Analytical Engine, Babbage, 1833) – až na řešení paměti
- prototypový počítač EDVAC (1949) a další

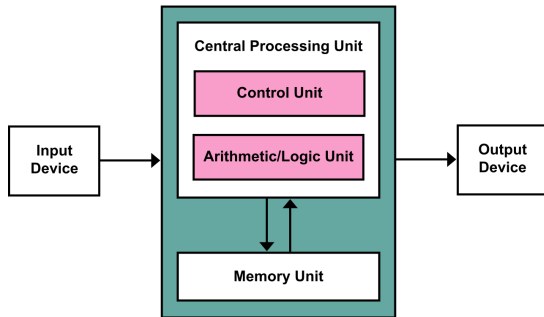


Schéma von Neumannovy architektury počítače,
[zdroj](#)



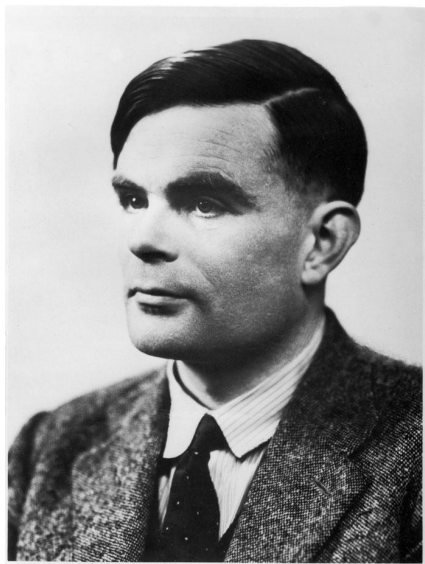
John von Neumann, zdroj



EDVAC (1949, USA), zdroj

Charakteristiky:

- **program** = zápis (logicky správně definovaného) předpisu – algoritmu – pro řešení úlohy, posloupnost elementárních kroků, tzv. instrukcí
- **instrukce** = interpretovaná (**binární**) **data** – mezi programem a zpracovávanými daty není z technického hlediska rozdíl
- **program a data** načtené do **jedné společné operační paměti** – nelze číst současně (von Neumann bottleneck)
- **činnost počítače**: řadič s využitím ALU vykonává instrukce programu nad vstupními daty, obojí čtené z paměti (příp. vstupního zařízení), výsledná data zapisována do paměti (příp. výstupního zařízení)
- **instrukce programu vykonávány postupně (sekvenčně)** v pořadí uložení v programu/paměti – výjimky instrukce skoků, jednodušší řízení
- CU: operace pro vykonávání programu, ALU: základní výpočetní operace, I/O zařízení: od/pro uživatele i úložná
- **programovatelnost a univerzálnost počítače** (simulace tzv. Turingova stroje, A. Turing, 1936), efektivita výpočtu



Alan Turing, zdroj

Postupná vylepšení:

- **řadiče I/O zařízení a přerušení** – souběžná funkce zařízení nezávisle na CPU a přerušení činnosti CPU, více programů „současně“ (multitasking)
- **kanály** – přenosy dat mezi operační pamětí a I/O zařízením (jeho řadičem) nezávisle na CPU, dnes tzv. DMA kanály
- více sběrnic – paměťová, I/O
- **virtuální paměť** – postupné načítání programu do paměti podle potřeby
- **paralelizace** vykonávání instrukcí – více následujících instrukcí souběžně
- mikroprogramový řadič CPU – instrukce jako (dynamické) „mikroprogramy“ z mikroinstrukcí
- mezipaměť (cache) – kompenzace různé rychlosti CPU, operační paměti a I/O zařízení
- více procesorů – vykonávání více programů (skutečně) současně
- **integrace** cache a některých I/O zařízení do CPU – řadiče sběrnic, grafické, síťové, ...

- stejná jako von Neumannova, až na:
- **oddělené paměti pro program a pro data** – lze číst současně
- i více pamětí s **paralelním přístupem**, paměť programu často jen pro čtení

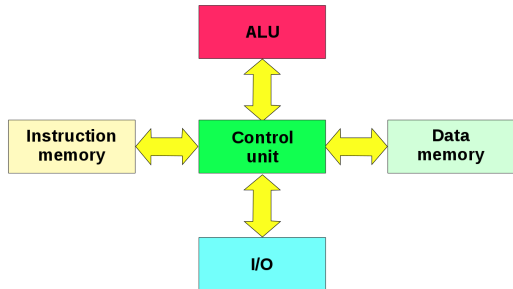


Schéma harvardské architektury počítače, zdroj

- modifikovaná (interně) v současných CPU – zvláště instrukční a datová cache
- specializovaná použití: (programovatelné) mikrokontroléry (např. Atmel), kalkulátory, DSP audio/video procesory



Číselné soustavy

Počítač = počítačící stroj ... počítání s čísly (původně)

Člověk:

- deset hodnot a symbolů pro ně: číslice **0** až **9**
- pro reprezentaci (zápis) čísla použití **desítkové (dekadické) poziční číselné soustavy**: číslo jako součet mocninné řady o základu (radixu) 10, zápis = posloupnost symbolů pro koeficienty řady, pozice (pořadí) symbolu určuje mocninu (řád)

$$(1024)_{10} = 1 \cdot 10^3 + 0 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0$$

- jiné číselné soustavy: dvanáctková (hodiny), šedesátková (minuty, sekundy), dvacítková (dřívější platidla) aj.

Počítač:

- první (elektro)mechanické počítačí stroje dekadické (tj. používající desítkovou soustavu) – u součástí potřeba 10 stabilních stavů (pro deset hodnot)
- elektromechanické a elektronické součásti: nejnadhěji realizovatelné **2 stabilní stavy** pro 2 hodnoty, symboly (číslíce) **0** a **1** (\Rightarrow **digitální zařízení/elektronika**)
- pro reprezentaci (zápis) čísla použití **dvojkové (binární) poziční číselné soustavy**: číslo jako součet mocninné řady o základu 2, zápis = posloupnost symbolů pro koeficienty, pozice symbolu určuje mocninu

$$(11)_{10} = (1011)_2 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

- další typy dat (čísla s řádovou čárkou, znaky a texty, obrázky, zvuky, videa atd.) odvozeny od (celých) čísel \Rightarrow **binární reprezentace** všech typů dat

Počítač:

- první (elektro)mechanické počítačí stroje dekadické (tj. používající desítkovou soustavu) – u součástí potřeba 10 stabilních stavů (pro deset hodnot)
- elektromechanické a elektronické součásti: nejnadhěji realizovatelné **2 stabilní stavy** pro 2 hodnoty, symboly (číslice) **0** a **1** (\Rightarrow **digitální zařízení/elektronika**)
- pro reprezentaci (zápis) čísla použití **dvojkové (binární) poziční číselné soustavy**: číslo jako součet mocninné řady o základu 2, zápis = posloupnost symbolů pro koeficienty, pozice symbolu určuje mocninu

$$(11)_{10} = (1011)_2 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

- další typy dat (čísla s řádovou čárkou, znaky a texty, obrázky, zvuky, videa atd.) odvozeny od (celých) čísel \Rightarrow **binární reprezentace** všech typů dat

Počítač pro člověka:

- použití (pozičních) číselných soustav o základu 2^k (\approx „kompromis“)
 - **osmičkové (oktalové)**: symboly (číslice) **0** až **7**
 - **šestnáctkové (hexadecimální)**: symboly (číslice) **0** až **9** a **A** až **F**

Věta (O reprezentaci přirozených čísel (včetně 0))

Libovolné přirozené číslo N (včetně 0) lze vyjádřit jako součet mocninné řady o základu $B \geq 2, B \in \mathbb{N}$:

$$N = a_{n-1} \cdot B^{n-1} + a_{n-2} \cdot B^{n-2} + \dots + a_1 \cdot B^1 + a_0 \cdot B^0,$$

kde $0 \leq a_i < B, a_i \in \mathbb{N}$ jsou koeficienty řady.

Číslo N se (v poziční číselné soustavě o základu B) zapisuje jako řetěz symbolů (číslic) S_i pro koeficienty a_i zleva v pořadí pro i od $n - 1$ k 0:

$$(S_{n-1}S_{n-2} \dots S_1S_0)_B$$

Získání (hodnoty) čísla N z jeho zápisu $(S_{n-1}S_{n-2}\dots S_1S_0)_B$ – postupným přičítáním:

$$N = a_0$$

$$B' = B$$

for $i = 1$ **to** $n - 1$ **do**

$$N = N + a_i * B'$$

$$B' = B' * B$$

pro $(1024)_{10}$ ($B = 10, n = 4, a_3 = 1, a_2 = 0, a_1 = 2, a_0 = 4$):

$$N = 4, B' = 10$$

$$i = 1 : N = 24, B' = 100$$

$$i = 2 : N = 24, B' = 1000$$

$$i = 3 : N = 1024, B' = 10000$$

Získání (hodnoty) čísla N z jeho zápisu $(S_{n-1}S_{n-2}\dots S_1S_0)_B$ – postupným přičítáním:

```
 $N = a_0$   
 $B' = B$   
for  $i = 1$  to  $n - 1$  do  
   $N = N + a_i * B'$   
   $B' = B' * B$ 
```

```
pro  $(1024)_{10}$  ( $B = 10, n = 4, a_3 = 1, a_2 = 0, a_1 = 2, a_0 = 4$ ):  
 $N = 4, B' = 10$   
 $i = 1 : N = 24, B' = 100$   
 $i = 2 : N = 24, B' = 1000$   
 $i = 3 : N = 1024, B' = 10000$ 
```

Získání zápisu $(S_{n-1}S_{n-2}\dots S_1S_0)_B$ (hodnoty) čísla N – postupným odečítáním:

```
 $B' = 1, i = 0$   
while  $B' * B \leq N$  do  
   $B' = B' * B$   
   $i = i + 1$   
for  $i$  to  $0$  do  
   $a_i = N / B'$  ; celočíselné dělení  
   $N = N - a_i * B'$  ;  $= N \bmod B'$  (zbytek)  
   $B' = B' / B$ 
```

```
pro  $N = 1024, B = 10$ :  
 $B' = 1, i = 0$   
 $10 \leq 1024 : B' = 10, i = 1$   
 $100 \leq 1024 : B' = 100, i = 2$   
 $1000 \leq 1024 : B' = 1000, i = 3$   
 $10000 \not\leq 1024$   
 $i = 3 : a_i = 1, N = 24, B' = 100$   
 $i = 2 : a_i = 0, N = 24, B' = 10$   
 $i = 1 : a_i = 2, N = 4, B' = 1$   
 $i = 0 : a_i = 4, N = 0, B' = 0$ 
```

Hodnota čísla vs. jeho zápis (rychleji)



$$\begin{aligned} N &= a_{n-1} \cdot B^{n-1} + a_{n-2} \cdot B^{n-2} + \dots + a_1 \cdot B + a_0 \\ &= (\dots (\mathbf{a}_{n-1} \cdot \mathbf{B} + \mathbf{a}_{n-2}) \cdot \mathbf{B} + \dots + \mathbf{a}_1) \cdot \mathbf{B} + \mathbf{a}_0 \end{aligned}$$

Hodnota čísla vs. jeho zápis (rychleji)



$$\begin{aligned} N &= a_{n-1} \cdot B^{n-1} + a_{n-2} \cdot B^{n-2} + \dots + a_1 \cdot B + a_0 \\ &= (\dots (\mathbf{a}_{n-1} \cdot \mathbf{B} + \mathbf{a}_{n-2}) \cdot \mathbf{B} + \dots + \mathbf{a}_1) \cdot \mathbf{B} + \mathbf{a}_0 \end{aligned}$$

Získání (hodnoty) čísla N z jeho zápisu $(S_{n-1}S_{n-2}\dots S_1S_0)_B$ – postupným násobením:

```
 $N = a_{n-1}$   
for  $i = n - 2$  to  $0$  do  
   $N = N * B + a_i$ 
```

```
pro  $(1024)_{10}$  ( $B = 10, n = 4, a_3 = 1, a_2 = 0, a_1 = 2, a_0 = 4$ ):  
 $N = 1$   
 $i = 2 : N = 10$   
 $i = 1 : N = 102$   
 $i = 0 : N = 1024$ 
```

Hodnota čísla vs. jeho zápis (rychleji)



$$\begin{aligned} N &= a_{n-1} \cdot B^{n-1} + a_{n-2} \cdot B^{n-2} + \dots + a_1 \cdot B + a_0 \\ &= (\dots (a_{n-1} \cdot B + a_{n-2}) \cdot B + \dots + a_1) \cdot B + a_0 \end{aligned}$$

Získání (hodnoty) čísla N z jeho zápisu $(S_{n-1}S_{n-2}\dots S_1S_0)_B$ – postupným násobením:

```
 $N = a_{n-1}$   
for  $i = n - 2$  to  $0$  do  
   $N = N * B + a_i$ 
```

```
pro  $(1024)_{10}$  ( $B = 10, n = 4, a_3 = 1, a_2 = 0, a_1 = 2, a_0 = 4$ ):  
 $N = 1$   
 $i = 2 : N = 10$   
 $i = 1 : N = 102$   
 $i = 0 : N = 1024$ 
```

Získání zápisu $(S_{n-1}S_{n-2}\dots S_1S_0)_B$ (hodnoty) čísla N – postupným dělením:

```
 $a_0 = N \bmod B$   
 $i = 1$   
while  $N \geq B$  do  
   $N = N / B$  ; celočíselné dělení  
   $a_i = N \bmod B$  ; zbytek  
   $i = i + 1$ 
```

```
pro  $N = 1024, B = 10$ :  
 $a_0 = 4, i = 1$   
 $1024 \geq 10 : N = 102, a_1 = 2, i = 2$   
 $102 \geq 10 : N = 10, a_2 = 0, i = 3$   
 $10 \geq 10 : N = 1, a_3 = 1, i = 4$   
 $1 \not\geq 10$ 
```

- 1 získání (hodnoty) čísla N z jeho zápisu $(S_{n-1}S_{n-2} \dots S_1S_0)_{B_z}$ (v soustavě o základu B_z)
- 2 získání zápisu $(S_{n-1}S_{n-2} \dots S_1S_0)_{B_{na}}$ (hodnoty) čísla N (v soustavě o základu B_{na})
 - jednodušší převod zápisu čísla v soustavě o základu B^k ($k \in \mathbb{N}$) na zápis v soustavě o základu B , a naopak:

každý symbol soustavy o základu B^k zapisující nějaké číslo nahradíme k -ticí symbolů soustavy o základu B zapisující stejné číslo, a naopak (k -tice symbolů v zápisu brány zprava, chybějící symboly nahrazeny 0)

pro $B = 2, k = 4, 3, 2, 1$:

$$(4CD)_{16} = (2315)_8 = (103031)_4 = (010011001101)_2$$

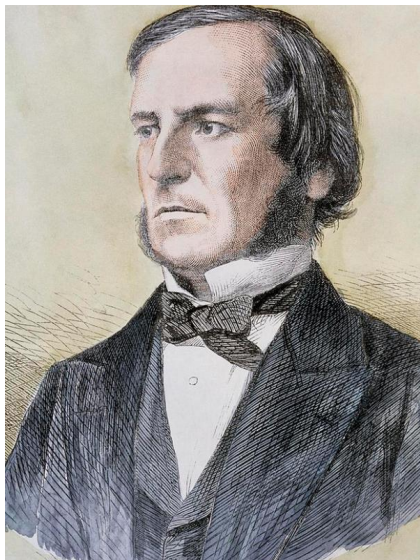
- 1 Pro několik čísel zjistěte (hodnotu) čísla z jeho zápisů ve dvojkové, osmičkové, desítkové a šestnáctkové soustavě.
- 2 Pro několik čísel zjistěte zápis (hodnoty) čísla ve dvojkové, osmičkové, desítkové a šestnáctkové soustavě.
- 3 Pro několik čísel převedte zápis čísla mezi dvojkovou, osmičkovou a šestnáctkovou soustavou.



Binární logika

Počítač = digitální zařízení (2 stabilní stavy součástí) . . . základní operace dvouhodnotové
⇒ binární logika

- formální logický základ: **výroková logika** – zkoumá pravdivostní hodnotu výroků (pravda/nepravda, spojky/operátory “neplatí, že” → operace negace \neg , “a současně platí” → konjunkce \wedge , “nebo platí” → disjunkce \vee , “jestliže platí, pak platí” → implikace \Rightarrow aj.)
- výroky jako **logické výrazy** vyhodnocované na hodnoty (pravda/nepravda, 1/0)
- matematický aparát pro práci s dvouhodnotovými log. výrazy: **Booleova algebra (binární/dvouhodnotová logika)** (G. Boole, 1854) – použití i u množin
- fyzická realizace: (elektronické binární) **logické obvody** (C. E. Shannon, 1937) – základ digitálních zařízení
- univerzální, teoreticky zvládnutá, efektivně realizovatelná logickými obvody



George Boole, [zdroj](#)



Claude Elwood Shannon, [zdroj](#)

Logická proměnná x

- veličina nabývající dvou možných diskrétních logických hodnot: 0 (nepravda) a 1 (pravda)
- definice: $x = 1$ jestliže $x \neq 0$ a $x = 0$ jestliže $x \neq 1$

Logická funkce $f(x_1, \dots, x_n)$

- funkce n logických proměnných x_1, \dots, x_n ($= n$ -ární funkce) nabývající dvou možných diskrétních hodnot 0 (nepravda) a 1 (pravda)
- logická proměnná = logická funkce identity proměnné, skládání funkcí
- základní = **logické operace**

Logická proměnná x

- veličina nabývající dvou možných diskrétních logických hodnot: 0 (nepravda) a 1 (pravda)
- definice: $x = 1$ jestliže $x \neq 0$ a $x = 0$ jestliže $x \neq 1$

Logická funkce $f(x_1, \dots, x_n)$

- funkce n logických proměnných x_1, \dots, x_n ($= n$ -ární funkce) nabývající dvou možných diskrétních hodnot 0 (nepravda) a 1 (pravda)
- logická proměnná = logická funkce identity proměnné, skládání funkcí
- základní = **logické operace**

Booleova algebra (binární logika)

- algebra („matematika“) logických proměnných a logických funkcí
- dvouhodnotová algebra, algebra dvou stavů
- relace rovnosti: $f = g$, právě když ($f = 1$ a $g = 1$) nebo ($f = 0$ a $g = 0$)

3 základní:

Negace (inverze)

- pravdivá, když operand nepravdivý, jinak nepravdivá

x	\bar{x}
0	1
1	0

- operátory: \bar{x} , NOT x , $\neg x$ (výrokově negace, algebraicky negace), \bar{X} (množinově doplněk)

Logický součin (konjunkce)

- pravdivá, když oba operandy pravdivé, jinak nepravdivá

x	y	$x \cdot y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- operátory: $x \cdot y / xy$ (prázdný), x AND y , $x \wedge y$ (výrokově konjunkce, algebraický průsek), $X \cap Y$ (množinově průnik)

Logický součet (disjunkce)

- nepravdivá, když oba operandy nepravdivé, jinak pravdivá

x	y	$x + y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

- operátory: $x + y$, $x \text{ OR } y$, $x \vee y$ (výrokově disjunkce, algebraicky spojení), $X \cup Y$ (množinově sjednocení)

Logický výraz

= korektně vytvořená posloupnost (symbolů) logických proměnných a funkcí (operátorů) spolu se závorkami

- priority sestupně: negace, log. součin, log. součet

- např. $x \cdot \bar{y} + f(x, z) = (x \cdot (\bar{y})) + f(x, z)$

= zápis logické funkce

Logická rovnice

= dva logické výrazy v relaci rovnosti =

- ekvivalentní úpravy = zachování (pravdivosti) rovnosti výrazů: např. negace obou stran, logický součin/součet obou stran se stejným výrazem, ..., log. funkce obou stran se stejnými ostatními operandy funkce

- NEkvivalentní úpravy: “krácení” obou stran o stejný (pod)výraz, např. $x + y = x + z$ na $y = z$

Axiomy (Booleovy algebry)

■ komutativita:

$$x \cdot y = y \cdot x \quad x + y = y + x$$

■ distributivita:

$$x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z \quad x + y \cdot z = (x + y) \cdot (x + z)$$

■ identita/neutrálnost (existence neutrální hodnoty):

$$\mathbf{1} \cdot x = x \quad \mathbf{0} + x = x$$

■ komplementárnost:

$$x \cdot \bar{x} = \mathbf{0} \quad x + \bar{x} = \mathbf{1}$$

Vlastnosti základních logických operací

■ agresivita (nuly a jedničky):

$$\mathbf{0} \cdot x = \mathbf{0} \quad \mathbf{1} + x = \mathbf{1}$$

■ idempotence:

$$x \cdot x = x \quad x + x = x$$

■ asociativita:

$$x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot z \quad x + (y + z) = (x + y) + z$$

■ involuce (dvojitá negace):

$$\overline{\overline{x}} = x$$

■ De Morganovy zákony:

$$\overline{x \cdot y} = \overline{x} + \overline{y} \quad \overline{x + y} = \overline{x} \cdot \overline{y}$$

■ absorpce:

$$x \cdot (x + y) = x \quad x + x \cdot y = x$$

■ a další



Vlastnosti základních logických operací – použití

- důkazy: s využitím axiomů a již dokázaných vlastností, rozbořem případů (přiřazením všech možných kombinací hodnot **0** a **1** proměnným)
- ekvivalentní úpravy logických výrazů – pro jejich zjednodušení
- ...

Implikace

- nepravdivá, když první operand pravdivý a druhý nepravdivý, jinak pravdivá

x	y	$x \rightarrow y$
0	0	I
0	I	I
I	0	0
I	I	I

- operátory: $x \rightarrow y$, $x \rightarrow y$ (výrokově i algebraicky implikace), $X \subseteq Y$ (množinově podmnožina)

Ekvivalence

- pravdivá, když operandy mají stejnou hodnotu, jinak nepravdivá

x	y	$x \equiv y$
0	0	I
0	I	0
I	0	0
I	I	I

- operátory: $x \equiv y$, $x \text{ XNOR } y$, $x \equiv y$ (výrokově i algebraicky ekvivalence), $X \equiv Y$ (množinově ekvivalence nebo rovnost)

Nonekvivalence (negace ekvivalence, aritmetický součet modulo 2)

- pravdivá, když operandy mají různou hodnotu, jinak nepravdivá

x	y	$x \oplus y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- operátory: $x \oplus y$, x XOR y , $x \not\equiv y$ (výrokově i algebraicky negace ekvivalence), $X \not\equiv Y$ (množinově negace ekvivalence)

Shefferova funkce (negace logického součinu)

- nepravdivá, když oba operandy pravdivé, jinak pravdivá

x	y	$x \uparrow y$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- operátory: $x \uparrow y$, $x \text{ NAND } y$

Piercova funkce (negace logického součtu)

- pravdivá, když oba operandy nepravdivé, jinak nepravdivá

x	y	$x \downarrow y$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

- operátory: $x \downarrow y$, $x \text{ NOR } y$

■ zadání **pravdivostní tabulkou**:

- úplně – funkční hodnota $f(x_i)$ definována pro všech 2^n možných přiřazení hodnot proměnným $x_i, 0 \leq i < n$
- neúplně – funkční hodnota pro některá přiřazení není definována

■ **základní tvary** (výrazu):

- **součinný (úplná konjunktivní normální forma, ÚKNF)** – log. součin log. součtů všech proměnných nebo jejich negací (úplných elementárních disjunkcí, ÚED)

$$(X_0 + \dots + X_{n-1}) \cdot \dots \cdot (X_0 + \dots + X_{n-1}) \quad X_i = x_i \text{ nebo } \bar{x}_i \text{ (literál)}$$

- **součtový (úplná disjunktivní normální forma, ÚDNF)** – log. součet log. součinů všech proměnných nebo jejich negací (úplných elementárních konjunkcí, ÚEK)

$$(X_0 \cdot \dots \cdot X_{n-1}) + \dots + (X_0 \cdot \dots \cdot X_{n-1}) \quad X_i = x_i \text{ nebo } \bar{x}_i$$

Převod log. funkce $f(x_i)$ na základní tvar (normální formu)

- ekvivalentními úpravami a doplněním chybějících proměnných nebo jejich negací
- **tabulkovou metodou:**
 - 1 řádky pro všechna možná přiřazení hodnot všem proměnným x_i funkce (2^n pro $0 \leq i < n$)
 - 2 pro řádky s $f(x_i) = 0/I$ sestroj log. součet/součin všech x_i pro $x_i = 0/I$ nebo \bar{x}_i pro $x_i = I/0$
 - 3 výsledná ÚKNF/ÚDNF je log. součinem/součtem těchto log. součtů/součinů (ÚED/ÚEK)

x	y	z	$f(x, y, z)$	ÚED	ÚEK
0	0	0	0	$x + y + z$	
0	0	1	0	$x + y + \bar{z}$	
0	1	0	0	$x + \bar{y} + z$	
0	1	1	1		$\bar{x} \cdot y \cdot z$
1	0	0	0	$\bar{x} + y + z$	
1	0	1	1		$x \cdot \bar{y} \cdot z$
1	1	0	1		$x \cdot y \cdot \bar{z}$
1	1	1	1		$x \cdot y \cdot z$

$$\text{ÚKNF}(f(x, y, z)): (x + y + z) \cdot (x + y + \bar{z}) \cdot (x + \bar{y} + z) \cdot (\bar{x} + y + z)$$

$$\text{ÚDNF}(f(x, y, z)): \bar{x} \cdot y \cdot z + x \cdot \bar{y} \cdot z + x \cdot y \cdot \bar{z} + x \cdot y \cdot z$$



Převeďte několik log. funkcí se třemi a více proměnnými do ÚKNF a ÚDNF.

Zjednodušení výrazu logické funkce

= optimalizace za účelem dosažení co nejmenšího počtu operátorů (v kompromisu s min. počtem druhů operátorů)

Algebraická minimalizace

$$f = \bar{x} \cdot y \cdot z + x \cdot \bar{y} \cdot z + x \cdot y \cdot \bar{z} + x \cdot y \cdot z$$

// dvakrát přičteme $x \cdot y \cdot z$ (idempotence)

$$f = (\bar{x} \cdot y \cdot z + x \cdot y \cdot z) + (x \cdot \bar{y} \cdot z + x \cdot y \cdot z) + (x \cdot y \cdot \bar{z} + x \cdot y \cdot z)$$

// distributivita

$$f = y \cdot z \cdot (\bar{x} + x) + x \cdot z \cdot (\bar{y} + y) + x \cdot y \cdot (\bar{z} + z) // \text{komplementárnost}$$

$$f = x \cdot y + y \cdot z + x \cdot z$$

- pro složitější výrazy intelektuálně náročná (podobně jako důkaz) – kdy jaké ekvivalentní úpravy?

Zjednodušení výrazu logické funkce

Karnaughova metoda (Veitch diagram)

- nahrazení algebraických ekvivalentních úprav algoritmickými geometrickými postupy
 - nalezení minimálního výrazu funkce v (neúplném) součtovém tvaru
- 1 pro n proměnných funkce tabulka s 2^n buňkami, v maximálně stejném počtu řádků a sloupců, reprezentujícími všechny možné log. součiny (ÚEK) základního součtového tvaru (ÚDNF), součiny reprezentované sousedními buňkami se liší právě v jednom literálu
 - 2 pro výraz funkce v ÚDNF tzv. **Karnaughova mapa (K-mapa)** = vyplnění tabulky **I** v buňkách reprezentujících ÚEK
 - 3 nalezení minimálního počtu skupin buněk v mapě, tvořících maximální obdélníkové oblasti buněk obsahujících pouze **I** v počtu mocniny 2 (i jedna), a pokrývajících všechny **I** v mapě (skupiny se mohou překrývat a krajní buňky jsou také „sousední“ v oblasti)
 - 4 součiny, reprezentované buňkami ve skupinách, po vyřazení proměnných vyskytujících se i s jejich negací = log. součiny výsledného (neúplného) součtového tvaru

Zjednodušení výrazu logické funkce

Karnaughova metoda (Veitch diagram)

$$f = \bar{x} \cdot y \cdot z + x \cdot \bar{y} \cdot z + x \cdot y \cdot \bar{z} + x \cdot y \cdot z$$

	$\bar{x} \cdot \bar{y}$	$\bar{x} \cdot y$	$x \cdot y$	$x \cdot \bar{y}$
\bar{z}			1	
z		1	1	1

Obrázek: Karnaughova mapa

$$f = x \cdot y + y \cdot z + x \cdot z$$

- pro složitější výrazy (funkcí více proměnných) výpočetně náročná – hledání skupin
- Další algoritmické metody: tabulační (Quine-McCluskey), branch-and-bound (Petrick), Espresso logic minimizer aj.



Pokuste se minimalizovat log. funkce z přechozího úkolu.



Věta (O počtu log. funkcí)

Existuje právě $2^{(2^n)}$ logických funkcí s n proměnnými (n -árních).

Věta (O počtu log. funkcí)

Existuje právě $2^{(2^n)}$ logických funkcí s n proměnnými (n -árních).

Funkce f^0 žádné proměnné
(konstantní, nulární)

f_0	f_1
0	I

Funkce f^1 jedné proměnné (unární)

x	f_0	f_1	f_2	f_3
	0	x	\bar{x}	I
0	0	0	I	I
I	0	I	0	I

Funkce f^2 dvou proměnných (binární)

x	y	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}
		0	\cdot		x		y	\oplus	$+$	\downarrow	\equiv	\bar{y}		\bar{x}	\rightarrow	\uparrow	I
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I	I	I	I	I	I
0	I	0	0	0	I	I	I	I	I	0	0	0	0	I	I	I	I
I	0	0	0	I	I	0	0	I	I	0	0	I	I	0	0	I	I
I	I	0	I	0	I	0	I	0	I	0	I	0	I	0	I	0	I

Funkce více než dvou proměnných

pro $n = 3$ (ternární funkce):

$$\begin{aligned}f(x, y, z) &= x \cdot f(\mathbf{1}, y, z) + \bar{x} \cdot f(\mathbf{0}, y, z) \\ &= (\bar{x} + f(\mathbf{1}, y, z)) \cdot (x + f(\mathbf{0}, y, z))\end{aligned}$$

a podobně pro $n > 3$

Funkce více než dvou proměnných

pro $n = 3$ (ternární funkce):

$$\begin{aligned}f(x, y, z) &= x \cdot f(\mathbf{1}, y, z) + \bar{x} \cdot f(\mathbf{0}, y, z) \\ &= (\bar{x} + f(\mathbf{1}, y, z)) \cdot (x + f(\mathbf{0}, y, z))\end{aligned}$$

a podobně pro $n > 3$

Věta (O reprezentaci log. funkcí, Shannonův expanzní teorém)

Jakoukoliv logickou funkci libovolného počtu proměnných lze vyjádřit pomocí logických funkcí dvou proměnných (binárních, např. logických operací).

Úplný systém logických funkcí

- = množina log. funkcí, pomocí kterých je možné vyjádřit jakoukoliv log. funkci (libovolného počtu proměnných)
- množina binárních log. funkcí (Věta o reprezentaci log. funkcí)
 - (1) negace \bar{x} , log. součin $x \cdot y$ a log. součet $x + y$
 - (2) negace \bar{x} a implikace $x \rightarrow y$
 - a další

Úplný systém logických funkcí

= množina log. funkcí, pomocí kterých je možné vyjádřit jakoukoliv log. funkci (libovolného počtu proměnných)

→ množina binárních log. funkcí (Věta o reprezentaci log. funkcí)

- (1) negace \bar{x} , log. součin $x \cdot y$ a log. součet $x + y$
- (2) negace \bar{x} a implikace $x \rightarrow y$
- a další

Minimální úplný systém logických funkcí

= úplný systém, ze kterého nelze žádnou funkci vyjmout tak, aby zůstal úplný

- (1) NENÍ
- (2) JE
- (3) negace \bar{x} a log. součin $x \cdot y$
- (4) negace \bar{x} a log. součet $x + y$
- a další

Minimální úplný systém logických funkcí

Jediná funkce:

- **Shefferova** \uparrow (negace log. součinu)
- **Piercova** \downarrow (negace log. součtu)

Minimální úplný systém logických funkcí

Jediná funkce:

- **Shefferova** \uparrow (negace log. součinu)
- **Piercova** \downarrow (negace log. součtu)

Vyjádření logické funkce pomocí Shefferovy nebo Piercovy funkce

- 1 vyjádření funkce v základním součtovém tvaru (ÚDNF)
- 2 zjednodušení ÚDNF funkce, např. pomocí Karnaughovy metody
- 3 aplikace De Morganových zákonů, involuce a idempotence pro úpravu výrazu do tvaru, který obsahuje pouze Shefferovy nebo pouze Piercovy funkce

Vyjádření logické funkce pomocí Shefferovy nebo Piercovy funkce

$$f = \bar{x} \cdot y \cdot z + x \cdot \bar{y} \cdot z + x \cdot y \cdot \bar{z} + x \cdot y \cdot z$$

$$f = x \cdot y + y \cdot z + x \cdot z$$

$$f = \overline{\bar{x} \cdot \bar{y} \cdot \bar{y} \cdot \bar{z}} + x \cdot z$$

$$f = \overline{\overline{\overline{\overline{x \cdot y \cdot y \cdot z} \cdot \overline{x \cdot z}}}}$$

$$f = \overline{\overline{\overline{\overline{\overline{x \cdot y \cdot y \cdot z} \cdot \overline{x \cdot y \cdot y \cdot z} \cdot \overline{x \cdot z}}}}}$$

$$f = (\bar{x} + y + z) \cdot (x + \bar{y} + z) \cdot (x + y + \bar{z}) \cdot (x + y + z)$$

$$f = (x + y) \cdot (y + z) \cdot (x + z)$$

$$f = \overline{\overline{x + y + \overline{y + z}} \cdot (x + z)}$$

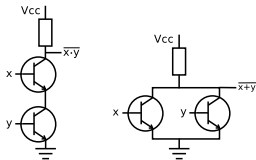
$$f = \overline{\overline{\overline{\overline{x + y + \overline{y + z} + \overline{x + z}}}}}$$

$$f = \overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{x + y + \overline{y + z} + \overline{x + y + \overline{y + z} + \overline{x + z}}}}}}}}}$$



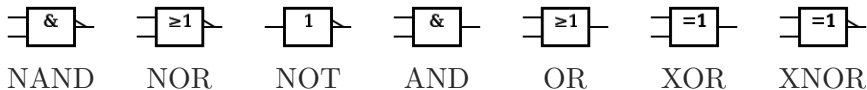
Vyjádřete log. operace negace, log. součin, log. součet, implikace, ekvivalence a nonekvivalence pomocí (1) Shefferovy funkce a (2) Piercovy funkce.

- dříve pomocí **spínacích relé** a **elektronek**, plus pasivní součástky (rezistor aj.)
- dnes pomocí **tranzistorů** (a diod a pasivních součástek) v **integrovaných obvodech**: technologie RTL, DTL, **TTL**, **CMOS**, **MOSFET** aj.

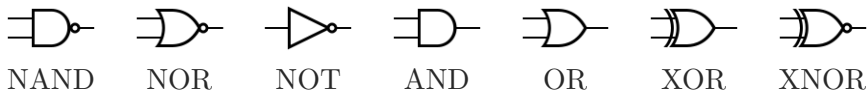


Obrázek: Příklad realizace log. operací NAND a NOR (v rezistorovětranzistorové logice, RTL)

- **logický člen, hradlo** = realizace log. operace (pomocí integrovaného obvodu)
 - (binární) vstupy \sim log. proměnné – i více než dvě (rozšíření binárních operací)
 - (binární) výstup \sim výsledek log. operace (funkční hodnota)
 - stavy (signály) na vstupech/výstupu = log. (binární) hodnoty **0/I** – míra informace s jednotkou **1 bit**
- **logický obvod** = realizace (složitější) log. funkce nebo více funkcí současně – symbolické značky log. členů ve schématech zapojení obvodu

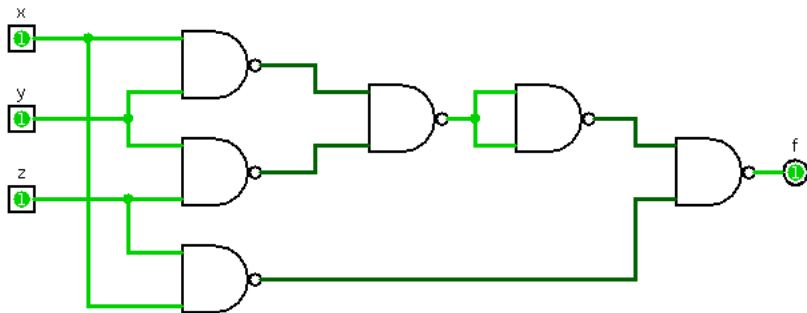


Obrázek: Symbolické značky logických členů (IEC)



Obrázek: Symbolické značky logických členů (tradiční, ANSI)

$$f = \overline{\overline{\overline{\overline{x \cdot y \cdot y \cdot z} \cdot \overline{\overline{\overline{\overline{x \cdot y \cdot y \cdot z}} \cdot \overline{\overline{\overline{\overline{x \cdot z}}}}}}}}}}$$



Obrázek: Schéma zapojení log. obvodu realizujícího log. funkci f pomocí log. členů realizujících log. operaci NAND



Nakreslete schéma zapojení log. obvodu realizujícího log. operace NOT, AND, OR, implikace, ekvivalence a XOR pomocí log. členů realizujících operaci (1) NAND a (2) NOR.



- jeden výstup = realizace jedné log. funkce
- více výstupů = realizace více log. funkcí současně → realizace **vícebitové log. funkce**
 m_f
- n -tice vstupů \sim **vícebitové (n -bitové) log. proměnné** ${}^n\mathbf{x} = x_{n-1} \dots x_i \dots x_0 \rightarrow$
vícebitový (n -bitový) log. obvod



- jeden výstup = realizace jedné log. funkce
- více výstupů = realizace více log. funkcí současně → realizace **vícebitové log. funkce**
 m_f
- n -tice vstupů \sim **vícebitové (n -bitové) log. proměnné** ${}^n\mathbf{x} = x_{n-1} \dots x_i \dots x_0 \rightarrow$
vícebitový (n -bitový) log. obvod
- **kombinační**: stavy na výstupech obvodu (funkční hodnoty) závisí pouze na okamžitých stavech na jeho vstupech (hodnotách proměnných)
- **sekvenční**: stavy na výstupech obvodu (funkční hodnoty) závisí nejen na okamžitých stavech na jeho vstupech (hodnotách proměnných), ale i na předchozích stavech na vstupech



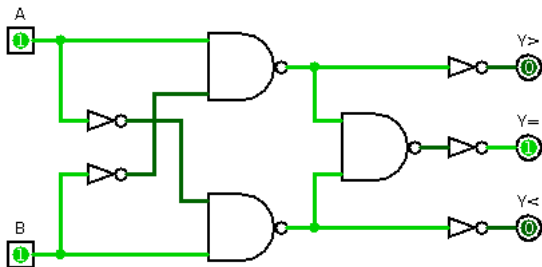
- stavy na výstupech obvodu (funkční hodnoty) závisí pouze na okamžitých stavech na jeho vstupech (hodnotách proměnných)
- jedné kombinaci stavů na vstupech odpovídá jediná kombinace stavů na výstupech

- srovnává dvě hodnoty A a B na vstupech
- tři výstupy udávající pravdivost vztahů $A < B$, $A > B$ a $A = B \Rightarrow$ tříbitová funkce $Y_{<} = Y(A < B)$, $Y_{>} = Y(A > B)$, $Y_{=} = Y(A = B)$:

$$Y_{<} = \bar{A} \cdot B \quad Y_{>} = A \cdot \bar{B} \quad Y_{=} = A \cdot B + \bar{A} \cdot \bar{B}$$

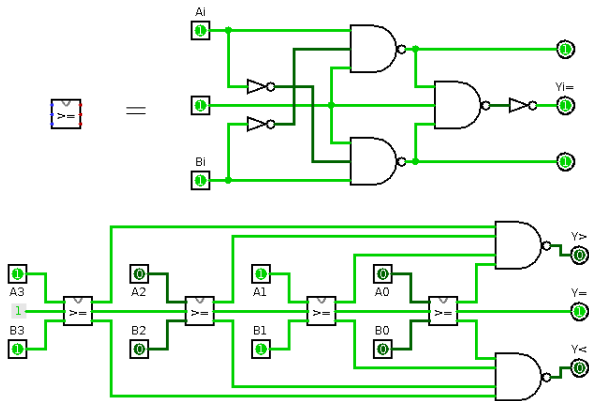
$$Y_{<} = \overline{\bar{A} \cdot B} \quad Y_{>} = \overline{A \cdot \bar{B}} \quad Y_{=} = \overline{\bar{A} \cdot B \cdot A \cdot \bar{B}}$$

A	B	$Y_{<}$	$Y_{>}$	$Y_{=}$
0	0	0	0	1
0	1	1	0	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1



Obrázek: Pravdivostní tabulka a schéma zapojení (jednobitového) komparátoru

- vícebitový: zřetěžené zapojení jednobitových pro každý řád i vícebitových (n -bitových) hodnot $A = A_{n-1} \dots A_i \dots A_0$ a $B = B_{n-1} \dots B_i \dots B_0$ od nejvýznamnějšího $n - 1$ po nejméně významný 0

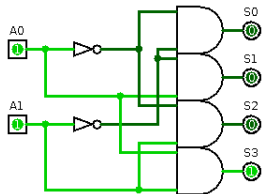


Obrázek: Schéma zapojení čtyřbitového komparátoru

- nastaví (na **I**) jeden z 2^n výstupů S_i odpovídající n -bitové hodnotě na adresním (řídícím) vstupu A
- např. dvoubitový (dvoubitový adresní vstup, 4 výstupy) \Rightarrow čtyřbitová funkce $S_0 = S(A = 00), S_1 = S(A = 10), S_2 = S(A = 01), S_3 = S(A = 11)$:

$$S_0 = \overline{A_0} \cdot \overline{A_1} \quad S_1 = A_0 \cdot \overline{A_1} \quad S_2 = \overline{A_0} \cdot A_1 \quad S_3 = A_0 \cdot A_1$$

A_0	A_1	S_0	S_1	S_2	S_3
0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1



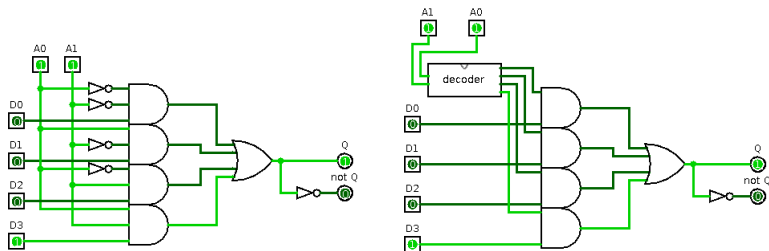
Obrázek: Pravdivostní tabulka a schéma zapojení dvoubitového dekodéru

- použití: dekódování adresy (řídící hodnoty) pro výběr např. místa v paměti (části obvodu)

- předává na výstup Q hodnotu na jednom z 2^n datových vstupů D_j dle n -bitové hodnoty na adresním (řídícím) vstupu A
- vedle výstupu Q obvykle ještě negovaný (invertovaný) výstup \overline{Q}
- např. dvoubitový (4 datové vstupy, dvoubitový adresní vstup) realizuje funkci

$$Q = \overline{A_0} \cdot \overline{A_1} \cdot D_0 + A_0 \cdot \overline{A_1} \cdot D_1 + \overline{A_0} \cdot A_1 \cdot D_2 + A_0 \cdot A_1 \cdot D_3$$

A_0	A_1	Q
0	0	D_0
1	0	D_1
0	1	D_2
1	1	D_3



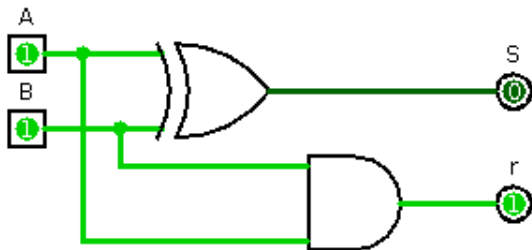
Obrázek: Pravdivostní tabulka a schéma zapojení dvoubitového multiplexoru

- použití: výběr (multiplexování) datových vstupů na základě adresy (řídící hodnoty)

- (aritmeticky) sčítá dvě hodnoty A a B (plus přenos r_{i-1} z nižšího řádu) na vstupech, s přenosem r_i do vyššího řádu
- dva výstupy, pro součet S (aritmetický modulo 2) a přenos $r \Rightarrow$ dvoubitová funkce
- **poloviční sčítačka (half adder)** = bez přenosu z nižšího řádu:

$$S = A \oplus B \quad r = A \cdot B$$

A	B	S	r
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

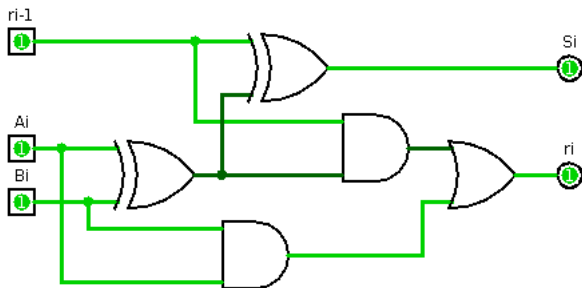


Obrázek: Pravdivostní tabulka a schéma zapojení (jednobitové) poloviční sčítačky

- **plná sčítačka (full adder)** = s přenosem r_{i-1} z nižšího řádu (součet S_i v řádu i a přenos r_i do vyššího řádu):

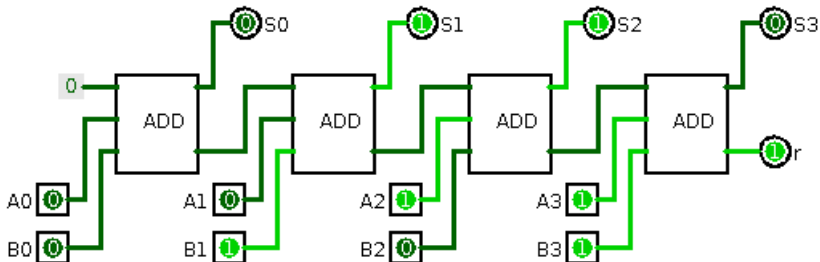
$$S_i = A_i \oplus B_i \oplus r_{i-1} \quad r_i = A_i \cdot B_i + (A_i \oplus B_i) \cdot r_{i-1} \quad (r_{-1} = 0)$$

A_i	B_i	r_{i-1}	S_i	r_i
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1



Obrázek: Pravdivostní tabulka a schéma zapojení (jednobitové plné) sčítačky (pro řád i)

- vícebitová (ripple-carry adder): zřetěžené zapojení jednobitových pro každý řád i vícebitových (n -bitových) hodnot $A = A_{n-1} \dots A_i \dots A_0$ a $B = B_{n-1} \dots B_i \dots B_0$ od nejméně významného 0 po nejvýznamnější $n - 1$
- použití: (aritmetický) součet hodnot A a B (binárně reprezentovaných čísel = ve dvojkové soustavě), s přenosem do vyššího řádu



Obrázek: Schéma zapojení čtyřbitové sčítačky



- (aritmeticky) násobí dvě hodnoty A a B na vstupech: $M = A \cdot B$ (jednobitově)

- (aritmeticky) násobí dvě hodnoty A a B na vstupech: $M = A \cdot B$ (jednobitově)
- vícebitová: zapojení jednobitových násobiček a sčítaček pro dvojnásobný počet řádů vícebitových (n -bitových) hodnot $A = A_{n-1} \dots A_i \dots A_0$ a $B = B_{n-1} \dots B_i \dots B_0$:

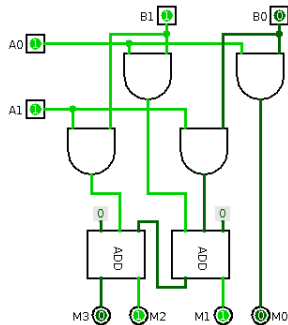
$$\begin{aligned} M &= (A_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + A_1 \cdot 2 + A_0) \cdot (B_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + B_1 \cdot 2 + B_0) \\ &= A_{n-1} \cdot B_{n-1} \cdot 2^{2(n-1)} + \dots + (A_{n-1} \cdot B_1 + \dots + A_1 \cdot B_{n-1}) \cdot 2^{(n-1)+1} + \\ &\quad (A_{n-1} \cdot B_0 + \dots + A_0 \cdot B_{n-1}) \cdot 2^{n-1} + \dots + (A_1 \cdot B_1 + \dots) \cdot 2^{1+1} + (A_1 \cdot B_0 + A_0 \cdot B_1) \cdot 2 + A_0 \cdot B_0 \end{aligned}$$

- (aritmeticky) násobí dvě hodnoty A a B na vstupech: $M = A \cdot B$ (jednobitově)
- vícebitová: zapojení jednobitových násobiček a sčítaček pro dvojnásobný počet řádů vícebitových (n -bitových) hodnot $A = A_{n-1} \dots A_i \dots A_0$ a $B = B_{n-1} \dots B_i \dots B_0$:

$$\begin{aligned}
 M &= (A_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + A_1 \cdot 2 + A_0) \cdot (B_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + B_1 \cdot 2 + B_0) \\
 &= A_{n-1} \cdot B_{n-1} \cdot 2^{2(n-1)} + \dots + (A_{n-1} \cdot B_1 + \dots + A_1 \cdot B_{n-1}) \cdot 2^{(n-1)+1} + \\
 &\quad (A_{n-1} \cdot B_0 + \dots + A_0 \cdot B_{n-1}) \cdot 2^{n-1} + \dots + (A_1 \cdot B_1 + \dots) \cdot 2^{1+1} + (A_1 \cdot B_0 + A_0 \cdot B_1) \cdot 2 + A_0 \cdot B_0
 \end{aligned}$$

(+ značí aritmetické sčítání)

		$A_1 A_0$
	·	$B_1 B_0$
	$A_1 \cdot B_0$	$A_0 \cdot B_0$
+	$A_1 \cdot B_1$	$A_0 \cdot B_1$
	$A_1 \cdot B_1$	$A_1 \cdot B_0 + A_0 \cdot B_1$
		$A_0 \cdot B_0$

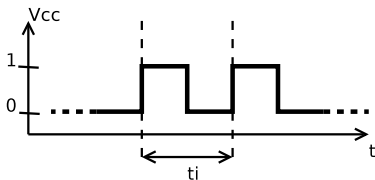


Obrázek: Schéma dvoubitového násobení a zapojení dvoubitové násobičky



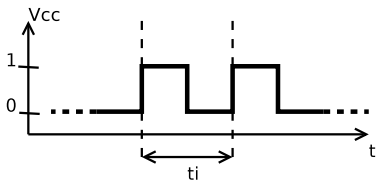
Nakreslete schéma zapojení log. obvodu představujícího „základ“ aritmeticko-logické jednotky (ALU) procesoru, realizující aritmetické operace součtu a násobení a log. operace NAND a NOR dvou dvoubitových hodnot (binárně reprezentovaných čísel) na datových vstupech obvodu, kde prováděná operace je určena dvoubitovou hodnotou na řídicím vstupu obvodu.

- stavy na výstupech obvodu (funkční hodnoty) závisí nejen na okamžitých stavech na jeho vstupech (hodnotách proměnných), ale i na předchozích stavech na vstupech – zachyceny **vnitřním stavem obvodu**
- nutné identifikovat a synchronizovat stavy obvodu v čase
- čas: periodický impulzní signál = „hodiny“ (clock), diskrétně určující okamžiky synchronizace obvodu



Obrázek: Časový signál „hodin“ (clock)

- stavy na výstupech obvodu (funkční hodnoty) závisí nejen na okamžitých stavech na jeho vstupech (hodnotách proměnných), ale i na předchozích stavech na vstupech – zachyceny **vnitřním stavem obvodu**
- nutné identifikovat a synchronizovat stavy obvodu v čase
- čas: periodický impulzní signál = „hodiny“ (clock), diskrétně určující okamžiky synchronizace obvodu

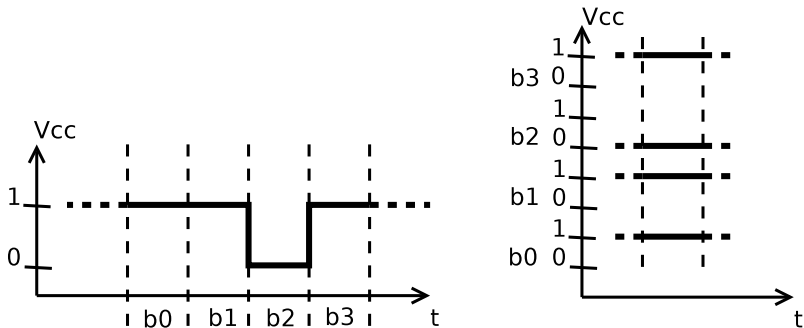


Obrázek: Časový signál „hodin“ (clock)

→ zpětné vazby z (některých) výstupů na (některé) vstupy

Přenos dat (vícebitových hodnot):

- **sériový**: hodnoty **0/I** (bity) postupně v čase za sebou, po jednom vodiči
- **paralelní**: bity zároveň v čase, po více vodičích
- úlohy transformace mezi sériovým a paralelním přenosem



Obrázek: Sériový a paralelní přenos dat



- nejjednodušší sekvenční obvody
- **astabilní**: žádný stabilní stav, periodické překlápění výstupů z jednoho stavu do druhého („kmitání“); použití jako generátory impulzů
- **monostabilní**: jeden stabilní stav na výstupech, po určitém řídicím signálu po definované dobu v nestabilním stavu; použití k vytváření impulzů dané délky
- **bistabilní**: oba stavy na výstupech stabilní, trvání jednoho dokud není určitým řídicím signálem překlopení do druhého; použití pro realizaci **paměti**

- nejjednodušší sekvenční obvody
- **astabilní**: žádný stabilní stav, periodické překlápění výstupů z jednoho stavu do druhého („kmitání“); použití jako generátory impulzů
- **monostabilní**: jeden stabilní stav na výstupech, po určitém řídicím signálu po definované dobu v nestabilním stavu; použití k vytváření impulzů dané délky
- **bistabilní**: oba stavy na výstupech stabilní, trvání jednoho dokud není určitým řídicím signálem překlopení do druhého; použití pro realizaci **paměti**

Řízení:

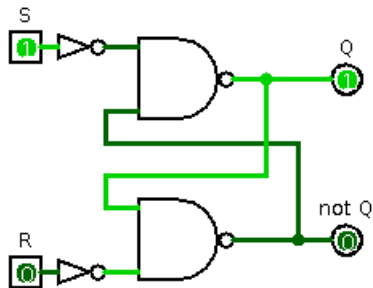
- **asynchronně**: signály/stavy (**0** nebo **1**) na (datových) vstupech
- **synchronně**: (periodickým) signálem na hodinovém vstupu
- **hladinou** signálu (latch): horní (hodnota **1**) nebo dolní (**0**)
- **hranami** signálu: nástupní (**0** → **1** u horní hladiny) nebo sestupní (**1** → **0** u dolní hladiny)

- nejjednodušší bistabilní, základ ostatních
- asynchronní vstupy S (Set) pro nastavení hodnoty (na $\mathbf{1}$) a R (Reset) pro nulování hodnoty (na $\mathbf{0}$) na výstupu Q (v čase i)
- vedle výstupu Q obvykle ještě negovaný (invertovaný) výstup \overline{Q}
- při stavu $S = R = \mathbf{0}$ „pamatování“ hodnoty na výstupu Q (a Q' , v čase i)
- stav $S = R = \mathbf{1}$ „nedefinovaný“ – varianty preferující vstup S (= SR) nebo R (= RS)

S	R	Q_i	\overline{Q}_i
$\mathbf{0}$	$\mathbf{0}$	Q_{i-1}	\overline{Q}_{i-1}
$\mathbf{0}$	$\mathbf{1}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{1}$
$\mathbf{1}$	$\mathbf{0}$	$\mathbf{1}$	$\mathbf{0}$
$\mathbf{1}$	$\mathbf{1}$	N/A	N/A



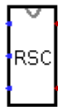
=



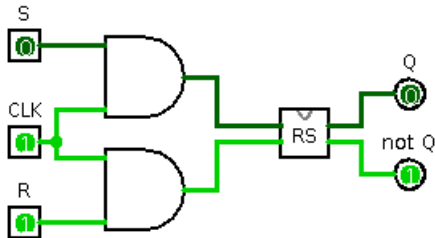
Obrázek: Pravdivostní tabulka a schéma zapojení klopného obvodu SR/RS

- synchronní varianta s hodinovým (synchronizačním) vstupem CLK – „funkční“ pouze při $CLK = I$, jinak „pamatování“ hodnoty na výstupu Q (a Q' , v čase i):

S	R	CLK	Q_i	\overline{Q}_i
0	0	0	Q_{i-1}	\overline{Q}_{i-1}
0	I	0	Q_{i-1}	\overline{Q}_{i-1}
I	0	0	Q_{i-1}	\overline{Q}_{i-1}
I	I	0	Q_{i-1}	\overline{Q}_{i-1}
0	0	I	Q_{i-1}	\overline{Q}_{i-1}
0	I	I	0	I
I	0	I	I	0
I	I	I	N/A	N/A



=

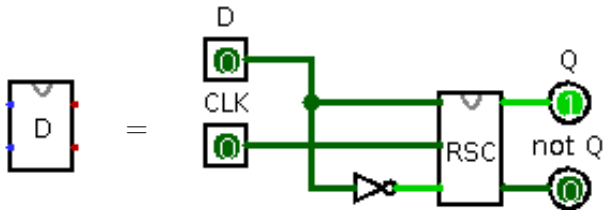


Obrázek: Pravdivostní tabulka a schéma zapojení klopného obvodu SR/RS s hodinovým vstupem CLK

- varianta Master-Slave: dva obvody SR/RS (s hodinovým vstupem, u druhého obvodu negovaný) za sebou, nastavení na vzestupnou hranu na hodinovém vstupu, výstup na sestupní

- stav $S = R = \mathbf{I}$ u obvodu SR/RS nemůže nastat
- **jednabitový paměťový člen**

D	CLK	Q_i	$\overline{Q_i}$
0	0	Q_{i-1}	$\overline{Q_{i-1}}$
1	0	Q_{i-1}	$\overline{Q_{i-1}}$
0	1	0	1
1	1	1	0



Obrázek: Pravdivostní tabulka a schéma zapojení klopného obvodu D

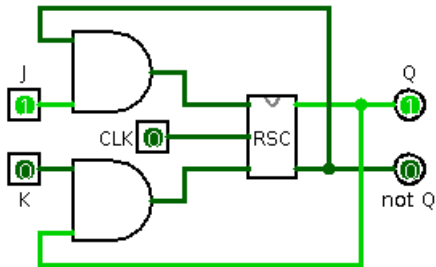
- varianta Master-Slave: obvody D a SR/RS (s hodinovým vstupem, u druhého obvodu negovaný) za sebou, nastavení na vzestupnou hranu na hodinovém vstupu, výstup na sestupní

- při stavu $S = R = \mathbf{I}$ u obvodu SR/RS invertuje výstup Q (a Q' , v čase i)

J	K	CLK	Q_i	$\overline{Q_i}$
0	0	0	Q_{i-1}	$\overline{Q_{i-1}}$
0	1	0	Q_{i-1}	$\overline{Q_{i-1}}$
1	0	0	Q_{i-1}	$\overline{Q_{i-1}}$
1	1	0	Q_{i-1}	$\overline{Q_{i-1}}$
0	0	1	Q_{i-1}	$\overline{Q_{i-1}}$
0	1	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	1	$\overline{Q_{i-1}}$	Q_{i-1}



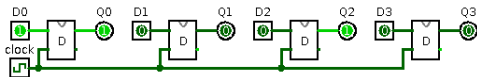
=



Obrázek: Pravdivostní tabulka a schéma zapojení klopného obvodu JK

Paralelní registr (střadač)

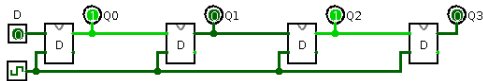
- paměť pro vícebitovou hodnotu (dodanou paralelně na více vstupů)
- paralelní zapojení klopných obvodů D



Obrázek: Schéma zapojení čtyřbitového paralelního registru

Sériový (posuvný) registr

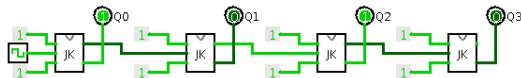
- paměť pro vícebitovou hodnotu dodanou sériově na (jednom) vstupu (synchronně po jednotlivých řádech)
- zřetěžené zapojení klopných obvodů D
- použití pro transformaci sériových dat na paralelní



Obrázek: Schéma zapojení čtyřbitového sériového registru

Čítač

- paměť počtu impulzů na hodinovém vstupu – binárně reprezentovaný počet na vícebitovém výstupu
- zřetěžené zapojení klopných obvodů JK



Obrázek: Schéma zapojení čtyřbitového čítače

Sériová sčítačka/násobička

- (aritmetické) sčítání/násobení hodnot dodaných sériově na vstupy (synchronně po jednotlivých řádech)
- zřetěžené zapojení sériových registrů pro hodnoty a sčítačky/násobičky



Nakreslete schéma zapojení log. obvodu realizujícího děličku frekvence signálu na hodinovém vstupu obvodu faktorem 1 (= původní frekvence), 2, 4 a 8, kde faktor je určen dvoubitovou hodnotou na řídicím vstupu obvodu.

Reprezentace dat



- typy dat v počítači: celá čísla, (necelá) čísla s řádovou čárkou, znaky a text
- **binární reprezentace** = **kódování** do binárních hodnot (= posloupnost **0** a **1**)
- **kód** (kódování) = zobrazení čísel a znaků na binární hodnoty – pomocí kódových schémat (algoritmů) a tabulek
- **kód** (kódové slovo) = binární hodnota, obecně posloupnost kódových znaků (**0** a **1**)
- dekódování = (inverzní) zobrazení kódového slova na původní číslo nebo znak
- různé kódy pro uložení dat, zpracování dat (např. přenos), jejich zabezpečení proti chybám, neoprávněnému čtení atd.
- kódující a dekódující log. obvody s pamětí = **kodéry, dekodéry**

- = pořadí bytů (byte order) v binárních hodnotách delších než 1 byte, např. 2B (16b), 4B (32b), 8B (64b) aj. **slova** v operační paměti (adresované od nižších adres k vyšším)
- **little-endian** = od nejméně významného bytu (LSB) hodnoty k nejvýznamnějšímu
 - např. pro $(30201)_{16}$ ve 4 bytech pořadí 01 02 03 00
 - rychlejší aritmetika, možno nečíst další nulové byty
 - platformy např. Intel x86, AMD x86-64, DEC Alpha, ARM, Ethernet, USB (pořadí bitů), formát např. GIF
 - **big-endian/network order** = od nejvýznamnějšího bytu (MSB) hodnoty k nejméně významnému
 - např. pro $(30201)_{16}$ ve 4 bytech pořadí 00 03 02 01
 - pro člověka čitelnější, znaménko v 1. bytu, řády čísla a znaky řetězce ve stejném pořadí
 - platformy např. Motorola 6800 a 68k, IBM POWER, SPARC, internetové protokoly, formát např. JPEG
 - **middle/mixed-endian** = kombinace little a big-endian
 - např. pro $(30201)_{16}$ ve 4 bytech pořadí 03 00 01 02 nebo 02 01 00 03
 - platformy např. ARM (pro čísla s plovoucí řádovou čárkou ve formátu double, viz dále)
 - řeší překladač/interpret prog. jazyka pro danou platformu, mezi platformami nutné konverze (např. v síťovém API)

= **interval** \langle **min. nekladné, max. nezáporné** \rangle – hranice dané počtem n bitů reprezentace a použitým kódem, výsledek aritmetické operace mimo = **přetečení (overflow) / podtečení (underflow)**

Nezáporná čísla:

Vážený poziční kód

= zápis čísla ve dvojkové poziční číselné soustavě

- např. $123 = (123)_{10} = [0 \dots \text{IIIIIOII}]_2$
- $\langle 0, 2^n - 1 \rangle$

= **interval** \langle **min. nekladné, max. nezáporné** \rangle – hranice dané počtem n bitů reprezentace a použitým kódem, výsledek aritmetické operace mimo = **přetečení (overflow) / podtečení (underflow)**

Nezáporná čísla:

Vážený poziční kód

= zápis čísla ve dvojkové poziční číselné soustavě

- např. $123 = (123)_{10} = [0 \dots \text{IIIIIOII}]_2$
- $\langle 0, 2^n - 1 \rangle$

Dvojkově desítkový kód (BCD, Binary Coded Decimal)

= zápis každé desítkové číslice čísla (zapsaného v desítkové soustavě) zvlášť ve dvojkové soustavě s pevným počtem 4 dvojkových číslic

- např. $123 = [0 \dots 000\text{I } 00\text{IO } 00\text{II}]_{BCD}$
- $\langle 0, 10^{n/4} - 1 \rangle$ pro $n = 4k, k \in \mathbb{N}$
- neefektivní, složitější log. obvody, použití pro přesné zobrazení čísel (desítkových cifer)

Nezáporná i záporná čísla:

Přímý kód (signed magnitude)

= znaménkový bit (sign, **0** pro nezáporná, **1** pro záporná čísla) + (vážený poziční) kód pro absolutní hodnotu čísla (magnitude)

■ např. $-123 = [\mathbf{10} \dots \mathbf{IIII0II}]_S$

■ $\langle -2^{n-1} + 1, 2^{n-1} - 1 \rangle$

■ neefektivní (nevyužitý kód **10...**), nevhodný pro aritmetiku (testování znaménka a velikosti absolutních hodnot čísel, různé postupy sčítání a odečítání)

Nezáporná i záporná čísla:

Přímý kód (signed magnitude)

= znaménkový bit (sign, **0** pro nezáporná, **1** pro záporná čísla) + (vážený poziční) kód pro absolutní hodnotu čísla (magnitude)

- např. $-123 = [\mathbf{10} \dots \mathbf{IIII0II}]_S$

- $\langle -2^{n-1} + 1, 2^{n-1} - 1 \rangle$

- neefektivní (nevyužitý kód **10...**), nevhodný pro aritmetiku (testování znaménka a velikosti absolutních hodnot čísel, různé postupy sčítání a odečítání)

Aditivní kód (excess- M , offset binary)

= vážený poziční kód pro (nezáporné) číslo rovno součtu kódovaného čísla a zvolené konstanty (bias) M – obvykle $= 2^{n-1} - 1$

- např. $123 = [\mathbf{0} \dots \mathbf{IIII0I0}]_{A(127)}$, $-123 = [\mathbf{0} \dots \mathbf{I00}]_{A(127)}$

- $\langle -2^{n-1} + 1, 2^{n-1} \rangle$

- jinak reprezentovaná nezáporná čísla, složitější sčítání, použití např. pro exponent u reprezentace čísel s plovoucí řádovou čárkou

Inverzní kód (jedničkově doplňkový, one's complement)

= pro nezáporná čísla vážený poziční kód, pro záporná log. negace všech bitů váženého pozičního kódu absolutní hodnoty čísla – 1. bit má význam znaménka (sign)

- např. $-123 = [\mathbf{I} \dots 0000\mathbf{I}00]_1$
- $\langle -2^{n-1} + 1, 2^{n-1} - 1 \rangle$
- neefektivní (nevyužitý kód $\mathbf{I} \dots$), „téměř“ vhodný pro aritmetiku (odčítání pomocí sčítání se záporným číslem a přičtení přenosu z nejvyššího řádu)

Inverzní kód (jedničkově doplňkový, one's complement)

= pro nezáporná čísla vážený poziční kód, pro záporná log. negace všech bitů váženého pozičního kódu absolutní hodnoty čísla – 1. bit má význam znaménka (sign)

- např. $-123 = [\mathbf{I} \dots 0000\mathbf{I}00]_{1'}$
- $\langle -2^{n-1} + 1, 2^{n-1} - 1 \rangle$
- neefektivní (nevyužitý kód $\mathbf{I} \dots$), „téměř“ vhodný pro aritmetiku (odčítání pomocí sčítání se záporným číslem a přičtení přenosu z nejvyššího řádu)

Doplňkový kód (dvojkově, two's complement)

= pro nezáporná čísla vážený poziční kód, pro záporná log. negace všech bitů váženého pozičního kódu absolutní hodnoty čísla **zmenšené o 1** nebo s následným **binárním přičtením $\mathbf{I} - 1$** . bit má význam znaménka

- např. $-123 = [\mathbf{I} \dots 0000\mathbf{I}0\mathbf{I}]_{2'}$
- $\langle -2^{n-1}, 2^{n-1} - 1 \rangle$
- efektivní, vhodný pro aritmetiku (odčítání pomocí sčítání se záporným číslem)



Vytvořte binární reprezentace několika (kladných i záporných) celých čísel pomocí aditivního, inverzního (jedničkově doplňkového) a (dvojkově) doplňkového kódu.

= (konečná) **podmnožina racionálních čísel** – přesnost (precision) na maximální počet platných číslic čísla daný počtem bitů reprezentace

Fixní řádová čárka

= pevně zvolený maximální počet **n platných číslic pro necelou část čísla** (za čárkou)

- místo čísla $x = \frac{x \cdot B^n}{B^n}$ reprezentována pouze **celočíselná část** $x \cdot B^n \Rightarrow$ přibližná reprezentace čísla

- např. $0,625 = \frac{62,5}{10^2} = \frac{2,5}{2^2} = \frac{(10,1)_2}{2^2}$

- přesnost B^{-n} , „přesnost na n platných číslic za čárkou“

\Rightarrow **celočíselná aritmetika (se zachováním přesnosti)**

- n bitů reprezentace \Rightarrow dvojkové číslice a $B = 2$

Fixní řádová čárka

Ekvivalentně s využitím zápisu necelé části čísla v (poziční číselné) soustavě o základu B s max. n číslicemi:

- necelá část F čísla jako součet (případně nekonečné) mocninné řady o základu B :

$$F = a_{-1} \cdot B^{-1} + a_{-2} \cdot B^{-2} + \dots$$

$$(0,625)_{10} = 6 \cdot 10^{-1} + 2 \cdot 10^{-2} + 5 \cdot 10^{-3} =$$

$$(0,101)_2 = 1 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} =$$

$$(0,4)_{10} = 4 \cdot 10^{-1} =$$

$$(0,0110011\dots)_2 = 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} + 0 \cdot 2^{-4} + 0 \cdot 2^{-5} + 1 \cdot 2^{-6} + 1 \cdot 2^{-7} + \dots$$

- získání zápisu $(0, S_{-1}S_{-2} \dots S_{-n})_B$ (hodnoty) necelé části F čísla a naopak: podobné postupy jako pro celá čísla, jen místo dělení je násobení a naopak:

Fixní řádová čárka

Získání (případně nekonečného) zápisu $(0, S_{-1}S_{-2}\dots)_B$ (hodnoty) necelé části F čísla – postupným násobením:

$$a_{-1} = 0$$

$$i = -1$$

while $F > 0$ **do**

$$F = F * B$$

$$a_i = F \bmod B$$

$$F = F - a_i$$

$$i = i - 1$$

pro $F = 0,625, B = 10$:

$$a_{-1} = 0, i = -1$$

$$0,625 > 0 : F = 6,25, a_{-1} = 6, F = 0,25, i = -2$$

$$0,25 > 0 : F = 2,5, a_{-2} = 2, F = 0,5, i = -3$$

$$0,5 > 0 : F = 5, a_{-3} = 5, F = 0, i = -4$$

$$0 \not> 0$$

Fixní řádová čárka

Získání (případně přibližné hodnoty) necelé části F čísla z jejího (konečného) zápisu $(0, S_{-1}S_{-2} \dots S_{-n+1}S_{-n})_B$ – postupným dělením:

$$F = a_{-n}$$

for $i = -n + 1$ **to** -1 **do**

$$F = F/B + a_i$$

$F = F/B$; dělení s
řádovou čárkou

pro $(0, 625)_{10}$ ($B = 10, n = 3, a_{-1} = 6, a_{-2} = 2, a_{-3} = 5$):

$$F = 5$$

$$i = -2 : F = 2, 5$$

$$i = -1 : F = 6, 25$$

$$F = 0, 625$$

- převod zápisu necelé části čísla v soustavě o základu B^k ($k \in \mathbb{N}$) na zápis v soustavě o základu B (a naopak) stejný jako u celých čísel

Fixní řádová čárka

Binární reprezentace:

= **kód celočíselné části čísla vynásobeného B^n** (ekvivaletně kód celé i necelé části čísla s n číslicemi)

- např. doplňkový kód s 2 platnými číslicemi za čárkou $-5,625 = [\mathbf{1} \dots \mathbf{010 10}]_2$
- interval čísel (s danou přesností), hranice dané počtem $t = m + n$ bitů reprezentace a použitým kódem, např. pro doplňkový kód: $\langle -2^{m-1}, 2^{m-1} - 2^{-n} \rangle$
- použití při vyžadování konstantní přesnosti výpočtů s čísly nebo kvůli rychlejší celočíselné aritmetice

Plovoucí řádová čárka

= **pohyblivá pozice čárky mezi platnými číslicemi celé a necelé části čísla** → reprezentace vědecké notace čísla:

- vyjádření čísla x v semilogaritmickém tvaru o základu B : $x = s \cdot B^e$
 - normalizovaný: (pro $x \neq 0$) $-1 < s \leq -0,1$ nebo $0,1 \leq s < 1$
 - např. $-5,625 = -0,5625 \cdot 10^1 = -0,703125 \cdot 2^3 = (-0,101101)_2 \cdot 2^3 = (-101,101)_2$
 - reprezentace: **znaménkový bit, exponent e** (včetně znaménka) do m bitů a **normalizovaný significand („mantissa“)** = necelá část absolutní hodnoty „normalizovaného“ s do n bitů
 - exponent v aditivním kódu s konstantou $M = 2^{m-1} - 1$ – udává rozsah reprezentace $\langle -B^{M+1} + B^{-n}, B^{M+1} - B^{-n} \rangle$
 - significand v kódu pro fixní řádovou čárku s n platnými číslicemi – udává přesnost reprezentace B^{-n}
- ⇒ přibližná reprezentace čísla

Plovoucí řádová čárka

Různé formáty reprezentace s různým rozsahem a přesností – standard **IEEE 754** (1985):

- $B = 2 \Rightarrow$ v „normalizovaném“ s číslice za čárkou vždy $1 \rightarrow s \cdot 2$ ($n \rightsquigarrow n + 1$, tzv. skrytá **I**), $e - 1$, significand ve váženém pozičním kódu
- **single (float, 32 bitů)** – 8 bitů pro exponent, 23 bitů pro significand, rozsah $\sim \langle -10^{38}, 10^{38} \rangle$, asi 7 platných desítkových číslic, např.

$$-5,625 = [\mathbf{I\ 1000000I\ 011010000000000000000000}]_{single}$$

- **double (64 bitů)** – 11 bitů pro exponent, 52 bitů pro significand, rozsah $\sim \langle -10^{308}, 10^{308} \rangle$, asi 16 platných desítkových číslic
- další: half (16 bitů, 5 pro exponent), extended (long double, 80 bitů, 15 pro exponent), quad (128 bitů, 15 pro exponent)
- **speciální „čísla“**: $-\infty, +\infty$ (exponent samé **I**, significand = **0**), *NaN* (Not a Number, exponent samé **I**, significand \neq **0**), $-0 \neq 0$ (exponent i significand = **0**), tzv. denormalizovaná (exponent = **0**, „nenormalizovaný“ significand \neq **0**)

Plovoucí řádová čárka

■ aritmetika s plovoucí řádovou čárkou

- zaokrouhlení (significand n platných číslic) a výjimky (pro nedefinované operace)
- s operacemi propagace chyby (zaokrouhlení) a operace neasociativní a nedistributivní!

⇒ **POZOR** na porovnání!

- operace měřítkem výkonnosti počítačů, jednotka **FLOPS** (FLoating point Operations Per Second)
 - implementována ve FPU (Floating Point Unit) – dnes součást CPU
- (mnohem) větší interval čísel než u fixní řádové čárky (hranice dané exponentem), na úkor nižší přesnosti

Vytvořte binární reprezentace několika (kladných i záporných) racionálních čísel s fixní i plovoucí řádovou čárkou.



- = posloupnost tisknutelných znaků = písmen různých abeced a cifer (= alfanumerické znaky) a symbolů (mezera, interpunkce, matematické aj.)
- + řídicí znaky (v textovém terminálu) – některé v **plain textu**, např. pro konec řádku
- kódování znaků na binární hodnoty pomocí kódových tabulek

- = posloupnost tisknutelných znaků = písmen různých abeced a cifer (= alfanumerické znaky) a symbolů (mezera, interpunkce, matematické aj.)
- + řídicí znaky (v textovém terminálu) – některé v **plain textu**, např. pro konec řádku
- kódování znaků na binární hodnoty pomocí kódových tabulek

ASCII (American Standard Code for Information Interchange, 1967)

- standarní kódová tabulka („kódování“) pro **písmena anglické abecedy a cifry**, symboly (mezery, interpunkce, matematických aj.), a **řídicí znaky** (odřádkování, návrat vozíku, backspace, tabulátor aj.)
- znak původně do 7 bitů = 128 znaků
- později 8. bit pro rozšíření o dalších 128 znaků: některé **znaky národních abeced**, další speciální znaky (**grafické**, jednotky aj.)

ASCII TABLE

Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char
0	0	[NULL]	32	20	[SPACE]	64	40	@	96	60	`
1	1	[START OF HEADING]	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	[START OF TEXT]	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	[END OF TEXT]	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	[END OF TRANSMISSION]	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	5	[ENQUIRY]	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	[ACKNOWLEDGE]	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	[BELL]	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	[BACKSPACE]	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	[HORIZONTAL TAB]	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	[LINE FEED]	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	[VERTICAL TAB]	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	[FORM FEED]	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	[CARRIAGE RETURN]	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	[SHIFT OUT]	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	[SHIFT IN]	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	[DATA LINK ESCAPE]	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	[DEVICE CONTROL 1]	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	[DEVICE CONTROL 2]	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	[DEVICE CONTROL 3]	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	[DEVICE CONTROL 4]	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	[SYNCHRONOUS IDLE]	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	[END OF TRANS. BLOCK]	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	[CANCEL]	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	[END OF MEDIUM]	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	[SUBSTITUTE]	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	[ESCAPE]	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	[FILE SEPARATOR]	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	[GROUP SEPARATOR]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	[RECORD SEPARATOR]	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	[UNIT SEPARATOR]	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	[DEL]

ASCII tabulka, zdroj

Rozšířené ASCII

- např. ISO 8859-1, CP1252 (Microsoft), CP437 (IBM) pro západoevropské jazyky
- pro znaky české abecedy (východoevropské/středoevropské jazyky):
 - **ISO 8859-2 (ISO Latin 2)**: dříve používaná v unixových operačních systémech (OS), na webu a v e-mailu
 - **Windows 1250 (CP1250)** (Microsoft): používaná v OS MS Windows,
 - **Mac CE** (Apple): používaná v Apple Mac OS
 - CP852 (PC Latin 2) (IBM): používaná v OS MS DOS, grafické znaky
 - další (česko-slovenské): kód Kamenických (hojně používaný v OS MS DOS), KOI8-ČS (v rámci RVHP) aj.
- programy pro konverzi textů mezi kódováním

Rozšířené ASCII

- např. ISO 8859-1, CP1252 (Microsoft), CP437 (IBM) pro západoevropské jazyky
- pro znaky české abecedy (východoevropské/středoevropské jazyky):
 - **ISO 8859-2 (ISO Latin 2)**: dříve používaná v unixových operačních systémech (OS), na webu a v e-mailu
 - **Windows 1250 (CP1250)** (Microsoft): používaná v OS MS Windows,
 - **Mac CE** (Apple): používaná v Apple Mac OS
 - CP852 (PC Latin 2) (IBM): používaná v OS MS DOS, grafické znaky
 - další (česko-slovenské): kód Kamenických (hojně používaný v OS MS DOS), KOI8-ČS (v rámci RVHP) aj.
- programy pro konverzi textů mezi kódováním

ASCII art

- = výtvarné umění kresby obrázků pomocí znaků ASCII (v neproporcionálním fontu)
- např. emotikony („smajlíky“): :-), :-(aj.



ASCII art, zdroj

EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code, 1964, IBM)

- základní osmibitový, rozšířené 16-bitové – různé pro různé národní abecedy
- **nespojité pro písmena anglické abecedy**, dnes nepoužívaný

Unicode (1987–1991)

- rozšířené ASCII nestačí a jsou ad-hoc (a navíc problematické pro východoasijské, arabské, hebrejské aj. znaky)
 - původně 16-bitová kódová tabulka znaků **UCS-2 (Universal Character Set)**, později pro znaky místo kódů tzv. kódové body $U + (\text{číslo})_{16}$ kódované do binární reprezentace
- = **ISO/IEC 10646** (definice UCS-4, 31-bitová) + kódování, algoritmy pro texty zprava doleva a oboustranné texty, porovnávání textů aj.
- UCS = **otevřená množina pojmenovaných znaků všech abeced**, symbolů a řídicích znaků, téměř 150 000 znaků (2023)
 - znakové sady (bloky) = podmnožiny znaků, např. původní ASCII (prvních 128) a její rozšíření (ISO 8859-1, prvních 256), BMP (Basic Multilingual Plane) = prvních 65536 znaků UCS (národní abecedy, symboly, CJK, Han aj.)

UTF (UCS Transformation Format)

= kódování kódových bodů do binární reprezentace

- **UTF-8**: do posloupnosti 1 až 6 bytů, všeobecně používaný (zejména na Internetu/webu dle RFC 3629 a v unixových OS)

Tabulka: Kódování UTF-8

$U + 00000000 - U + 0000007F$	$0xxxxxxx$
$U + 00000080 - U + 000007FF$	$110xxxxx 10xxxxxx$
$U + 00000800 - U + 0000FFFF$	$1110xxxx 10xxxxxx 10xxxxxx$
$U + 00010000 - U + 001FFFFF$	$11110xxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx$
$U + 00200000 - U + 03FFFFFF$	$111110xx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx$
$U + 04000000 - U + 7FFFFFFF$	$1111110x 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx 10xxxxxx$

- např. „Příliš“ = $[50 C599 C3AD 6C 69 C5A1]_{16}$ ($\check{r} = U + (159)_{16} = (101\ 011001)_2$, $\acute{i} = U + (ED)_{16} = (11\ 101101)_2$, $\check{s} = U + (161)_{16} = (101\ 100001)_2$)
- BMP 1 až 3 byty, české znaky 1 nebo 2 byty (diakritické)
- byty FE_{16} , FF_{16} nepoužity
- nezávislý na endianness systému

UTF (UCS Transformation Format)

- **UTF-16**: do posloupnosti 2 nebo 4 bytů, používaný zejména v OS MS Windows a programovacím jazyku Java, dříve UCS-2

Tabulka: Kódování UTF-16

$U + 000000 - U + 00FFFF$	$xxxxxxx xxxxxxx$
$U + 010000 - U + 10FFFF$	$110110xx xxxxxxx 110111xx xxxxxxx$

- např. „Příliš“ = $[0050\ 0159\ 00ED\ 006C\ 0069\ 0161]_{16}$ ($\check{r} = U + (159)_{16}$, $\acute{i} = U + (ED)_{16}$, $\check{s} = U + (161)_{16}$)
- BMP včetně českých znaků 2 byty
- **BOM (Byte-Order Mark, UTF signatura)** = znak $U + FEFF$ („nedělitelná mezera nulové šířky“) na začátku textu (souboru) k rozlišení endianity systému ($FE_{16}FF_{16}$ v big-endian, $FF_{16}FE_{16}$ v little-endian, opačně neplatný kód)

UTF (UCS Transformation Format)

- **UTF-16**: do posloupnosti 2 nebo 4 bytů, používaný zejména v OS MS Windows a programovacím jazyku Java, dříve UCS-2

Tabulka: Kódování UTF-16

$U + 000000 - U + 00FFFF$	$xxxxxxx xxxxxxxx$
$U + 010000 - U + 10FFFF$	$110110xx xxxxxxxx 110111xx xxxxxxxx$

- např. „Příliš“ = $[0050\ 0159\ 00ED\ 006C\ 0069\ 0161]_{16}$ ($\check{r} = U + (159)_{16}$, $\acute{i} = U + (ED)_{16}$, $\check{s} = U + (161)_{16}$)
- BMP včetně českých znaků 2 byty
- **BOM (Byte-Order Mark, UTF signatura)** = znak $U + FEFF$ („nedělitelná mezera nulové šířky“) na začátku textu (souboru) k rozlišení endianity systému ($FE_{16}FF_{16}$ v big-endian, $FF_{16}FE_{16}$ v little-endian, opačně neplatný kód)
- další: UTF-32/UCS-4 (pevně do 4 bytů, příliš nepoužívané), **UTF-7** (do posloupností 7-bitových ASCII kodů, pro e-mail) aj.
- programy pro konverzi textů mezi kódováními

Kód pro nový řádek

- různý v různých operačních systémech
- **LF (Line Feed, odřádkování, A₁₆)**: v unixových OS (včetně Apple Mac OS X)
- **CR (Carriage Return, návrat vozíku, D₁₆) + LF**: v OS MS DOS a Windows
- **CR**: v Apple Mac OS do verze 9
- programy pro konverzi

Kód pro nový řádek

- různý v různých operačních systémech
- **LF (Line Feed, odřádkování, A₁₆)**: v unixových OS (včetně Apple Mac OS X)
- **CR (Carriage Return, návrat vozíku, D₁₆) + LF**: v OS MS DOS a Windows
- **CR**: v Apple Mac OS do verze 9
- programy pro konverzi

Escape sekvence

- = posloupnosti znaku **ESC (Escape, 1B₁₆)** následovaného jedním nebo více znaky z ASCII
- speciální významy (interpretace), např. pro specifikaci pozice kurzoru, barvy nebo fontu v textovém terminálu, přepnutí módu zařízení aj.
 - používané zejména v unixových OS



Vytvořte binární reprezentace několika českých slov s diakritickými znaky pomocí kódování UTF-8 a UTF-16. K dispozici máte Unicode tabulku znaků (UCS) s kódovými body.

- = **zabezpečení** (binární reprezentace) **dat proti chybám** při ukládání a přenosu
 - chyba = **změna bitu**
 - detekční: při čtení dat (příjemcem) umožňují detekovat v datech určité chyby, při chybě data obvykle znovu vyžádána
 - samoopravné (error correction codes, ECC): navíc možnost opravy určitých chyb
- = (většinou) **redundantní doplnění dat o detekční/samoopravný kód dat**
 - při čtení dat (příjemcem), příp. včetně přidaného kódu, také výpočet kódu a pokud je jiný než přijatý, příp. nenulový, detekuje/opraví chyby

Detekční kódy (error detection codes)

Opakování

- data rozdělena do bloků, bloky opakovány = kód
- příjemce porovná původní (první) a opakované bloky, různé = chyba
- jednoduché, neefektivní, nedetekuje stejné chyby ve všech blocích

Detekční kódy (error detection codes)

Opakování

- data rozdělena do bloků, bloky opakovány = kód
- příjemce porovná původní (první) a opakované bloky, různé = chyba
- jednoduché, neefektivní, nedetekuje stejné chyby ve všech blocích

Parita

- data rozdělena do bloků, **sudá/lichá** = pro lichý/sudý počet **I** v bloku je kód (**paritní bit**) roven **I**, jinak **0**
- příjemce provede totéž a porovná paritní bit, různý = chyba
- výpočet paritního bitu pomocí log. operace XOR, příjemce provede XOR i s paritním bitem, nenulový (sudá)/nejedničkový (lichá) = chyba
- např. pro **II0IO** je **I** (sudá)/**0** (lichá)
- detekuje pouze lichý počet chyb
- použití pro detekci chyb při přenosu z/do pamětí a u diskových zařízení

Detekční kódy (error detection codes)

Kontrolní součet (checksum)

- sudá parita = log. operace XOR bloků dat
- modulární součet = blok (dvojkového) **doplňkového kódu aritmetického součtu** čísel reprezentovaných bloky dat ve váženém pozičním kódu
- a jiné
- příjemce provede XOR/součet i s kódem, nenulový = chyba
- např. pro **1100 0101 1010** je **0011** (při XOR)/**0101** (při aritm. součtu)
- detekuje lichý počet chyb na stejných pozicích v blocích
- nedetekuje změnu pořadí bloků nebo přidání/odebrání nulových bloků
- použití u diskových zařízení a komunikačních protokolů

Detekční kódy (error detection codes)

Cyklický redundantní součet (Cyclic Redundancy Check, CRC)

- založen na **binárních cyklických kódech** (vychází z algebraické teorie binárních konečných polí/okruhů a binárních polynomů nad nimi)
- teoreticky: bity dat reprezentují koeficienty polynomu, který je vydělen tzv. generujícím polynomem řádu n (pro kód řádu n), kód tvoří koeficienty zbytku
- prakticky: za data se přidá blok nul velikosti n (pro kód řádu n), bin. reprezentace generujícího polynomu (divisor) má $n + 1$ bitů, od 1. nenulového bitu dat se opakovaně provádí XOR s divisorem dokud nejsou všechny bity dat rovny **0**, kód = přidaný blok
- příjemce provede totéž s kódem místo bloku nul, nenulový = chyba
- blok např. byte (CRC-8), 2 byte (CRC-16), 4 byte (**CRC-32**) – použití u počítačových sítí a úložných zařízení
- např. pro **11010011** a divisor **10011** (gen. polynom $x^4 + x + 1$, CRC-4) je **1001**
- sudá parita je speciální případ (CRC-1, gen. polynom $x + 1$)

Další: založené na **Hammingově vzdálenosti**, lib. **hashovací funkce** aj.

Cyklický redundantní součet (Cyclic Redundancy Check, CRC)

	data								kód						
$D_{3_{16}}$	I	I	0	I	0	0	I	I	|	0	0	0	0	0_{16}	
13_{16}	I	0	0	I	I										gen. polynom $x^4 + x + 1$
$4B_{16}$	0	I	0	0	I	0	I	I	|	0	0	0	0	0_{16}	XOR
		I	0	0	I	I									
7_{16}	0	0	0	0	0	I	I	I	|	0	0	0	0	0_{16}	XOR
						I	0	0	|	I	I				posun na 1. nenulový bit dat
3_{16}	0	0	0	0	0	0	I	I	|	I	I	0	0	12_{16}	XOR
							I	0	|	0	I	I			
1_{16}	0	0	0	0	0	0	0	I	|	I	0	I	0	10_{16}	XOR
								I	|	0	0	I	I		
0_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	|	I	0	0	I	9_{16}	XOR

Obrázek: CRC-4: postup výpočtu



Samoopravné kódy (Error Correction Codes, ECC, Forward Error Correction, FEC)

- použití u úložných zařízení a bezdrátové komunikace

Opakování

- většinou se vyskytující blok je správný

Samoopravné kódy (Error Correction Codes, ECC, Forward Error Correction, FEC)

- použití u úložných zařízení a bezdrátové komunikace

Opakování

- většinově se vyskytující blok je správný

Multidimenzionální parita

- data organizována po blocích do mřížky a spočítány parity pro řádky i sloupce
- pro chybný bit jsou chybné řádková i sloupcová parita

0	I	I	I	|	0
I	I	0	0	|	I
0	I	I	0	|	0
0	0	I	I	|	I
0	I	0	I	|	I

Obrázek: 2-dimenzionální lichá parita

- n -dimenzionální parita umožňuje opravit $n/2$ chyb

Samoopravné kódy (Error Correction Codes, ECC, Forward Error Correction, FEC)

Hammingův kód

- založen na Hammingově vzdálenosti a paritě
- umožňuje detekovat až 2 současné chyby a opravit 1 chybu (Hammingova vzdálenost ≤ 1)
- složitější konstrukce
- použití u operačních pamětí

Další (výkonnější): **Reed-Solomonovy kódy** (CD/DVD/BD), BCH kódy, konvoluční kódy aj.

Součásti počítače



- čtvrtá generace počítačů (od 1973 dodnes) – **mikropočítač** (mikroprocesor)
- počítač jako osobní pracovní nástroj a pro zábavu
- dodnes „klasické“ řešení technického provedení počítače kompatibilní s **IBM PC** (1981):
 - procesor Intel 8088 (16/8-bitový, 4,77 MHz), 16/64–256 kB RAM, volitelný pevný disk 10 MB, prog. jazyk BASIC, operační systém MS DOS, 1500–3000 USD
 - další XT (1983), AT (1984, 16-bitový Intel 80286)
 - klony (HP, Compaq, Dell aj.), po PS/2 (1987) standardizace Intel (hardware) a Microsoft (software)
 - „alternativa“ Apple Macintosh (1984, 32/16-bitový Motorola 68000, 128 kB RAM) a Mac
- „IBM kompatibilní“: procesory **Intel x86 (80x86)** kompatibilní, otevřená „stavebnicová“ architektura (různí výrobci komponent a software, rozšiřující karty) → **počítačová sestava**

Osobní počítač (Personal Computer, PC)



IBM PC 5150 (1981), zdroj

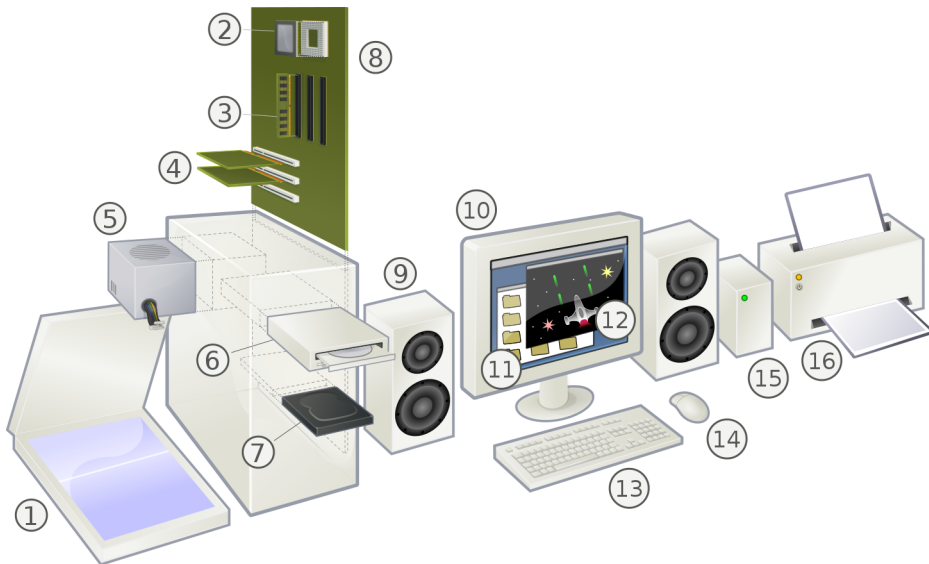
- čtvrtá generace počítačů (od 1973 dodnes) – **mikropočítač** (mikroprocesor)
- počítač jako osobní pracovní nástroj a pro zábavu
- dodnes „klasické“ řešení technického provedení počítače kompatibilní s **IBM PC** (1981):
 - procesor Intel 8088 (16/8-bitový, 4,77 MHz), 16/64–256 kB RAM, volitelný pevný disk 10 MB, prog. jazyk BASIC, operační systém MS DOS, 1500–3000 USD
 - další XT (1983), AT (1984, 16-bitový Intel 80286)
 - klony (HP, Compaq, Dell aj.), po PS/2 (1987) standardizace Intel (hardware) a Microsoft (software)
 - „alternativa“ Apple Macintosh (1984, 32/16-bitový Motorola 68000, 128 kB RAM) a Mac
- „IBM kompatibilní“: procesory **Intel x86 (80x86)** kompatibilní, otevřená „stavebnicová“ architektura (různí výrobci komponent a software, rozšiřující karty) → **počítačová sestava**
- **hardware** = technické vybavení počítače, fyzické součásti („železo“), elektronická a elektromechanická digitální zařízení
- **software** = programové vybavení počítače, operační systém a aplikace, **firmware** = základní „vestavěné“ program(y) pro funkčnost hardware (např. BIOS)

Vnitřní součásti (ve skříni): základní deska, procesor s chladičem, operační paměť, přídatné karty (grafická, zvuková, síťová aj.), pevné disky, mechaniky výměnných diskových médií (CD/DVD/BD, diskety, paměťové karty aj.), zdroj napájení/baterie, ventilátory

Vnější součásti: displej, klávesnice, myš, touchpad

Periferie: disková zařízení (pro pevné disky i výměnná média, přenosná), síťová zařízení (přepínače, směrovače, přístupové body, modemy, antény aj.), multimediální zařízení (reproduktory, mikrofon, webová kamera aj.), tiskárna, plotter, skenner, (grafický) tablet, trackball, joystick a další

- některé vnější součásti a periferie mohou být součástí skříně (notebook/. . . , tzv. all-in-one), např. displej, klávesnice, touchpad, síťová a multimediální zařízení aj.



Součásti počítače, zdroj

Skříň (case, chassis)

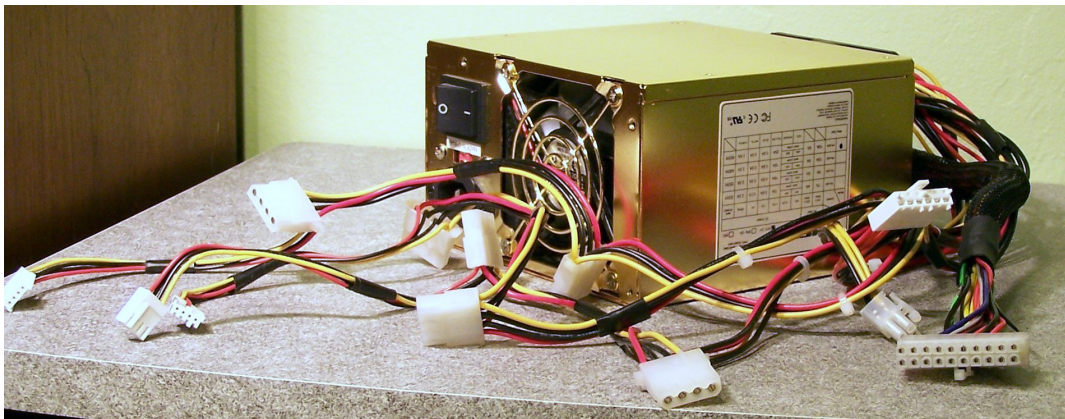
- = kovová (plechová) konstrukce s plastovými kryty a díly + ventilátory
 - provedení desktop, (mini/midi/big)tower, rack, notebook/ultrabook/..., mini atd.
 - korespondence s rozměry **základní desky**
 - **šachty** pro mechaniky výměnných diskových médií (5,25", 3,5"), panely konektorů, tlačítka pro zapnutí, popř. reset, signalizace a indikátory (LED) aj.
 - výrobci: Antec, AOpen, Cooler Master, Dell, Foxconn, Gigabyte, MSI, Zalman a další



Počítačová skříň (case, chasis), zdroj

Zdroj napájení (**Power Supply Unit, PSU**) nebo **Baterie**

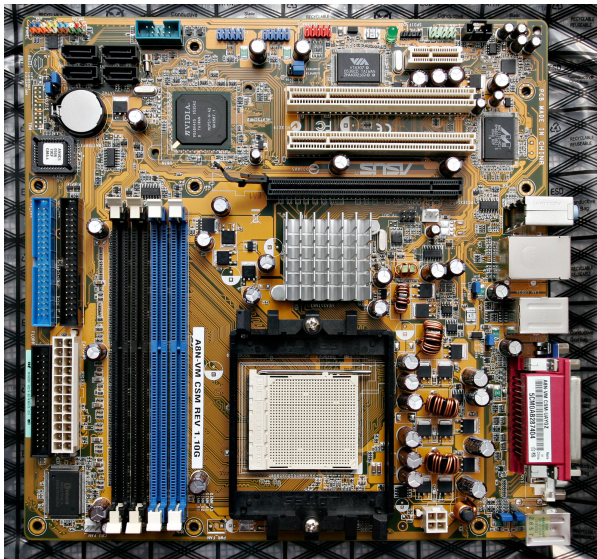
- napájení stejnosměrným el. proudem všech (vnitřních) součástí počítače, ze střídavého 230/110 V z el. sítě
- 3.3, 5 a 12 V (ATX), 250–2000 W pro osobní počítače, 25–300 W pro přenosné s baterií, více zdrojů (redundantních) pro servery a pracovní stanice, účinnost 70–90 % (80 Plus white až titanium)
- konektory (PSU) **hlavní** (P1, 20/24 pinů, do základní desky), **ATX12V** (P4, 4/8 pinů, do základní desky pro procesor), **(mini/Berg)Molex** a **SATA Power** (4 a 15 pinů pro disková zařízení IDE/PATA a SATA), **PCI-E Power** (6/8/12/16-pinů, pro grafické karty na sběrnici PCI Express, 75–662 W), dodatečné (6 pinů) a **IEC C14** (pro el. šňůru), (semi)modulární = odpojitelné kabely
- korespondence s rozměry základní desky a skříně – **ATX** (zmenšené SFX, TFX aj.)
- výrobci: ADATA, Antec, Enermax, Foxconn, FSP, OCZ, Seasonic a další



Zdroj napájení (Power Supply Unit, PSU), zdroj

- připojení a propojení všech ostatních zařízení
- = vícevrstvý (obvykle) obdélníkový plošný spoj s čipy a obvody propojujícími a konektory připojujícími ostatní zařízení pomocí vnitřních a vnějších **sběrnic**
- velikosti (form factor):
 - PC/XT, (Baby) AT (IBM, 1983–5) – pro IBM PC a první klony
 - **ATX** (Intel, 1995) – 244×305 mm, nejpoužívanější, de facto standard, varianty **micro** (desktop), mini, Flex, Extended (rack servery) aj.
 - BTX (Intel) – lepší chlazení a napájení než ATX, neujal se
 - mini/nano/pico/mobile **ITX** (VIA, 2001–7) – v embedded (tzv. jednodeskových) a minipočítačích
 - odpovídající skříň a napájecí zdroj
- výrobci: ASRock, Asus, Biostar, Foxconn, Gigabyte, Intel, MSI, Supermicro, VIA a další

Základní deska (mainboard, motherboard)



Základní deska (microATX), zdroj

Sběrnice (bus)

- = soustava (integrovaných) vodičů propojujících zařízení pro jejich komunikaci a přenos dat (řízeným **protokolem**)
 - parametry:
 - **šířka přenosu (bit)** – kolik bitů lze přenést na jeden „tik“ hodinového signálu
 - **frekvence (MHz)** – frekvence hodinového signálu pro synchronní řízení
 - **rychlost/propustnost (Mb/s)** – množství dat přenesených za sekundu, šířka \times frekvence
 - části:
 - **adresová** – výběr adresy v paměti nebo připojeného zařízení, šířka (typicky) 3 až 64 bitů
 - **datová** – přenos dat, šířka 1 až 128 bitů, udává „bitovost“ sběrnice
 - **řídící** – řízení připojených zařízení, šířka 1 až 8 bitů
 - vnitřní: součást základní desky, patice a sloty pro zařízení, vesměs paralelní
 - vnější (rozhraní): konektory pro kabely k zařízením, převážně kombinované a sériové
 - řízení různými řadiči zařízení – součást chipsetu (viz dále)

Vnitřní sběrnice

procesorová, systémová (CPU, front side bus, FSB)

- připojuje procesor(y), konektor = **patice (socket)**, příp. slot (nebo i napevno)
- 8 až 64-bitová, šířka datové části (většinou) koresponduje s adresní
- frekvence: 66/100/133/200/266/400 MHz

paměťová (memory bus)

- připojuje (moduly) operační paměti (RAM), konektory = **sloty**
- 64/128-bitová, frekvence FSB

Vnitřní sběrnice

rozšiřující, lokální (expansion, local bus)

- připojení **přídavných karet** – grafické, zvukové, síťové, multimediální, diskové řadiče, řadiče vnějších sběrnic aj.
- konektory = **sloty**, integrované „karty“ = součást (chipsetu) základní desky – např. zvuková, síťová, diskové řadiče, někdy i grafická (tzv. all-in-one)
- **ISA (Industry Standard Architecture)**: nejstarší (standardizovaná) pro IBM PC, 8/16-bitová, 4,77/8,33 MHz, manuální konfigurace karet pomocí propojek tzv. **jumperů** nebo v BIOSu, dnes se u PC téměř nevyskytuje, přetrvává v průmyslových počítačích
- **EISA (Extended ISA)**: zpětně kompatibilní s (16-bit) ISA, 8/16/32-bitová, 8,33 MHz, dnes nepoužívaná
- **VLB (VESA Local Bus)**: dodatečná k (16-bit) ISA pro grafické karty, 32-bitová, 25–50 MHz, dnes nepoužívaná

Vnitřní sběrnice

rozšiřující, lokální (expansion, local bus)

- **PCI (Peripheral Component Interconnect)** (Intel)
 - univerzální nejen pro IBM PC kompatibilní počítače, 32/64-bitová, 33/66/100/133 MHz
 - **Plug & Play** (PnP, 1992, Intel, Microsoft, Compaq) – standard pro **automatickou konfiguraci karet**
 - umožňuje zařízením **přímý přístup do operační paměti**
 - dnes postupně nahrazována PCI Express
- **AGP (Accelerated Graphic Port)** (Intel): pro grafické karty (propojení přímo s procesorem a operační pamětí), 32-bitová, 66 MHz = 1×, pak 2×, 4×, 8× (stejný slot, přenos více bitů v taktu), dnes (téměř) nahrazena PCI Express
- **PCI Express (PCI-E)**: nekompatibilní nástupce PCI (a AGP), 1–32-bitová, 1,25 GHz = 1×, pak 4× pro různé karty, 8×, 16× pro grafické karty (různé sloty)
- další: průmyslové (VME), ACR, AMR, CNR: pro modemové/komunikační a zvukové karty, dnes nepoužívané

Vnější sběrnice a rozhraní

Na ploše základní desky:

- konektory **rozhraní/sběrnice pevných disků a mechanik výměnných diskových médií** (CD/DVD/BD, diskety, paměťové karty aj.): IDE/PATA, (m)SATA, M.2 aj.
- patice pro BIOS, cache paměti apod.
- rozšiřující konektory pro **vnější sběrnice** (USB, FireWire, Thunderbolt aj.), multimediální zařízení (panely) aj.
- konektory (piny) pro další zařízení: zdroj napájení, ventilátory, tlačítka, signalizace a indikátory (LED), reproduktor ve skříni aj.

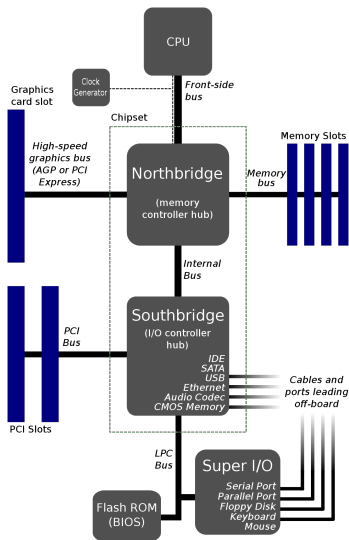
Konektory na (zadním) panelu základní desky:

- **integrovaných „karet“/čipů**: zvukové (jack, optické), síťové (RJ-45), grafické (VGA = D-SUB, DVI, HDMI, DisplayPort)
- **vnějších sběrnice** pro periferie: USB, FireWire, eSATA, I²C aj.
- **vstupně/výstupních (I/O) periférií** (čip **Super I/O**): klávesnice, myš (PS/2), paralelního (Centronics, LPT), sériového (RS 232, COM), MIDI aj. rozhraní (porty)

Chipset (čipová sada)

- = hlavní obvody (s pasivním kovovým chladičem) na základní desce pro řízení sběrnic a komunikaci všech připojených zařízení
- určuje podporované procesory, (moduly) operační paměti (RAM), sběrnice, integrovaná zařízení apod.
- **severní můstek, systémový řadič (north bridge, memory controller hub)**
 - propojuje procesorovou a paměťovou sběrnici (procesor, operační paměti) s rychlými vnitřními sběrnici (AGP, PCI Express) a jižním můstkem (můstky, interní sběrnice)
 - obsahuje, pokud je, **integrovanou grafickou „kartu“/čip**
- **jižní můstek, vstupně/výstupní řadič (south bridge, I/O controller hub)**
 - propojuje severní můstek a vnitřní sběrnice (PCI, PCI Express, ISA) s vnějšími (USB)
 - obsahuje **řadiče sběrnic/rozhraní, řadič diskových zařízení, řadič DMA** (Direct Memory Access, umožnění přímého přístupu zařízení do operační paměti), **integrované „karty“/čipy** (zvuková, síťová aj.)
- výrobci: Intel, AMD, NVidia, VIA, SiS a další

Základní deska (mainboard, motherboard)

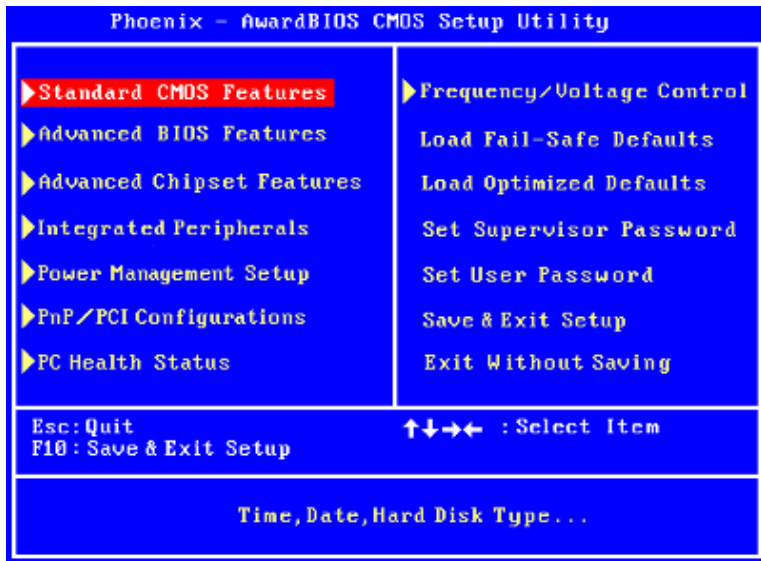


Blokové schéma základní desky, zdroj

BIOS, Basic Input Output System

- = program implementující **základní nízkourovňové služby**: start počítače a (prvotní) inicializace zařízení, základní vstupní a výstupní (obsluha klávesnice a myši, čtení z diskových zařízení, text a grafika na monitoru), udržování data a času, správa napájení, síťové aj.
 - rozhraní mezi hardwarem a operačním systémem – dnes **UEFI**
 - umožňuje **základní konfiguraci zařízení**, tzv. **SETUP**: zapnutí/vypnutí a nastavení parametrů (např. frekvence a napájení procesoru a operační paměti RAM, integrovaných „karet“ /čipů – přerušení IRQ, DMA kanály aj.), diskové zařízení pro zavedení operačního systému, nastavení data a času apod.
- = firmware v paměti Flash EEPROM na základní desce, konfigurační data v paměti CMOS RAM zálohované baterií
 - výrobci: Award/Phoenix, Ami, **SeaBIOS**, **coreboot**

Základní deska (mainboard, motherboard)



SETUP BIOSu, zdroj

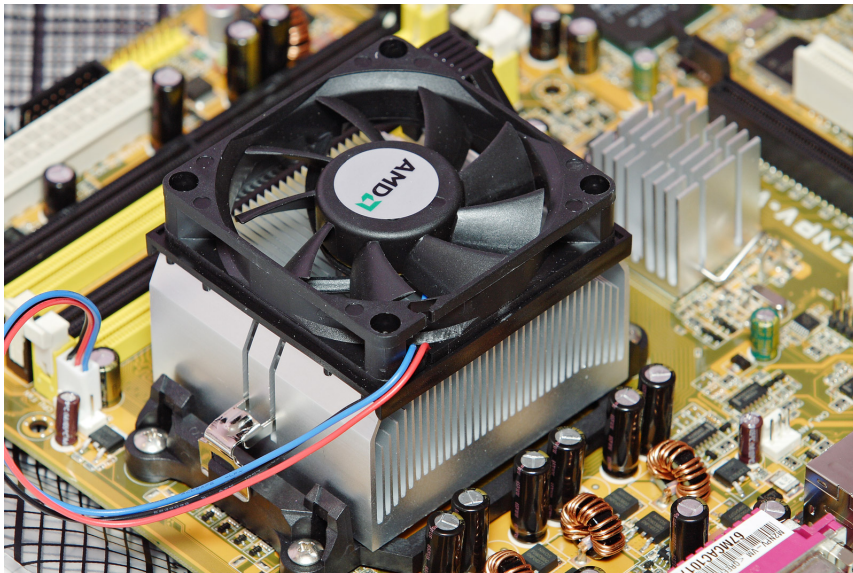
- = centrální výpočetní prvek počítače, vykonávající instrukce programů (včetně operačního systému)
- = **mikroprocesor** = integrovaný obvod/čip nejvyššího stupně integrace
 - patice (socket) – dnes téměř výhradní, pro piny nebo plošky vývodů procesoru (desítky až tisíce), např. DIP, PLCC, Socket X / PGA X / LGA X
 - slot – dříve, výjimečně, např. Slot 1, 2, A, konektor MMC
- pasivní (kovový chladič, heatsink) nebo aktivní chlazení (chladič s ventilátorem, heatpipes)
- výrobci: Intel, AMD, Arm (design), Apple (ARM), Broadcom (ARM), IBM, MediaTek (ARM), Qualcomm (ARM), Samsung (ARM), Texas Instruments (x86), Via (x86), Zhaoxin (x86) a další

Procesor (central processing unit, CPU)



Procesor (Intel Core), zdroj

Procesor (central processing unit, CPU)



Chladič procesoru s ventilátorem, zdroj

■ části:

- **řadič (řídící jednotka, central unit, CU)** – zpracovává instrukce programu nad daty čtenými a zapisovanými z/do registrů, do/z nich z/do operační paměti nebo vstupního/výstupního (I/O) zařízení
- **aritmeticko-logická jednotka (ALU)** – realizuje výpočetní (aritmetické a logické) operace, celočíselná a v plovoucí řádové čárce (FPU)
- **registry** – paměťové buňky pro instrukcemi zpracovávaná data
- **paměti cache** (různé, několika úrovní), **řadič cache** – pro části programu (instrukce) a data z/do operační paměti nebo I/O zařízení
- **sběrnice a stránkovací jednotka, řadič operační paměti** – pro práci s (virtuální) operační pamětí programů
- ...
- navenek von Neumannova architektura, vnitřně části dle harvardské (zvláště instrukční a datová cache)

■ frekvence:

- **vnitřní (taktovací)** – frekvence vykonávání instrukcí, 1 MHz až několik GHz (dnes dynamická), odvozena od frekvence FSB (jako násobek až např. 15, typicky od 3 do 7,5)
- **vnější** – frekvence FSB, určená severním můstkem chipsetu

Instrukční sada

- = množina instrukcí implementovaných v procesoru, pevně nebo upravitelně – instrukce složeny z tzv. **mikroinstrukcí**
- **CISC (Complex Instruction Set Computer)** – tzv. úplná instrukční sada, více instrukcí i pro déletrvající operace, např. IBM System/360, PDP, Motorola 68k, Zilog Z80, u PC navenek procesory Intel, AMD – sada **x86 (IA-32)**
- **RISC (Reduced ISC)** – tzv. redukováná instrukční sada, instrukce pouze pro základní jednodušší operace, složitější překladačem programu, např. IBM Power, ARM (A32, T32, A64), RISC-V, u PC interně novější procesory Intel, AMD – sada **x86 (x86-64)**
- instrukce přesunů a konverzí (mezi registry a operační paměti), aritmetické, logické (log. operace, posuvy, rotace), skoků (v programu) a přerušení, řídicí (pro režimy procesoru, virtuální paměť apod.) a další
- (dříve) **matematického koprocesoru (Floating Point Unit, FPU)** pro operace v plovoucí řádové čárce – sada x87, dnes součást CPU
- rozšířené, např. **vektorové** (Intel MMX, AMD 3DNow!, SSE, AVX aj.), **virtualizační** (Intel VT, AMD-V) aj.

Registry

- = paměťové buňky pro instrukcemi zpracovávaná data
 - u CISC různý význam, u RISC obvykle všechny univerzální
 - velikost dle datové (a adresní) části procesorové sběrnice – 8/16/32/64 bitů
 - **univerzální (datové)** – pro operandy, mezivýsledky a výsledky instrukcí: EAX (RAX), EBX (RBX), ECX (RCX), EDX (RDX)
 - se stanoveným **významem** – pro řízení vykonávání programu, např. EIP (RIP), EBP (RBP), ESP (RSP), EFlags, pro implicitní operandy a výsledky, např. ESI (RSI), EDI (RDI), pro řízení procesoru, např. CR_x, TR_x, a další
 - matematického koprocesoru: FP_x (zásobníkové ST(x))
 - dalších jednotek procesoru a rozšířených instrukčních sad: např. MM_x (X/Y/ZMM_x)

Vývoj (Intel x86)

- před: první 4-bitový (4004, 1971) a 8-bitové (8008, 8080, 1972–4), tisíce až desítky tisíc tranzistorů
- **8086** (1978): první **16-bitový** (x86-16), 8088 (1979) v IBM PC XT, segmentace paměti programu (až 1 MB RAM), FPU 8087 na základní desce
- **80286** (1982): **chráněný režim** běhu – **virtuální paměť** (až 16 MB RAM, až 1 GB virtuální, **TLB cache**), **úroveň ochrany běhu programu** (Ring 0–3), předtím **reálný režim** běhu, v IBM PC AT, stovky tisíc tranzistorů
- **80386** (1985): první **32-bitový** (IA-32, až 4 GB RAM), **stránkování paměti**, cache na základní desce, oprávnění segmentů virtuální paměti programu, klon AMD
- **80486** (1989): **pipelining** = fázové zpracování více instrukcí zároveň, **L1 a L2 cache** (jednotky a desítky kB, L2 na základní desce), integrovaná FPU, miliony tranzistorů, klony Cyrix, AMD

Vývoj (Intel x86)

- **Pentium** (P5, 1993): **harvardská koncepce** (L1 cache zvlášť pro instrukce a pro data), **superskalární architektura** = více (2) proudů vykonávání instrukcí současně (2 ALU), rysy RISC, AMD K5 (mikroarchitektura), Cyrix M
- **Pentium MMX** (1996): **vektorové instrukce MMX** – **architektura SIMD** (Single Instruction Multiple Data) = paralelní zpracování více dat (vektoru) jedinou instrukcí
- **Pentium Pro** (P6, 1995): **RISC jádro** (mikroinstrukce), paralelní (superskalární) jednotky, branch prediction = „předvídaní správného“ proudu, PAE (až 64 GB RAM), L0 cache (pro mikroinstrukce), až 1 MB L2 cache (druhý čip)
- **Pentium II** (1997): integrovaná L2 cache (stovky kB), verze **Celeron** i bez L2 cache, **Xeon** pro servery a pracovní stanice, **Mobile (M)** pro notebooky, AMD K6 (3DNow!)
- **Pentium III** (1999): vektorové instrukce SSE
- **Pentium 4** (Northwood, 2000): **HT (HyperThreading)** = simulace dvou procesorů (zdvojené registry), L3 cache, SSE2, plošky vývodů (místo pinů), desítky milionů tranzistorů, AMD Athlon, Duron



Vývoj (Intel x86)

- **Itanium** (2001): první 64-bitový (IA-64, emulace IA-32), pro servery a pracovní stanice
- **Pentium 4** (Prescott, 2004), **Pentium D** (2005): **64-bitové** (EM64T = x86-64), **dvě jádra** ~ dva procesory, SSE3, VT, AMD Athlon 64/FX/X2, Opteron, Sempron X2 (AMD-V) aj.
- **Core** (2006): 32-bitové, nová architektura
- **Core 2** (2006): 64-bitové, **vícejádrové** (2–4, sdílená L2 cache jednotky MB), SSE 4, AMD Phenom, Athlon II
- **Core i3/5/7** (2008–10–): sdílená L3 a L4 cache (desítky MB), různé mikroarchitektury (generace), AVX, verze **Atom** pro netbooky apod., **Xeon Phi** pro servery a superpočítače, AMD APU (CPU+GPGPU, Bulldozer), Ryzen, Epic (architektury Zen 1-4)

= paměťové zařízení pro ukládání (= zápis), uchování a získání (= čtení) (binárních) dat

- parametry:

- **kapacita, přenosová rychlost, přístupová doba** (od požadavku do uložení/vydání dat)
- spolehlivost/výdrž (doba mezi poruchami/použití), cena za bit aj.

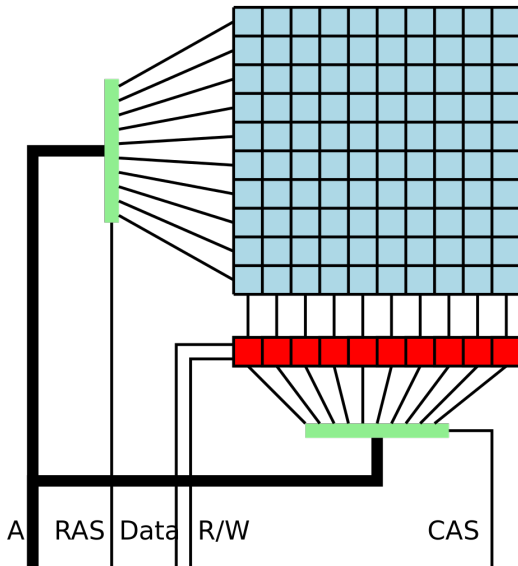
- dělení:

- možnost zápisu: ne = ROM, jednou, opakovaně = RWM
- přístup k datům: přímý = RAM, sekvenční, asociativní
- energetická závislost: neudrží data bez energie = volatilní
- trvanlivost: data potřeba periodicky obnovovat = dynamické
- fyzikální princip: elektronické, magnetické, optické, ...
- ...

- **vnitřní** – pro krátkodobé ukládání (spuštěných) programů a (operačních) dat, např. registry procesoru, operační (RAM) a cache paměti, paměti přidavných karet (pro operační data), pro dlouhodobé ukládání např. paměti pro firmware a konfigurační data (např. BIOS)
 - menší kapacity (do desítek GB), vyšší přenosové rychlosti (až desítky TB/s), přístupová doba do desítek ns, spolehlivé, ROM i RWM, přímý a asociativní přístup, energ. závislé i nezávislé, statické i dynamické, elektronické
- **vnější** – pro dlouhodobé ukládání programů a (jiných) dat, např. pevné disky, výměnná disková média (CD/DVD/BD, diskety, paměťové karty aj.) a jiná disková zařízení
 - větší kapacity (až stovky TB), nižší přenosové rychlosti (do jednotek GB/s), přístupová doba ms (přímý přístup) až min (sekvenční přístup), méně spolehlivé, RWM, energ. nezávislé, statické



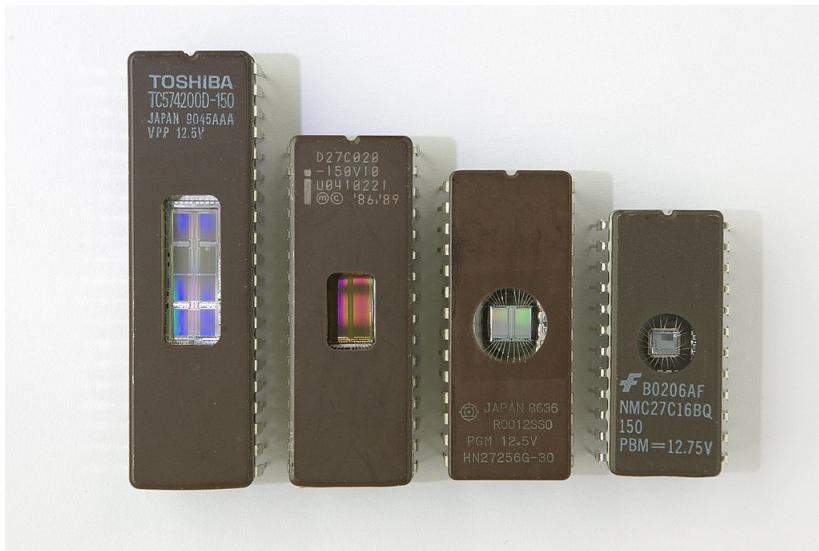
- zapojeny jako matice **paměťových buněk** (s kapacitou 1 bit)
- buňky určeny dekodovanou **adresou** (řádkovou částí byty/slova, sloupcovou bity) na adresní části sběrnice, hodnota (zesílená) na datové části
- **pouze pro čtení (ROM, Read Only Memory)** – nevolatilní, statické, použití např. pro firmware (dříve)
- **i pro zápis (RWM)** – např. **RAM (Random Access Memory)**, volatilní, dynamické i statické, rychlejší než ROM, použití všude jinde než ROM



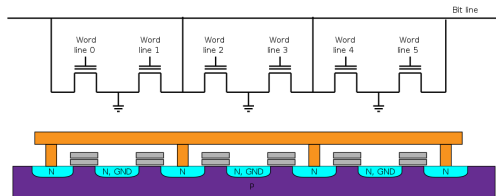
Organizace vnitřní paměti (DRAM), zdroj

Paměti ROM

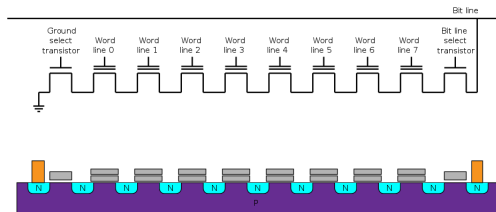
- **ROM** (1965) – data (log. hodnoty) formou masky propojů „zapsána“ trvale a neměnně při výrobě
- **PROM (Programmable ROM)** (1970) – (typicky) z výroby samé log. **1**, jediná změna větším napětím na log. **0** **programátorem PROM** (přepálení pojistky na propoji)
- **EPROM (Erasable PROM)** (1971) – log. hodnoty formou el. náboje v MOSFET tranzistoru = paměťová buňka, zapsány programátorem EPROM, výmaz celé paměti UV zářením (odvedením náboje, „okénko“ v čipu)
- **EEPROM (Electrically EPROM)** (1976) – výmaz opačným napětím než zápis
- **Flash EEPROM** (1984/7)
 - přepisovatelné buňky, uspořádané do skupin paralelně (NOR) nebo sériově (NAND), pro 1 (SLC) a více bitů (MLC, TLC, QLC, PLC) \rightsquigarrow RWM
 - organizace po blocích (desítky až stovky kB), nižší výdrž a trvanlivost než EEPROM (\rightarrow FTL mezivrstva pro rozložení zápisů na celou paměť)
 - dnes používaná i pro vnější paměti (NAND např. paměťové karty, Flash a SSD disky, NOR vestavěné)



Čipy paměti EPROM, zdroj



Skupina paměťových buněk NOR flash paměti (MOS), zdroj



Skupina paměťových buněk NAND flash paměti (MOS), zdroj



Statická RAM (SRAM) (1963)

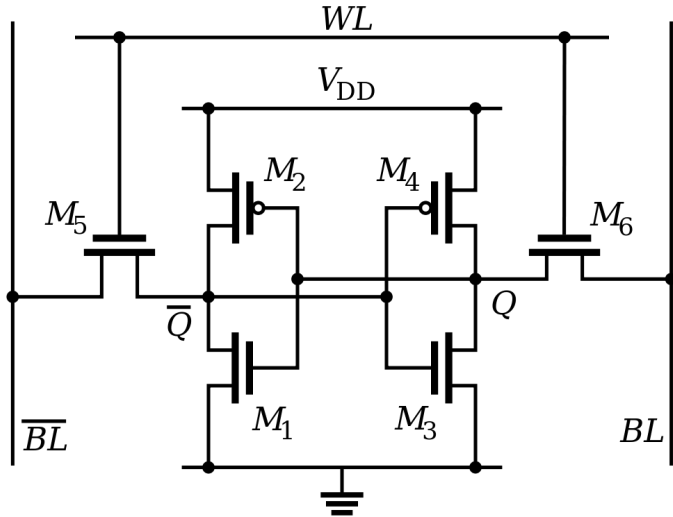
- rychlé (přístupová doba jednotky ns, rychlost až desítky TB/s), ale složité → použití: cache paměti
- realizace buňky: **bistabilní klopný obvod**, např. v technologii MOS (4–10 MOSFET tranzistorů)

Statická RAM (SRAM) (1963)

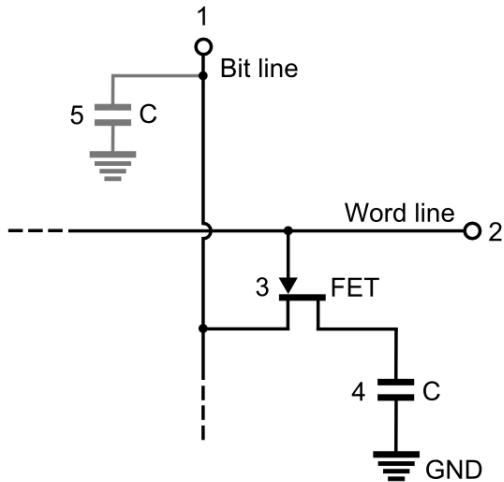
- rychlé (přístupová doba jednotky ns, rychlost až desítky TB/s), ale složité → použití: cache paměti
- realizace buňky: **bistabilní klopný obvod**, např. v technologii MOS (4–10 MOSFET tranzistorů)

Dynamická RAM (DRAM) (1965)

- realizace buňky: **kondenzátor + tranzistor** (FET) – log. hodnoty formou el. náboje, vybíjení samovolně i čtením ⇒ periodická obnova (čipsetem) = **refresh**
- kondenzátor + refresh = větší přístupová doba (jednotky až desítky ns), menší rychlost (až stovky GB/s), ale jednoduché → použití: operační paměti



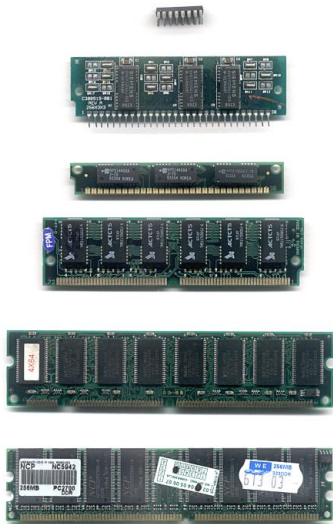
Paměťová buňka SRAM paměti (CMOS), zdroj



Paměťová buňka DRAM paměti, [zdroj](#)

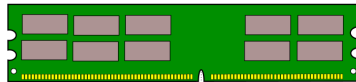
Dynamická RAM (DRAM)

- **asynchronní:** řídicí signály adresy (RAS, CAS), zápisu a datového výstupu
 - FPM (Fast Page Mode) – rychlejší čtení sousedních dat, moduly DIP (čipy do patice) aSIPP, SIMM (čipy na kartě do slotu)
 - EDO (Extended Data Out) – částečné překrývání operací přístupu, moduly SIMM
- **synchronní:** řídicí signál „hodin“ (CS), **časování paměti** = nutné prodlevy operací přístupu, např. 5-1-1-1, standard JEDEC PCn-xxxx
 - (SDR) **SDRAM** (Synchronous DRAM, 1992) – synchronní s FSB, SGRAM pro grafické karty, moduly **DIMM**, SO-DIMM a MicroDIMM pro notebooky
 - RDRAM (Rambus DRAM, 1996) – užší rychlejší paměťová sběrnice, moduly RIMM
 - **DDRn SDRAM** (Double Data Rate SDRAM, 1998) – 2 datové přenosy v 1 cyklu, 2^{n-1} násobná rychlost přenosu (a FSB), GDDRn pro grafické karty, LPDDRn pro mobily
 - **HBMn** (High Bandwidth Memory, 2013) – „stohování“ SDRAM (8, 12), širší sběrnice (nový řadič), vyšší rychlost přenosu (až jednotky TB/s)
- výrobci modulů: Corsair, HyperX, Kingston, Crucial, Samsung, Transcend a další
- výrobci čipů: Micron, Samsung, SK Hynix, Winbond a další

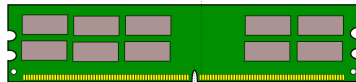


Moduly DRAM, zdroj

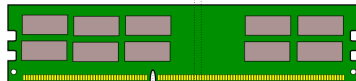
DDR



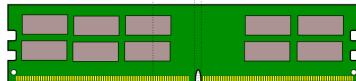
DDR 2



DDR 3



DDR 4



Porovnání modulů DDR SDRAM, zdroj

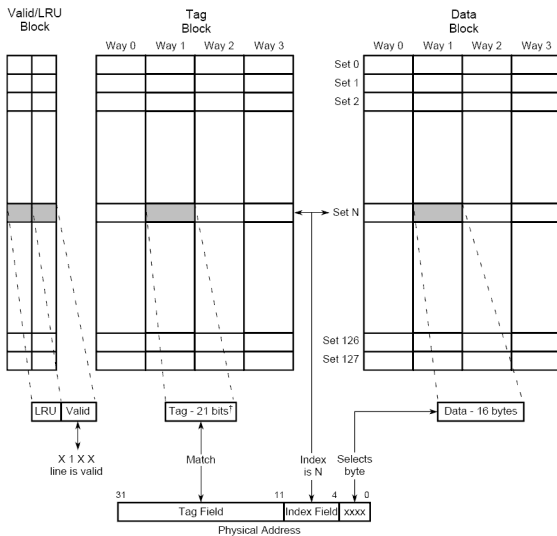
Cache

- = rychlejší (a menší) **mezipaměť** pro rychlejší (opakovaný) přístup k často používaným datům v pomalejší paměti, např. operační, diskovém zařízení, počítačové síti apod.
- využití toho, že se často a opakovaně používají stejné části paměti (např. u operační paměti programu a dat)
- hardwarová typicky statická RAM (SRAM), softwarová v operační paměti nebo na úložném zařízení
- čtení dat z paměti přes cache:
 - **cache hit** = požadovaná data jsou v cache a načtena z ní
 - **cache miss** = požadovaná data nejsou v cache, načtena z paměti a uložena do cache
- zápis dat přes cache do paměti:
 - **write-through** – ihned při zápisu do cache
 - **write-back** – až později, např. při přeplnění cache, vyšší výkon
- při obsazení místa nahrazení dat v cache – typicky metodou **Least Recently Used (LRU)**, tj. nejdéle nepoužitých

CPU cache

= pro procesor při přístupu do operační paměti (RAM) – SRAM

- (dnes) součást procesoru, více druhů: instrukční a datová – více úrovní L0–4, TLB aj.
- organizace do bloků dat (jednotky až desítky bytů) a asociace s bloky operační paměti – části adresy: tag, index (jednotky bitů) a offset v bloku dat
- **přímo mapovaná** ~ tabulka s indexovanými řádky a sloupci pro tag, blok dat a další informace (platnost dat, pro metodu nahrazení bloku, synchronizační aj.)
 - přístup k bloku dat na základě indexu a porovnání tagu = cache hit/miss
 - rychlé a jednoduché, ale adresy se stejným indexem mapované do stejného bloku → hodně cache miss ⇒ nízký výkon
- **plně asociativní** ~ jednořádková tabulka se sloupci pro více tagů a bloků – výběr neplatného nebo nahrazeného
 - adresa bez indexu, přístup pouze na základě porovnání tagů
 - flexibilita a využitelnost, ale velký tag, hodně porovnání ⇒ nízký výkon, nepoužívají se
- **n -cestně asociativní** ~ tabulka s indexovanými řádky a sloupci pro n tagů a bloků
→ méně cache miss, menší tag, méně (n) porovnání ⇒ nejpoužívanější, n od 2 do 8



† 20 bits for the IntelDX4™ processor

Schéma 4-cestně asociativní CPU cache (Intel 486), zdroj



Vnitřní součásti počítače

- = (obvykle) obdélníkové plošné spoje s čipy (= **dedikované**), příp. s chladičem a
 - konektor (na kraji) pro zasunutí do slotu rozšiřující vnitřní sběrnice na základní desce (PCI, PCI Express)
 - konektory (na kraji) pro připojení displejů a periférií, vyvedené ven ze (zadní části) skříně
 - konektory (na kartě, kraji) pro připojení jiných vnitřních součástí: jiné karty, disková zařízení (pevné disky, mechaniky výměnných diskových médií), zdroj (dodatečné napájení) aj.
- grafická, zvuková, síťová, multimediální, diskové řadiče, řadiče vnějších sběrnic (pro periferie) a další
- **integrované/čipy na základní desce** – součást chipsetu, běžně zvuková, síťová, diskové řadiče, někdy i grafická (tzv. all-in-one)
- **integrované s procesorem** – v pouzdře s CPU, grafická, někdy i síťová
- **externí pro vnější sběrnice** – USB (zvuková, síťová), FireWire (diskové řadiče), Thunderbolt (grafická) aj.

- ~ grafický adaptér, videokarta, grafický akcelerátor (dříve zvlášť)
- = zařízení pro (2D) obrazový výstup počítače na displeji (monitoru)
 - rozšiřující sběrnice dnes PCI Express 16×, popř. AGP, dříve PCI, VLB
 - integrovaná v chipsetu, procesoru (Intel Graphics, AMD APU), externí (Thunderbolt)
 - součásti (čipy na kartě):
 - **grafický procesor (GPU)** – vytváří obraz(y) ze vstupních dat v grafické paměti, implementace grafických operací, 3D grafiky, dekódování videoformátů, obecné paralelní výpočty (General Purpose GPU, **GPGPU**) aj.
 - části: tzv. (unifikované) **shadery**/„jádra“ (programovatelné RISC procesory, dříve pixel a vertex), řadič grafické paměti, cache, různé jednotky (např. texturovací, renderovací) aj.
 - pasivní (kovový chladič, heatsink) nebo aktivní chlazení (chladič s ventilátorem, heatpipes)
 - **grafická paměť** – uložení obrazových a dalších dat, u integrovaných „karet“ v operační paměti, propojení s GPU 32–1024-bitovou sběrnicí, **GDDRn** (Graphics DDR), **HBMn**, dříve EDO, VRAM (Video RAM), SGRAM, (DDRn) SDRAM
 - VPU (Video PU), Video BIOS, příp. převodníky videosignálu (např. RAMDAC na analogový výstup, ze vstupu = VIVO), aj.
 - výrobci GPU: Nvidia, AMD (dříve ATI), Intel, Matrox, VIA/S3, ARM, Qualcomm aj.
 - výrobci karet: Asrock, Asus, AMD, Gigabyte, Matrox, Nvidia, MSI, S3, Sapphire aj.

Grafická karta (graphic card)



Grafická karta, zdroj



- konektory pro displeje (ven): VGA = D-SUB, S-Video/kompozitní/komponentní (analogové), DVI, HDMI, DisplayPort (digitální)
- konektory (na kartě, kraji): pro zdroj (PCI-E Power, dodatečné napájení), jiné karty (grafické, multimediální) aj.
- parametry: počet shaderů/ „jader“ a frekvence GPU (až stovky a jednotky GHz), velikost a frekvence grafické paměti (až desítky GB a GHz), **režimy zobrazení** (maximální grafický), API 3D grafiky, GPGPU, dekódované videoformáty atd.

- konektory pro displeje (ven): VGA = D-SUB, S-Video/kompozitní/komponentní (analogové), DVI, HDMI, DisplayPort (digitální)
- konektory (na kartě, kraji): pro zdroj (PCI-E Power, dodatečné napájení), jiné karty (grafické, multimediální) aj.
- parametry: počet shaderů/ „jader“ a frekvence GPU (až stovky a jednotky GHz), velikost a frekvence grafické paměti (až desítky GB a GHz), **režimy zobrazení** (maximální grafický), API 3D grafiky, GPGPU, dekódované videoformáty atd.

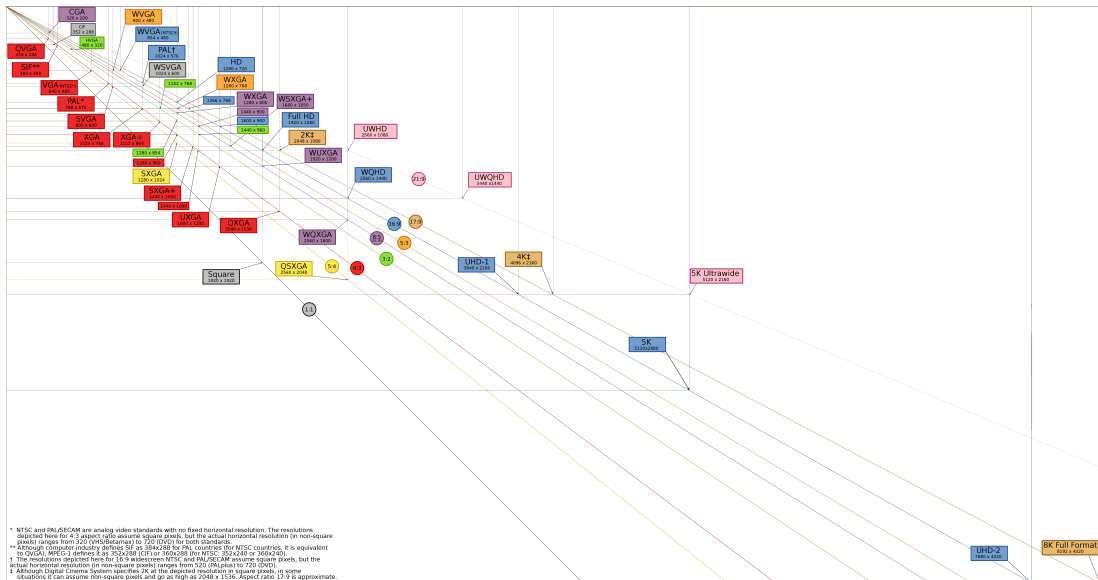
Režimy zobrazení (display modes)

- **textový** – zobrazení (tisknutelných) znaků textu do 2D tabulky – předdefinované znaky ve Video BIOSu, obecně libovolné definované pomocí znakové 2D matice (mřížky) bodů
- **grafický** – zobrazení libovolného obrazu do 2D mřížky (rastru) obrazových bodů, **pixelů**

Parametry režimu zobrazení

- **rozlišení (resolution)** = počet znaků/pixelů na řádku (horizontální) a ve sloupci (vertikální)
 - pro textové režimy např. VGA standardy: 80×25 (výchozí), 40×25 , 80×50 aj.
 - pro grafické režimy standardy VGA, XGA, HD aj.: 640×480 (VGA), 800×600 (SVGA), 1024×768 (XGA), 1280×1024 (SXGA), 1280×800 (WXGA), 1280×720 (HD), 1600×1200 (UXGA), 1920×1080 (full HD), 1920×1200 (WUXGA), 3840×2160 (4k ultra HD), 7680×4320 (8k ultra HD) atd.
 - poměry stran typicky $16 : 9$ (HD), $16 : 10$, $4 : 3$, $3 : 2$, $5 : 4$ aj.
- **obnovovací frekvence (refresh frequency/rate)** = frekvence překreslování obrazu, typicky 50–160 Hz
- **barevná hloubka (color depth)** = počet barev, které je možné celkem (ne nutně zároveň) zobrazit, pro textové např. 2 (monochromatický, „černobílý“), 16, pro grafické např. 16, 256 (VGA), 2^{16} (high color, XGA), 2^{24} (true color), 2^{30} (deep color)
- další, např. rozměr znakové matice (9×16), podporované barevné modely (RGB, CMY(K))

Grafická karta (graphic card)



Standardy (grafických) rozlišení, zdroj

- = zařízení pro zvukový výstup počítače z reproduktorů a zpracování zvuku na vstupu (mikrofon, linkový)
- rozšiřující sběrnice dnes PCI, popř. PCI Express, dříve (E)ISA
- integrovaná v chipsetu (Intel AC97, HD Audio), grafické kartě (HDMI), externí (USB)
- součásti (čipy na kartě):
 - **AD/DA převodníky (zvukový čip)** – digitalizace analogového signálu na vstupu a obráceně (vzorkování a kvantizace)
 - **FM a wave table syntezátory** a paměť (EEPROM) pro vzorky zvuků – generování zvuku (tónů hudebních nástrojů)
 - **efektový procesor** – úpravy zvuku v reálném čase, vytváření efektů (např. prostorového zvuku, polyfonie apod.)
- výrobci: Creative Technology, C-Media, Realtek, VIA, ESS Technology a další

Zvuková karta (sound card)

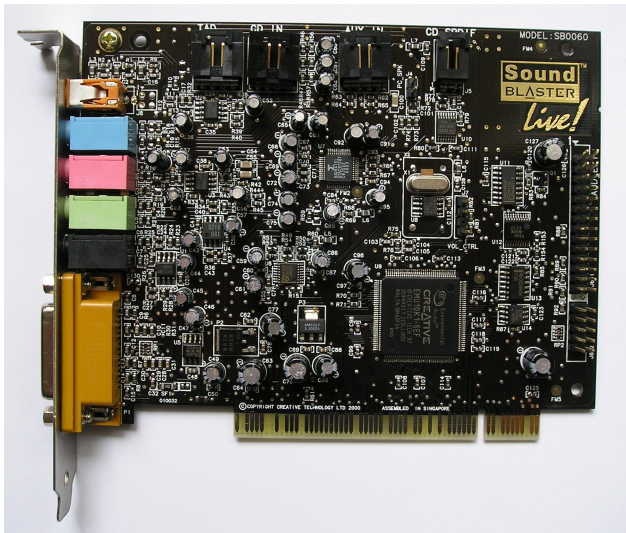


- = zařízení pro zvukový výstup počítače z reproduktorů a zpracování zvuku na vstupu (mikrofon, linkový)
- rozšiřující sběrnice dnes PCI, popř. PCI Express, dříve (E)ISA
- integrovaná v chipsetu (Intel AC97, HD Audio), grafické kartě (HDMI), externí (USB)
- součásti (čipy na kartě):
 - **AD/DA převodníky (zvukový čip)** – digitalizace analogového signálu na vstupu a obráceně (vzorkování a kvantizace)
 - **FM a wave table syntezátory** a paměť (EEPROM) pro vzorky zvuků – generování zvuku (tónů hudebních nástrojů)
 - **efektový procesor** – úpravy zvuku v reálném čase, vytváření efektů (např. prostorového zvuku, polyfonie apod.)
- výrobci: Creative Technology, C-Media, Realtek, VIA, ESS Technology a další

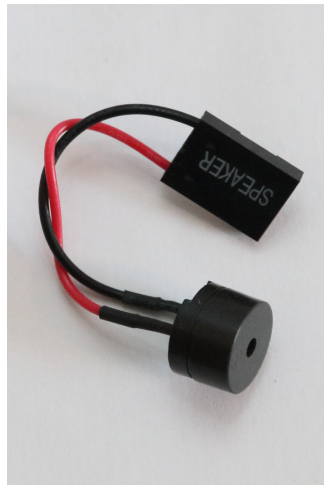
PC speaker

- = malý reproduktor ve skříni připojený k základní desce, typicky pro oznamování chyb hardware (RAM) BIOSem – „pípání“

Zvuková karta (sound card)



Zvuková karta, zdroj



PC speaker, zdroj



- konektory (ven, barevně odlišené): analogový mono/stereo jack 3,5 mm pro mikrofonní a linkový vstup a výstupy linkový/přední/sluchátka (2.0), středový a LFE/subwoofer (2.1), zadní (5.1), boční (7.1) aj. pro reproduktory, (optický) S/PDIF pro digitální linkový výstup, MIDI/Gameport pro elektronické hudební nástroje nebo joystick
- konektory (na kartě): CD-Audio vstup od mechaniky na optická výměnná disková média (pro přehrávání Audio CD/DVD) a jiné vstupy, patice pro paměťové moduly pro vzorky zvuků aj.
- parametry: vzorkovací frekvence, velikost a počet vzorků digitalizace (11/22/44/48/96/192 kHz, 8/16/24 bitů a mono/stereo), syntezátory, velikost paměti pro vzorky zvuků aj.

- konektory (ven, barevně odlišené): analogový mono/stereo jack 3,5 mm pro mikrofonní a linkový vstup a výstupy linkový/přední/sluchátka (2.0), středový a LFE/subwoofer (2.1), zadní (5.1), boční (7.1) aj. pro reproduktory, (optický) S/PDIF pro digitální linkový výstup, MIDI/Gameport pro elektronické hudební nástroje nebo joystick
- konektory (na kartě): CD-Audio vstup od mechaniky na optická výměnná disková média (pro přehrávání Audio CD/DVD) a jiné vstupy, patice pro paměťové moduly pro vzorky zvuků aj.
- parametry: vzorkovací frekvence, velikost a počet vzorků digitalizace (11/22/44/48/96/192 kHz, 8/16/24 bitů a mono/stereo), syntezátory, velikost paměti pro vzorky zvuků aj.

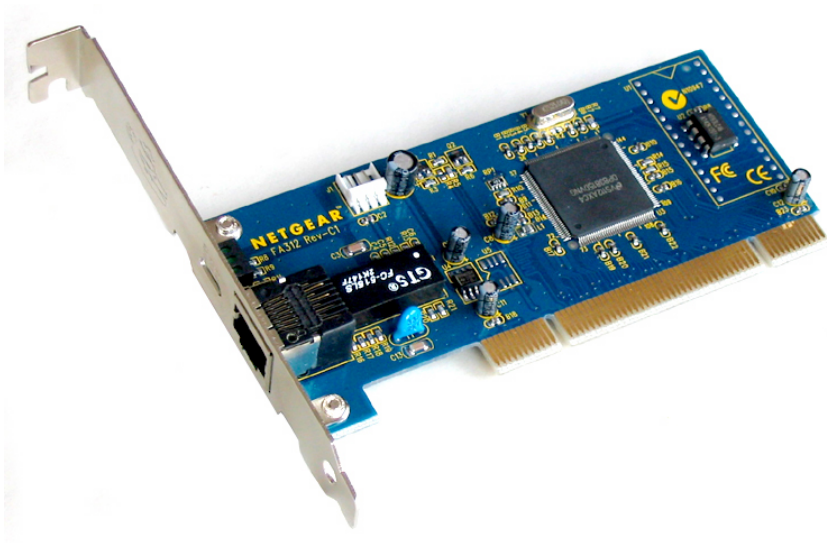
MIDI (Musical Instrument Digital Interface)

= standard pro (digitální) elektronické hudební nástroje, včetně počítače – zvuková karta

- ne zvukový signál, ale info o druhu nástroje, výšce, délce, intenzitě, tempu tónů apod.
- nástroj vytváří zvukový signál (tóny nástroje):
 - **FM syntéza** – emulace frekvenční modulací a efekty, čip OPL 2/3/4
 - **wave table syntéza** – úprava digitalizovaných vzorků tónů skutečných nástrojů uložených v paměti (ROM)

- ~ network interface controller (NIC), network/LAN adapter
- = zařízení pro připojení počítače do (lokální) **počítačové sítě**
 - rozšiřující sběrnice dnes PCI Express, PCI, dříve (E)ISA
 - integrovaná v chipsetu, externí (USB, Thunderbolt)
 - součásti (čipy na kartě): komunikační čip/procesor, Boot ROM = paměť (EEPROM) s programem pro zavedení operačního systému ze sítě
 - konektory (ven): různé pro různá přenosová média (kabely nebo rádiové vlny skrze antény) pro různé síťové technologie (**Ethernet, Wi-Fi, optické** aj.), např. RJ-45, RF anténní (SMA, N, TNC), optické (LC, SC, FC, skrze SFP moduly) aj.
 - parametry: typ a rychlost sítě, (konfigurační) parametry sítě – např. fyzická adresa, hardwarová podpora zpracování síťových dat, možnost probuzení počítače ze sítě (wake on LAN), velikost Boot ROM aj.
 - výrobci: Intel, Realtek, Atheros, 3Com, Cisco, Broadcom, D-Link, TP-Link, Linksys aj.

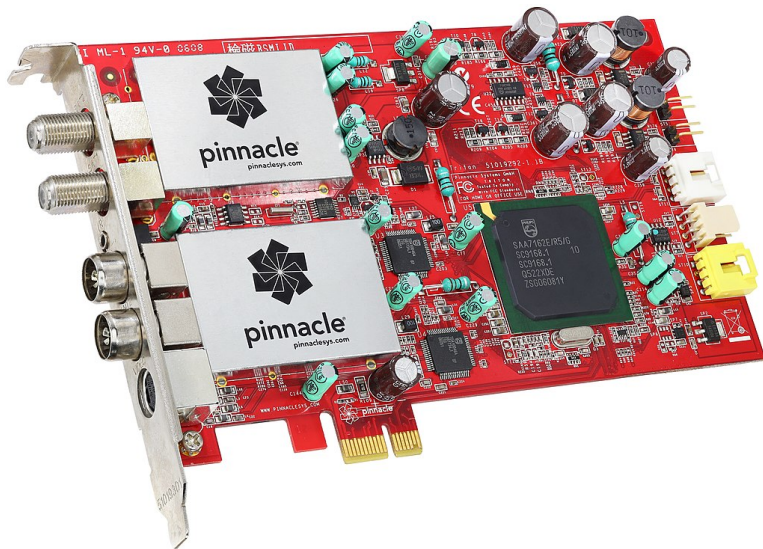
Síťová karta (network card)



Síťová karta, zdroj

Rádiové a televizní karty (radio and TV card)

- = zařízení pro příjem, popř. záznam, rádiového a televizního signálu
 - televizní obsahuje i rádiovou, podpora teletextu, EPG aj. TV služeb
 - rozšiřující sběrnice dnes PCI Express, PCI, dříve (E)ISA, externí (USB)
 - součásti (čipy na kartě): **tunery/dekodéry** signálů, **enkodér** pro záznam, dříve AD převodník (u analogových pro digitalizaci analogového signálu)
 - konektory (ven): pro antény (koaxiální), S-Video, kompozitní audio/video, komponentní video, HDMI, dálkové ovládání aj.
 - konektory (na kartě): vstupy pro zvuk, pro propojení s grafickou kartou (dříve, dnes pomocí sběrnice)
 - parametry: typ – analogové (FM rádio), **digitální** (pozemní, kabelové, satelitní TV, DAB rádio), analogové TV normy (PAL, SECAM), digitální multiplexy, aj.
 - výrobci: AverMedia, Leadtek, Pinnacle, Hauppauge aj.



Televizní karta, zdroj

- multimediální karty pro **zpracování videa** v reálném čase: stříhové, enkódovací apod.
- **řadiče diskových zařízení a polí (RAID), SSD disky** (v podobě karty)
- **modemové** – pro připojení k počítačové síti skrze telefonní síť, slot AMR/CNR (dříve)
- „sběrnice“ (**adaptéry**) – poskytující další sloty vnitřních (např. PCI, PCI Express), i konektory/porty vnějších (např. USB, FireWire, SATA, sériová, paralelní) sběrnic
- a další
- rozšiřující sběrnice dnes PCI Express, PCI, dříve (E)ISA, externí (USB)

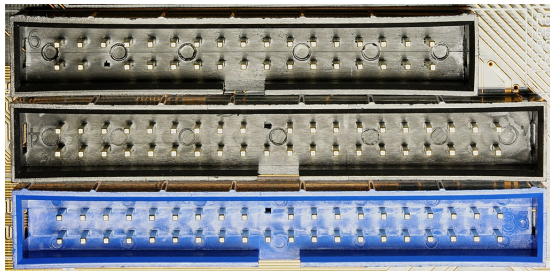


- = rozhraní/sběrnice pro disková paměťová zařízení (vnější paměti): pevné disky (HDD, SSD) a disková pole (RAID), mechaniky pro výměnná disková média (FDD, CD/DVD/BD, paměťové karty) a další
- řízení řadičem na základní desce (v chipsetu) nebo přídavné kartě

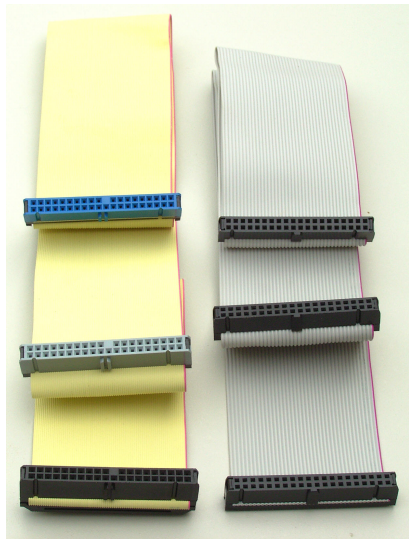
- = rozhraní/sběrnice pro disková paměťová zařízení (vnější paměti): pevné disky (HDD, SSD) a disková pole (RAID), mechaniky pro výměnná disková média (FDD, CD/DVD/BD, paměťové karty) a další
- řízení řadičem na základní desce (v chipsetu) nebo přídatné kartě

IDE (Integrated Drive Electronics) / ATA 1 (Advanced Technology Attachment)

- paralelní 16-bitové, řadič integrován do diskového zařízení – pevného disku
- až 2 disky, jeden v režimu **master** nebo single, druhý v režimu **slave** – nastavení jumperem na disku
- 40-pinový konektor na základní desce (nebo přídatné kartě), 40-žilový kabel pro až 2 disky
- přenosové rychlosti jednotky MB/s (režimy PIO, (M)DMA), max. kapacita disku 2 GB (8 GB) / 128 GB (512B sektory na disku, viz dále)
- dnes již nepoužívané



IDE/PATA konektor (dva spodní) a konektor pro disketu (FDD, horní), zdroj



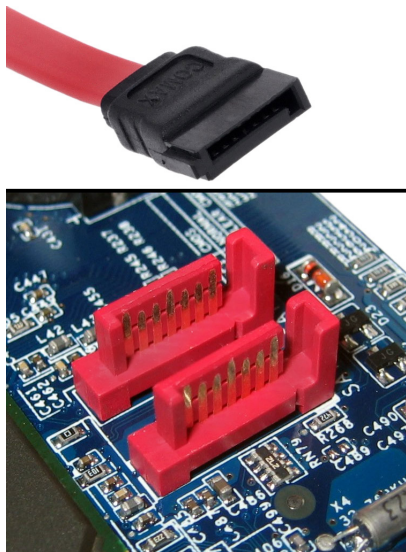
IDE/PATA kabel, 80-žilový (vlevo) a 40-žilový (vpravo), zdroj

EIDE (Enhanced IDE) / (Fast, Ultra) ATA 2–7

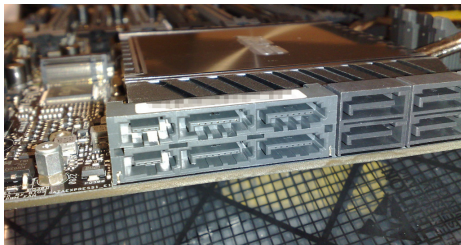
- až 2 rozhraní IDE = až 4 zařízení (nejen pevné disky) – autodetekce (**cable select**), řadič na základní desce nebo přídatná karta
- **SMART** (Self Monitoring Analysis and Reporting Technology) – monitorování chyb čtení/zápisu, teploty aj., od ATA 3
- **ATA/ATAPI 4** (ATA Packet Interface) (ATA 33) – pro mechaniky pro výměnná disková média (např. CD/DVD/BD, ZIP), příkazy SCSI (viz dále) přes ATA
- 80-žilový kabel (od ATAPI 5, stínění, CRC), také 44-pinové a 50-pinové (slimline) konektory a kabely pro menší disky a mechaniky (od ATA 3)
- přenosové rychlosti až 133 MB/s (režimy PIO, MDMA, **Ultra DMA**), max. kapacita zařízení 128 PB (od ATAPI 6)
- dnes označováno **PATA (Parallel ATA)**

SATA (Serial ATA)

- sériové (jednotky GHz), režimy řadiče IDE/PATA, RAID (viz dále), **AHCI** (Advanced Host Controller Interface), **NVMe** (Non-Volatile Memory Express) – připojení paměti Flash (SSD disky) přes sběrnici PCI Express (od SATA 3.2)
- **NCQ** (Native Command Queuing) – optimalizace pořadí operací čtení/zápisu (od SATA 2, AHCI), **TRIM** – vymazání nepoužitých bloků SSD disku (od SATA 3.1)
- 7-pinový konektor na základní desce (nebo přídatné kartě), 7-žilový kabel pro každé zařízení, také mini (slimline), micro a LIF konektory pro menší zařízení, připojení/odpojení zařízení za chodu (hot plug/swap, AHCI)
- sloty Mini SATA (mSATA) a SATA M.2 (dříve NGFF) pro SSD disky a další (síťová) zařízení v podobě karet (PCI Express Mini Card u mSATA, u M.2 dvě verze B a M, od SATA 3.1/2)
- **SATA Express (SATAe)** = kombinace SATA a PCI Express (NVMe), pro SSD disky, NVMe), vlastní konektor a kabel
- přenosové rychlosti stovky MB/s až jednotky GB/s
- vnější **eSATA** a eSATAp (Power eSATA/USB)



SATA konektor a kabel (data), zdroj



SATA Express (SATAe) konektor (dva světle šedé), zdroj

SCSI (Small Computer System Interface)

- více mimo PC – např. servery (disková pole RAID), pracovní stanice, Apple (dříve)
- pro pevné disky i mechaniky pro výměnná disková média, pro PC řadič přídatná karta
- **příkazy** pro detekci a opravu chyb (~ SMART u P/SATA), optimalizaci pořadí operací (~ NCQ), rezervaci bloků (~ TRIM) aj.
- starší paralelní: 8/16-bitové, až 8/16 zařízení (SCSI-1,2/3)
 - přenosové rychlosti až 640 MB/s (**Fast/Wide/Ultra SCSI**)
 - 50/68-pinové (Centronics) a 40/80-pinové (SCA) konektory (SPI), SCA i hot swap
 - vnější: i pro tiskárny, skenery apod.
- novější sériové: SSA (servery, dříve), **SAS (Serial Attached SCSI)**:
 - konektory a kabely SFF 14-pinový modifikovaný SATA, mini (mSAS, HD) aj., i vnější, hot swap, expander pro desítky zařízení
 - další SCSI Express přes PCI-E, FCP přes Fibre Channel, UAS přes USB aj. (ATAPI)
- **iSCSI** – síťový protokol (nad TCP/IP, typicky Ethernet)

SCSI (Small Computer System Interface)

- více mimo PC – např. servery (disková pole RAID), pracovní stanice, Apple (dříve)
- pro pevné disky i mechaniky pro výměnná disková média, pro PC řadič přídatná karta
- **příkazy** pro detekci a opravu chyb (~ SMART u P/SATA), optimalizaci pořadí operací (~ NCQ), rezervaci bloků (~ TRIM) aj.
- starší paralelní: 8/16-bitové, až 8/16 zařízení (SCSI-1,2/3)
 - přenosové rychlosti až 640 MB/s (**Fast/Wide/Ultra SCSI**)
 - 50/68-pinové (Centronics) a 40/80-pinové (SCA) konektory (SPI), SCA i hot swap
 - vnější: i pro tiskárny, skenery apod.
- novější sériové: SSA (servery, dříve), **SAS (Serial Attached SCSI)**:
 - konektory a kabely SFF 14-pinový modifikovaný SATA, mini (mSAS, HD) aj., i vnější, hot swap, expander pro desítky zařízení
 - další SCSI Express přes PCI-E, FCP přes Fibre Channel, UAS přes USB aj. (ATAPI)
- **iSCSI** – síťový protokol (nad TCP/IP, typicky Ethernet)

Další (vnější):

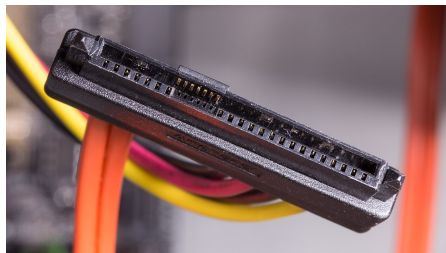
- **Fibre Channel** – optická počítačová síť, jednotky GB/s
- USB, FireWire (IEEE 1394), Thunderbolt – viz dále, typicky redukce



SCSI řadič a kabel (paralelní), zdroj



SAS konektor (SFF-8484), zdroj



SAS konektor (SFF-8482, SATA kompatibilita), zdroj

Pevný disk (hard disk drive, HDD)



= vnější paměťové zařízení pro dlouhodobé ukládání dat

- **magnetický způsob zápisu/čtení dat:** zmagnetování místa povrchové vrstvy plotny disku hlavou = **impuls** / indukce el. proudu v hlavě nad místem
- součásti:
 - soustředěné kruhové **plotny** (kotouče) nad sebou – jednotky, rotují stejnou rychlostí (5,4, 7,2, 10, 15 tis. otáček/min), velikosti 3,5", 2,5" nebo 1,8" (pro přenosné počítače)
 - čtecí/záznamové **hlavy** – 2× počet ploten, vystavované nad povrchy ploten od středu po kraj (vzdálenost v jednotkách μm , aerodynamický vztlak – „parkování“)
 - paměť cache (dnes až stovky MB), ovládací elektronika
- všechna rozhraní/sběrnice pro disková zařízení (IDE/PATA, SATA, SCSI), externí box USB, síťové NAS
- výrobci: Western Digital, Seagate, Toshiba, dříve IBM, Hitachi, Maxtor, Fujitsu aj.

= vnější paměťové zařízení pro dlouhodobé ukládání dat

- **magnetický způsob zápisu/čtení dat:** zmagnetování místa povrchové vrstvy plotny disku hlavou = **impuls** / indukce el. proudu v hlavě nad místem
- součásti:
 - soustředěné kruhové **plotny** (kotouče) nad sebou – jednotky, rotují stejnou rychlostí (5,4, 7,2, 10, 15 tis. otáček/min), velikosti 3,5", 2,5" nebo 1,8" (pro přenosné počítače)
 - čtecí/záznamové **hlavy** – 2× počet ploten, vystavované nad povrchy ploten od středu po kraj (vzdálenost v jednotkách μm , aerodynamický vztlak – „parkování“)
 - paměť cache (dnes až stovky MB), ovládací elektronika
- všechna rozhraní/sběrnice pro disková zařízení (IDE/PATA, SATA, SCSI), externí box USB, síťové NAS
- výrobci: Western Digital, Seagate, Toshiba, dříve IBM, Hitachi, Maxtor, Fujitsu aj.
- fyzická **geometrie:**
 - **stopy** = soustředné kružnice na povrchu plotny, na plotnách nad sebou = **cylindr**
 - **sektory** = části stopy, konstantní datová velikost typicky 512 B (dříve) nebo 4 kB = jednotka uložení (bloku) dat, vytvořené nízkourovňovým formátováním disku (při výrobě)
 - adresace sektorů fyzická (dříve, CHS) nebo logická (LBA, lineární) – překlad diskem

Pevný disk (hard disk drive, HDD)



Pevný disk (HDD, 3,5"), zdroj

Pevný disk (HDD, 3,5"), bez krytu, zdroj

- čtení/zápis:

- 1 vystavení hlav nad stopy / do cylindru – pohyb všech hlav stejný, současné čtení/zápis sektorů všech stop v cylindru
- 2 dotočení ploten pro sektory pod hlavami – sektory logicky za sebou fyzicky každý n -tý (faktor prokládání $1 : n$, vyšší rychlosti rotace ploten než čtení/zápisu)
- 3 vlastní čtení/zápis

■ čtení/zápis:

- 1 vystavení hlav nad stopy / do cylindru – pohyb všech hlav stejný, současné čtení/zápis sektorů všech stop v cylindru
- 2 dotočení ploten pro sektory pod hlavami – sektory logicky za sebou fyzicky každý n -tý (faktor prokládání $1 : n$, vyšší rychlosti rotace ploten než čtení/zápisu)
- 3 vlastní čtení/zápis

Parametry:

- kapacita – až desítky TB, dána hustotou záznamu a **kódováním (binárních) dat**:
 - ne impuls (I) = bit **I** – delší posloupnost **0** → desynchronizace čtení/zápisu a rotace (kolik **0**??)
 - krátká místa bez impulsů (N) vs. málo impulsů – maximalizace využití kapacity
 - **modulace** bitů do impulsů: varianty RLL (Run-length limited) kódování, např. (2,7) RLL (2–4 bity do $2 \times$ impulsů, 2–7 N za sebou, starší disky)
- přenosová rychlost – do stovek MB/s
- přístupová doba – jednotky ms (po roztočení ploten), doba vystavení hlav (seek time) + doba dotočení ploten (rotary latency period)



- = **soustava pevných disků** (jako jeden) pro **redundantní ukládání dat** za účelem zvýšení spolehlivosti jejich uložení (zabezpečení proti chybám disků) nebo výkonu práce s nimi – nenahrazuje zálohu dat!
- ~ **RAID (Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks)** – řadič pole: hardwarový přídatná karta nebo integrovaný na základní desce (v chipsetu), softwarový v operačním systému – i nestandardní



- = **soustava pevných disků** (jako jeden) pro **redundantní ukládání dat** za účelem zvýšení spolehlivosti jejich uložení (zabezpečení proti chybám disků) nebo výkonu práce s nimi – nenahrazuje zálohu dat!
- ~ **RAID (Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks)** – řadič pole: hardwarový přídatná karta nebo integrovaný na základní desce (v chipsetu), softwarový v operačním systému – i nestandardní
- **RAID 0**: zřetězení min. 2 disků do jednoho celku (**JBOD**) nebo bloky dat prokládané na disky (**stripping**) – zvýšení výkonu čtením/zápisem z/na více disků současně (o cca 50 %), ale ne spolehlivosti, kapacita součet (JBOD) nebo n -krát nejmenšího

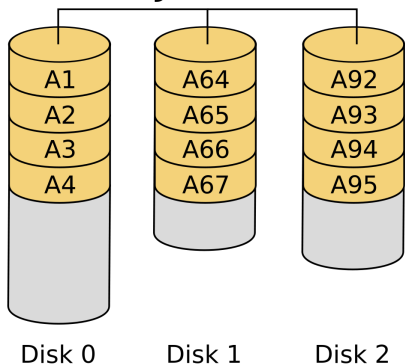
- = **soustava pevných disků** (jako jeden) pro **redundantní ukládání dat** za účelem zvýšení spolehlivosti jejich uložení (zabezpečení proti chybám disků) nebo výkonu práce s nimi – nenahrazuje zálohu dat!
- ~ **RAID (Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks)** – řadič pole: hardwarový přídatná karta nebo integrovaný na základní desce (v chipsetu), softwarový v operačním systému – i nestandardní
 - **RAID 0:** zřetězení min. 2 disků do jednoho celku (**JBOD**) nebo bloky dat prokládané na disky (**stripping**) – zvýšení výkonu čtením/zápisem z/na více disků současně (o cca 50 %), ale ne spolehlivosti, kapacita součet (JBOD) nebo n -krát nejmenšího
 - **RAID 1 (zrcadlení):** kopie dat na min. 2 disky – zvýšení spolehlivosti i výkonu čtením z více disků současně, pomalejší zápis (na více disků), kapacita nejmenšího, víceúrovňové (nested) varianty $0+1$, **$1+0$** , $1+0+0$ \Rightarrow výhody obou

- = **soustava pevných disků** (jako jeden) pro **redundantní ukládání dat** za účelem zvýšení spolehlivosti jejich uložení (zabezpečení proti chybám disků) nebo výkonu práce s nimi – nenahrazuje zálohu dat!
- ~ **RAID (Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks)** – řadič pole: hardwarový přídatná karta nebo integrovaný na základní desce (v chipsetu), softwarový v operačním systému – i nestandardní
 - **RAID 0:** zřetězení min. 2 disků do jednoho celku (**JBOD**) nebo bloky dat prokládaně na disky (**stripping**) – zvýšení výkonu čtením/zápisem z/na více disků současně (o cca 50 %), ale ne spolehlivosti, kapacita součet (JBOD) nebo n -krát nejmenšího
 - **RAID 1 (zrcadlení):** kopie dat na min. 2 disky – zvýšení spolehlivosti i výkonu čtením z více disků současně, pomalejší zápis (na více disků), kapacita nejmenšího, víceúrovňové (nested) varianty 0+1, **1+0**, 1+0+0 \Rightarrow výhody obou
 - **RAID 3:** min. 3 disky, bytové prokládání s **paritou (XOR)** na samostatném disku, chyba lib. jednoho disku opravena z ostatních a paritního, zvýšení i výkonu čtení, pomalejší zápis, paritní disk úzké místo (nejvyužívanější), varianty 0+3, 3+0

Diskové pole (disk array)

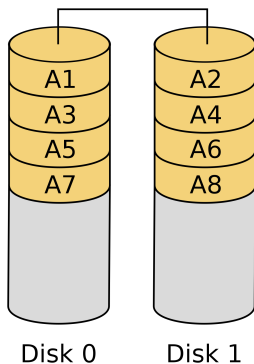


JBOD



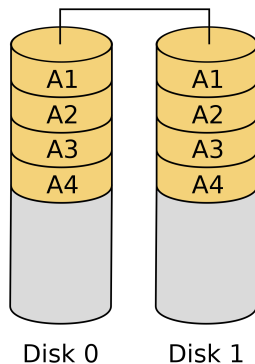
JBOD, zdroj

RAID 0



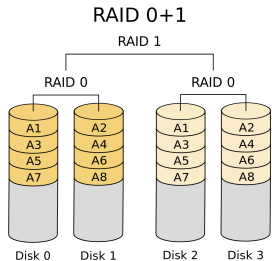
RAID 0, zdroj

RAID 1

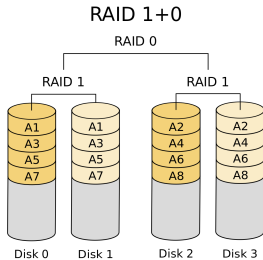


RAID 1, zdroj

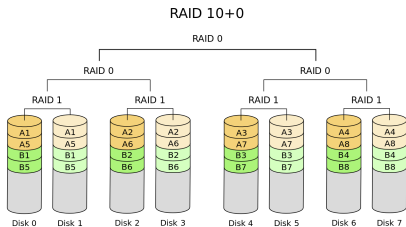
Diskové pole (disk array)



RAID 0+1, zdroj



RAID 1+0, zdroj



RAID 1+0+0, zdroj



- **RAID 2:** jako RAID 3, bitové prokládání s Hammingovým samoopravným kódem na více dalších discích, výpočetně náročný



- **RAID 2:** jako RAID 3, bitové prokládání s Hammingovým samoopravným kódem na více dalších discích, výpočetně náročný
- **RAID 4:** jako RAID 3, ale blokové prokládání, parita po blocích



- **RAID 2:** jako RAID 3, bitové prokládání s Hammingovým samoopravným kódem na více dalších discích, výpočetně náročný
- **RAID 4:** jako RAID 3, ale blokové prokládání, parita po blocích
- **RAID 5:** jako RAID 4, ale paritna střídavě na všech discích, chyba lib. jednoho disku opravena z ostatních, kapacita $(n - 1)$ -krát nejmenšího, varianty 5+0, 5+1, 5+3



- **RAID 2:** jako RAID 3, bitové prokládání s Hammingovým samoopravným kódem na více dalších discích, výpočetně náročný
- **RAID 4:** jako RAID 3, ale blokové prokládání, parita po blocích
- **RAID 5:** jako RAID 4, ale parita střídavě na všech discích, chyba lib. jednoho disku opravena z ostatních, kapacita $(n - 1)$ -krát nejmenšího, varianty 5+0, 5+1, 5+3
- **RAID 6:** min. 4 disky, jako RAID 5, ale dvě různé parity (XOR a XOR z rotovaných bloků), opravení chyby až dvou lib. disků, pomalejší zápis, kapacita $(n - 2)$ -krát nejmenšího, varianta 6+0

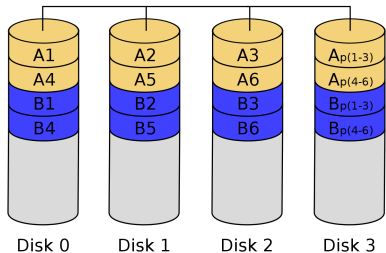


- **RAID 2:** jako RAID 3, bitové prokládání s Hammingovým samoopravným kódem na více dalších discích, výpočetně náročný
- **RAID 4:** jako RAID 3, ale blokové prokládání, parita po blocích
- **RAID 5:** jako RAID 4, ale paritna střídavě na všech discích, chyba lib. jednoho disku opravena z ostatních, kapacita $(n - 1)$ -krát nejmenšího, varianty 5+0, 5+1, 5+3
- **RAID 6:** min. 4 disky, jako RAID 5, ale dvě různé parity (XOR a XOR z rotovaných bloků), opravení chyby až dvou lib. disků, pomalejší zápis, kapacita $(n - 2)$ -krát nejmenšího, varianta 6+0
- další (RAID 7 aj.) nestandardní, vlastní rozhraní/sběrnice a řadiče, cache, opravení chyb i více disků apod.

Diskové pole (disk array)

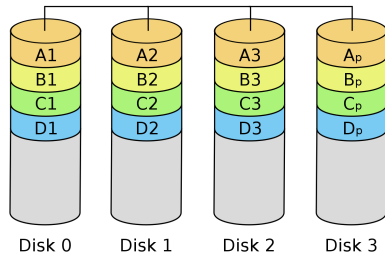


RAID 3



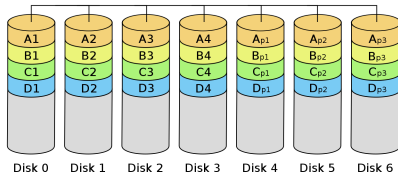
RAID 3, zdroj

RAID 4



RAID 4, zdroj

RAID 2

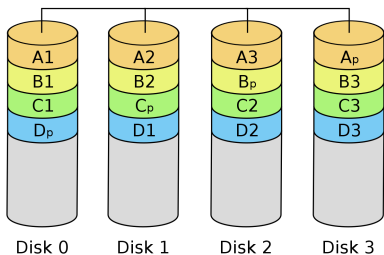


RAID 2, zdroj

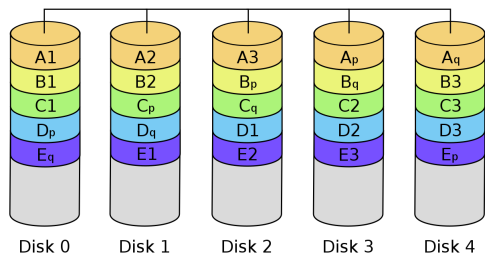
Diskové pole (disk array)



RAID 5



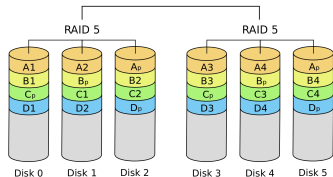
RAID 6



RAID 5, zdroj

RAID 5+0

RAID 0

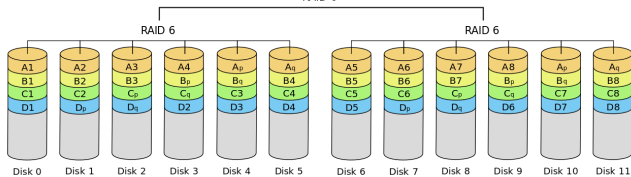


RAID 5+0, zdroj

RAID 6, zdroj

RAID 6+0

RAID 0



RAID 6+0, zdroj

Disketa (floppy disk) + mechanika (drive, FDD)

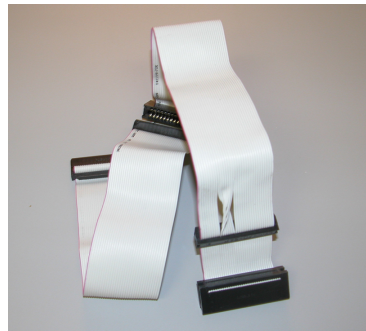
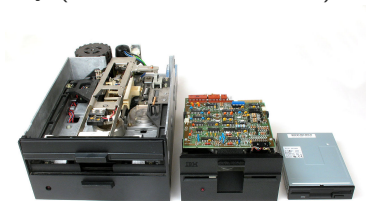


- = výměnné diskové médium a mechanika pro dlouhodobé ukládání dat
 - magnetický způsob zápisu/čtení dat podobně jako u pevného disku (HDD)
- = rotující **plastový kotouč** v plastovém obale – velikosti 14" (první), 8" (dříve), 5,25" (dříve), **3,5"**
 - mechanika: čtecí/zapisovací hlavy (2) + elektronika, mechanicky ovládané vysouvání
 - **vlastní rozhraní/sběrnice**: řadič na základní desce nebo přídatná karta, konektor a kabel, dnes i HW emulace (USB)
 - kapacita: stovky kB, např. 1,2 MB (5,25"), **1,44 MB** (3,5" HD)
 - přenosová rychlost desítky kB/s
 - dnes používané výjimečně, ikona pro uložení

Disketa (floppy disk) + mechanika (drive, FDD)



Diskety (FDD, 8", 5,25", 3,5"), zdroj



FDD kabel, zdroj

Disketové mechaniky (FDD, 8", 5,25", 3,5"), zdroj



= výměnné diskové médium a mechanika pro dlouhodobé ukládání dat

- podobné 3,5" disketě (tlustší obal), 1994, Iomega
- mechanika: rozhraní/sběrnice PATA (ATAPI), SCSI, externí paralelní port, USB, elektronicky ovládané vysouvání
- kapacity: 100, 250 a 750 MB
- přenosová rychlost 1 MB/s
- dnes již nepoužívané

= výměnné diskové médium a mechanika pro dlouhodobé ukládání dat

- podobné 3,5" disketě (tlustší obal), 1994, Iomega
- mechanika: rozhraní/sběrnice PATA (ATAPI), SCSI, externí paralelní port, USB, elektronicky ovládané vysouvání
- kapacity: 100, 250 a 750 MB
- přenosová rychlost 1 MB/s
- dnes již nepoužívané

Další: **LS-120** (kompatibilní s disketou, 120/240 MB, pomalé), **magnetické pásky (kazety)** – pro zálohovací jednotky, až desítky TB, sekvenční přístup, aj.



ZIP disk, [zdroj](#)



ZIP mechanika (interní), [zdroj](#)



ZIP mechanika (externí), [zdroj](#)

- = výměnné diskové médium a mechanika pro dlouhodobé ukládání dat
 - **optický způsob zápisu/čtení dat**: vytvoření prohlubní = **pitů** v záznamové vrstvě disku lisováním nebo vypálením laserem / snímání laseru různě (pit, bez pitu) odraženého od odrazové vrstvy disku
- = v mechanice rotující **polykarbonátový kotouč** (záznamová vrstva, odrazová kov) – 1 nebo více vrstev pro záznam (oboustranné a vícevrstvé disky), velikosti **12 a 8 cm** (Mini), tloušťka 1,2 mm
 - rotace s konstantní obvodovou rychlostí (CLV, CD/DVD, 200 až 8400 otáček/min) nebo konstantní úhlovou rychlostí (CAV, DVD/BD, 800 až 14 tisíc otáček/min)
 - mechanika: vysílač a snímač laseru (plus čočky a optický hranol) + elektronika, elektronicky ovládané vysouvání (nouzově mechanicky)
 - rozhraní/sběrnice PATA (ATAPI), SATA, SCSI, externí USB
 - výrobci: Asus, LG, Lite-On, Pioneer, Sony, TEAC, Toshiba aj.

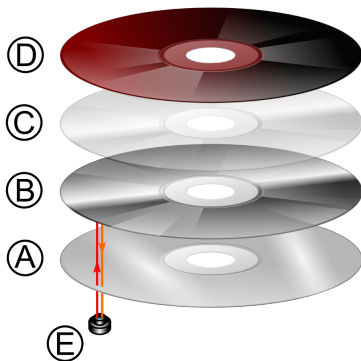
- = výměnné diskové médium a mechanika pro dlouhodobé ukládání dat
 - **optický způsob zápisu/čtení dat**: vytvoření prohlubní = **pitů** v záznamové vrstvě disku lisováním nebo vypálením laserem / snímání laseru různě (pit, bez pitu) odraženého od odrazové vrstvy disku
- = v mechanice rotující **polykarbonátový kotouč** (záznamová vrstva, odrazová kov) – 1 nebo více vrstev pro záznam (oboustranné a vícevrstvé disky), velikosti **12 a 8 cm** (Mini), tloušťka 1,2 mm
 - rotace s konstantní obvodovou rychlostí (CLV, CD/DVD, 200 až 8400 otáček/min) nebo konstantní úhlovou rychlostí (CAV, DVD/BD, 800 až 14 tisíc otáček/min)
 - mechanika: vysílač a snímač laseru (plus čočky a optický hranol) + elektronika, elektronicky ovládané vysouvání (nouzově mechanicky)
 - rozhraní/sběrnice PATA (ATAPI), SATA, SCSI, externí USB
 - výrobci: Asus, LG, Lite-On, Pioneer, Sony, TEAC, Toshiba aj.
 - geometrie:
 - stopy = navazující spirály od vnitřního okraje kotouče k vnějšímu
 - sektory (tzv. velké rámce) = části stopy, konstantní datová velikost typicky 2048 B (CD/DVD) = jednotka uložení dat, rozděleny na tzv. malé rámce



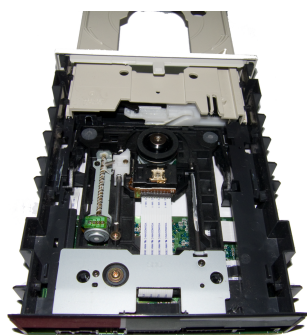
Optický disk (CD, spodní strana), zdroj



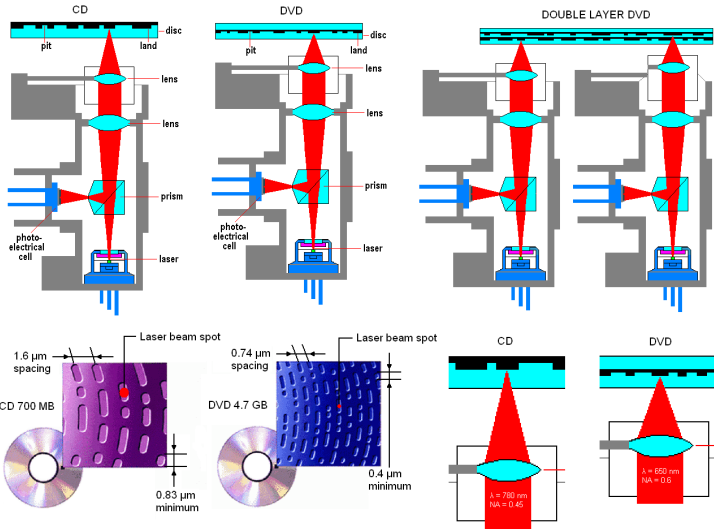
Optická mechanika (DVD), zdroj



Vrstvy CD, zdroj



CD mechanika, zdroj



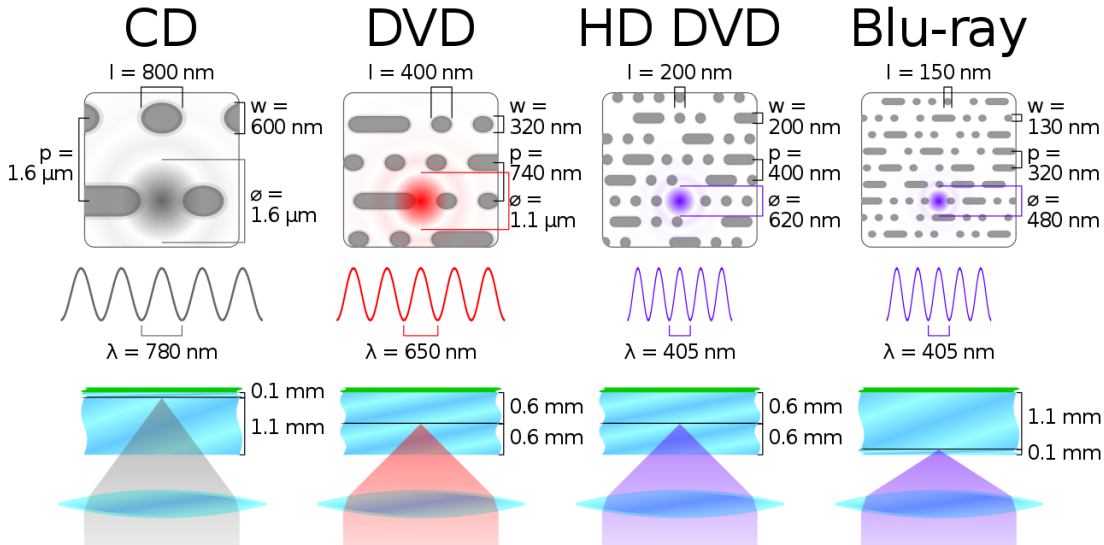
Čtení/zápis CD a DVD, zdroj



- čtení přímo, zápis přímo i postupně (tzv. multisession)
- **kódování (binárních) dat**: střídání pitů a míst bez pitu = log. **I**, nestřídání = log. **0**, 1 B dat do 14 bitů včetně samoopravných kódů (Reed-Solomonovy)
- přístupová doba cca 100 ms (po roztočení disku)

- 1979, Sony, Philips, 1. generace optických disků
- rozestup stop 1,6 μm , laser o vlnové délce 780 nm
- kapacity: 184–210 MB = 21-24 min. (Mini), 550 MB = 63 min. (starší), **656 MB = 74 min. zvuku, 702 MB = 80 min. aj.**
- přenosová rychlost: 1 – 52× 150 kB/s (pro Audio CD), uváděná pro zápis/přepis/čtení
- formáty (standardy **barevné knihy**):
 - **Audio CD** (červená) – zvuk v CD kvalitě (CDDA), typicky hudba
 - **CD-ROM** (žlutá) – po zápisu lisováním pouze pro čtení
 - **CD-R** (Recordable, oranžová) – po zápisu vypálením pouze pro čtení, **CD-RW** (ReWriteable) – přepisovatelné jako celek nebo tzv. paketový zápis (stovky přepisů)
 - **Video CD** (VCD, bílá) – video ve formátu MPEG-1 (rozlišení 352 × 288, zvuk MP2)
 - další: Super Audio CD (šarlatová), Super Video CD, PhotoCD (béžová), CD-i (Interactive, zelená), CD+ (Enhanced, modrá) aj.

CD (Compact Disc)



Záznam CD/DVD/Blue-ray, zdroj

- 1996/7, + Panasonic, Toshiba → DVD Forum (DVD-*), DVD+RW Alliance (DVD+*) – R(W) do určité míry kompatibilní, nástupce CD, 2. generace
- rozestup stop 0,74 μm , laser o vlnové délce 650 nm
- média:
 - **DVD-ROM/DVD-X** po zápisu lisováním pouze pro čtení, **DVD \pm R** po zápisu vypálením pouze pro čtení, **DVD \pm RW** přepisovatelné jako celek/paketově, **DVD-RAM** přímý zápis (tisíce přepisů)
 - jednostranné (SS) a **oboustranné** (DS, ne DVD \pm R(W)), jednovrstvé (SL) a **dvouvrstvé** (DL, ne DVD-RAM)
- kapacity: 1,46–5,31 GB (Mini, DVD-1–4, DVD-RAM), **4,7/4,38 GB/GiB** (SS SL), **8,54/7,95 GB** (SS DL), 9,4 GB (DS SL), 17 GB (DS DL)
- přenosová rychlost: 1 – 24 \times 1385 kB/s
- typy:
 - **DVD-Video** – video ve formátu MPEG-2 (rozlišení 720 \times 576), zvuk MP3 nebo AC3, 5.1, interaktivita (DVD menu – zvukové stopy, kapitoly, titulky), šifrování CSS a regiony
 - **DVD-Audio** – zvuk v CD a lepší kvalitě (AC3, DTS, 5+.1, až 192 kHz), podobné SACD
 - **DVD-Data** – libovolná data
- mechaniky čtou/zapisují i CD

- 2000, Sony → Blu-ray Disc Association (BDA), nástupce DVD, 3. generace
- rozestup stop $0,32 \mu\text{m}$, laser o vlnové délce 405 nm
- média:
 - **BD-ROM** po zápisu lisováním pouze pro čtení, **BD-R** po zápisu vypálením pouze pro čtení, **BD-RE** prepisovatelné jako celek/paketově
 - jednovrstvé (SL), dvouvrstvé (DL), **BDXL** třívrstvé (XL 3) a čtyřvrstvé (XL 4), IH-BD (vrstvy BD-ROM a BD-RE)
- kapacity: 7,8/15,6 GB (Mini, SL/DL), **25 GB** (SL), **50 GB** (DL), 100 GB (XL 3), 128 GB (XL 4)
- přenosová rychlost: 1 – $16\times$ 4,5 MB/s
- určení:
 - video ve formátu MPEG-2 nebo MPEG-4 AVC (H.264) (rozlišení až $1920 \times 1080 = \text{Full HD}$), zvuk Dolby Digital Plus/TrueHD, DTS-HD, 7.1, interaktivita (BD-J – Java VM, menu, hry), šifrování AACs, BD+ a regiony, Ultra HD Blue-ray pro 4K video (MPEG-4 HEVC/H.265), Blue-ray 3D pro 3D video
 - hry pro platformy Sony PlayStation a MS Xbox
- mechaniky čtou/zapisují i CD/DVD

Další:

- 1. generace:
 - **LaserDisc (LD)** (Philips) – první optický, 1978, 30 cm, analogový záznam 64/36 min. (~ 300 MB), oboustranný, pro filmy, dnes už nepoužívaný
 - **magnetooptické disky (MOD)** – optické čtení ze zmagnetovaného povrchu, např. **MiniDisc (MD)** (Sony) až 1 GB na hudbu
- 2. generace: DualDisc – kombinace CD a DVD (dvě strany), na hudbu, Hi-MD – nástupce MiniDiscu, aj.
- 3. generace: **HD DVD** (Toshiba) – konkurenční pro Blue-ray, 2008 konec, 15–60 GB, oboustranné i dvouvrstvé
- 4. generace: **Archival Disc (AD)** (Sony, Panasonic) – 2016, 300 GB až 1 TB, oboustranné a vícevrstvé
- a jiné

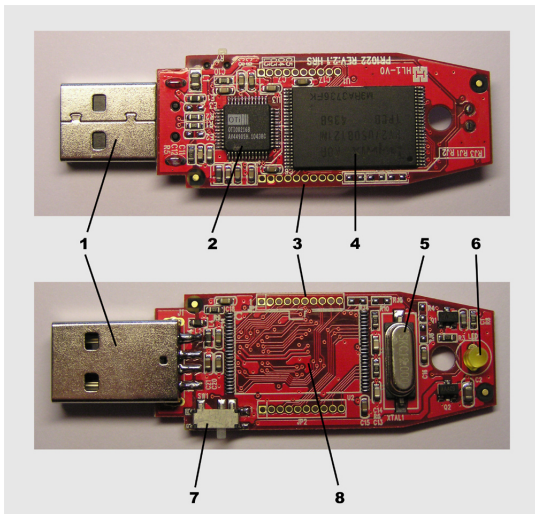
- = výměnné/přenosné (flash, karty) paměťové médium/zařízení (SDD) pro dlouhodobé ukládání dat
- **elektronický způsob zápisu/čtení dat:** nevolatilní přepisovatelná paměť **Flash EEPROM** (NAND skupiny buněk)
 - výrobci: Micron, SK hynix, Kioxia (Toshiba), Samsung

- = výměnné/přenosné (flash, karty) paměťové médium/zařízení (SDD) pro dlouhodobé ukládání dat
- **elektronický způsob zápisu/čtení dat:** nevolatilní přepisovatelná paměť **Flash EEPROM** (NAND skupiny buněk)
 - výrobci: Micron, SK hynix, Kioxia (Toshiba), Samsung

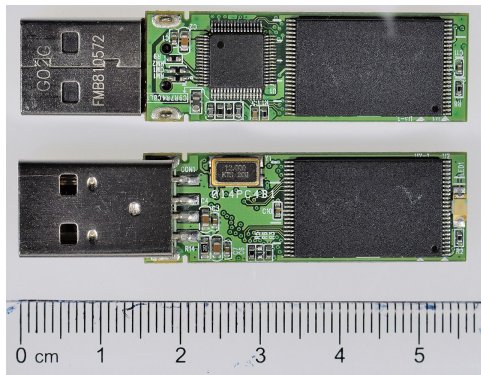
(USB) Flash disk

- 2000, IBM, Trek Technology
- = integrovaný obvod/čip v plastovém, gumovém nebo kovovém obalu
- kapacita až jednotky TB, přenosové rychlosti až stovky MB/s
- vnější rozhraní/sběrnice **USB** (konektor USB-A/C, zařízení mass-storage), viz dále
- výrobci: ADATA, Corsair, Crucial, Kingston, Samsung, SanDisk, Transcend aj.

Flash a SSD disky a paměťové karty



Flash disk (USB 2), zdroj



Flash disk (USB 3), zdroj

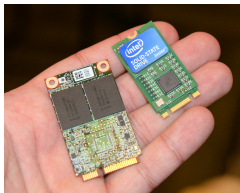
SSD (Solid State Drive) disk

- = integrované obvody/čipy na plošném spoji v plastovém/kovovém obalu – provedení stejné jako u pevných disků (HDD) nebo karta do slotu
- bezhlučnost, nižší spotřeba, ale i výdrž, vyšší rychlost než pevné disky (HDD), ...
 - kapacita až stovky TB (sektory 1/4 kB), přenosové rychlosti stovky MB/s až jednotky GB/s, přístupová doba desítky ns
 - rozhraní/sběrnice pro disková zařízení PATA (ATA Disk Module), (m)SATA, M.2, SATA Express (NVMe), SAS, PCI Express, vnější USB (mass-storage), Thunderbolt aj.
 - **TRIM** (vymazání nepoužitých bloků)
 - výrobci: ADATA, Crucial, Dell, Kingston, OCZ, Samsung, Seagate, Western Digital aj.
 - RAM-drive – s volatílní pamětí SRAM nebo DRAM

Flash a SSD disky a paměťové karty



HDD vs. SSD disk, [zdroj](#)



SSD disk/karta (mSATA, M.2), [zdroj](#)

Paměťové karty

- = integrovaný obvod/čip v plastové destičce
 - kapacity desítky až stovky GB, přenosové rychlosti až stovky MB/s
 - vnější rozhraní/sběrnici USB (mass-storage) – čtečky, vlastní různé sloty
 - druhy: **Secure Digital** (SD, mini, micro, HC, XC), Memory Stick (MS, Duo, Pro, micro, Sony), CompactFlash (CF, I, II, první, SanDisk), CFexpress (CFA/B/C), MultiMedia Card (MMC, micro, SanDisk), xD Picture Card (Olympus), SmartMedia (SM, Toshiba) a další
 - použití i mimo počítače – spotřební elektronika: mobily (i SIM), kamery, fotoaparáty, audio přehrávače apod.



Čtečka paměťových karet (USB), zdroj

Paměťové karty (SD, CF, MMC, xD), zdroj