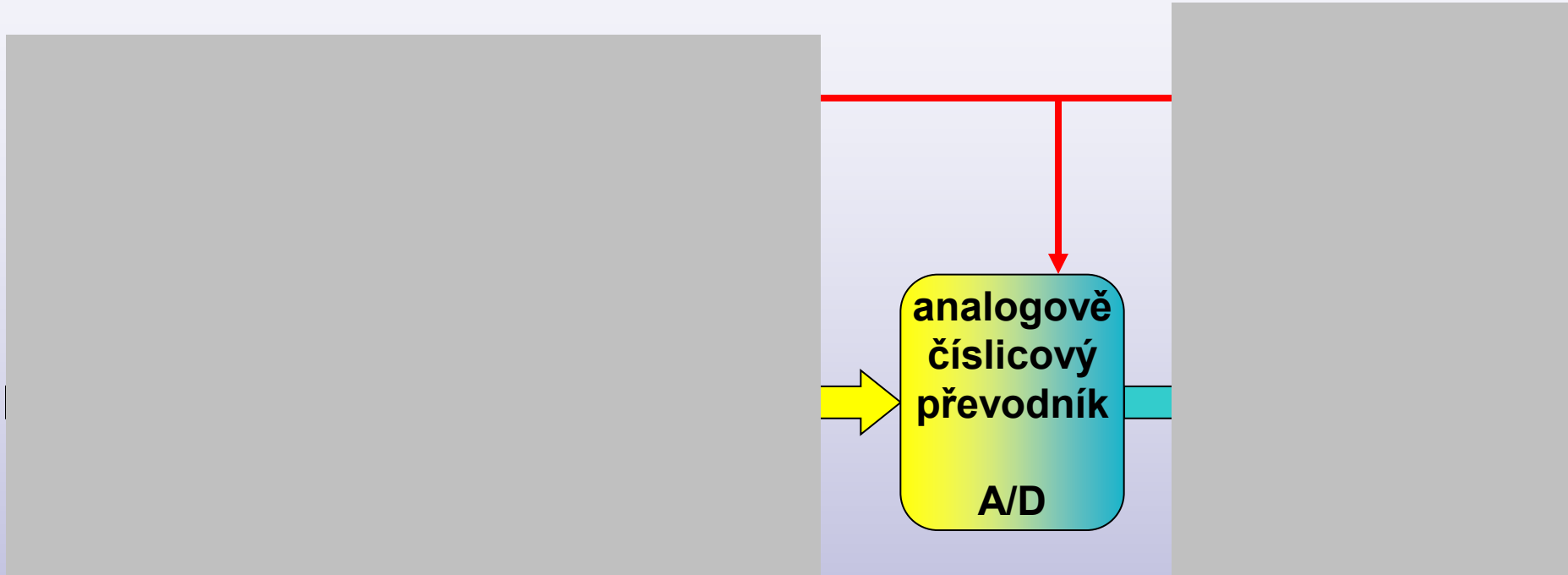


VLASTNOSTI KOMPONENTŮ MĚŘICÍHO ŘETĚZCE - ČÍSLICOVÁ ČÁST



- 6.1. Analogově číslicový převodník
- 6.2. Zobrazovací a záznamové zařízení

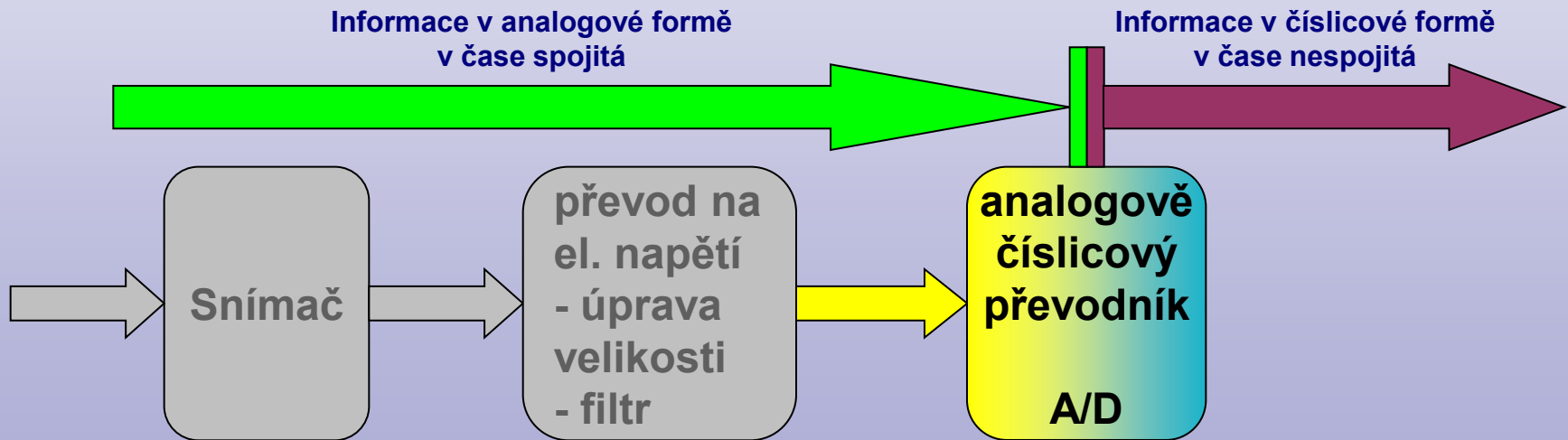
6.1. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK



- 6.1.1. princip analogově číslicového převodníku
- 6.1.2. kvantování
- 6.1.3. vzorkování
- 6.1.4. vícevstupový A/D převodník
- 6.1.5. příklady provedení A/D převodníků

6.1.1. PRINCIP ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÉHO PŘEVODNÍKU

- analogově – číslicový převodník (A/D převodník)
 - převádí spojitou analogovou informaci na nespojitou (diskrétní) číslicovou informaci
- je charakterizován
 - počtem bitů převodníku
 - maximální vzorkovací rychlostí



6.1.1. PRINCIP ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÉHO PŘEVODNÍKU

- číslicová informace = dvojková soustava

desítková soustava = 10 cifer

Počet rozlišitelných úrovní	0
	1
$x = 10^n$	2
	3
kde - 10 je počet cifer	4
(základ číselné soustavy)	5
- n počet řádů	6
	7
hodnota je dána hodnotou cifry násobené	8
základem soustavy umocněné	9
pořadovým číslem pozice.	10
	11
	12
	...
	99
	100
	101
	102
	...
	998
	999
	1000

$$1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0$$

$$1000 + 100 + 20 + 5 = 1125$$

dvojková soustava = 2 cifry

Počet rozlišitelných úrovní	0
	1
$x = 2^n$	10
	11
kde - 2 je počet cifer	100
(základ číselné soustavy)	101
- n počet řádů (bitů)	110
	111
řád se ve dvojkové soustavě označuje jako bit, tj. počet bitů = počet řádů	1000
	1001
	1010
	1011
	1100
	...

řád se ve dvojkové soustavě označuje jako bit, tj. počet bitů = počet řádů

počet bitů		úrovně
8	2^8	= 256
10	2^{10}	= 1024
12	2^{12}	= 4096
16	2^{16}	= 65536
24	2^{24}	= 16777216

Výpočet hodnoty je shodný, jen řád soustavy je 2:

$$100\ 0110\ 0101 =$$

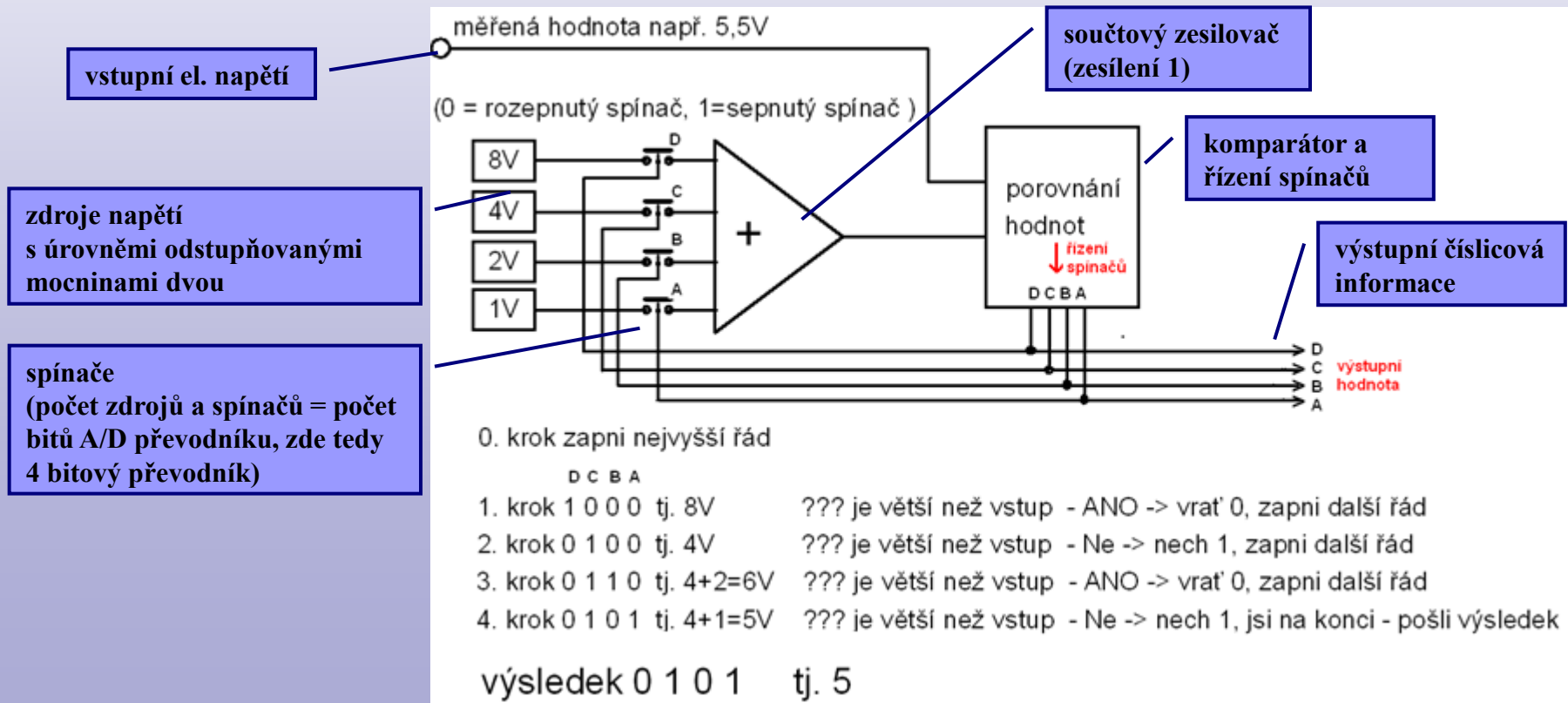
$$1 \cdot 2^{10} + 0 \cdot 2^9 + 0 \cdot 2^8 + 0 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

$$1024 + 64 + 32 + 4 + 1 = 1125$$

6.1.1. PRINCIP ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÉHO PŘEVODNÍKU

- v elektronických obvodech lze jednoduše realizovat
 - zdroj napětí určité úrovně
 - spínač
 - součtový zesilovač
 - komparátor (porovnání dvou napětí)

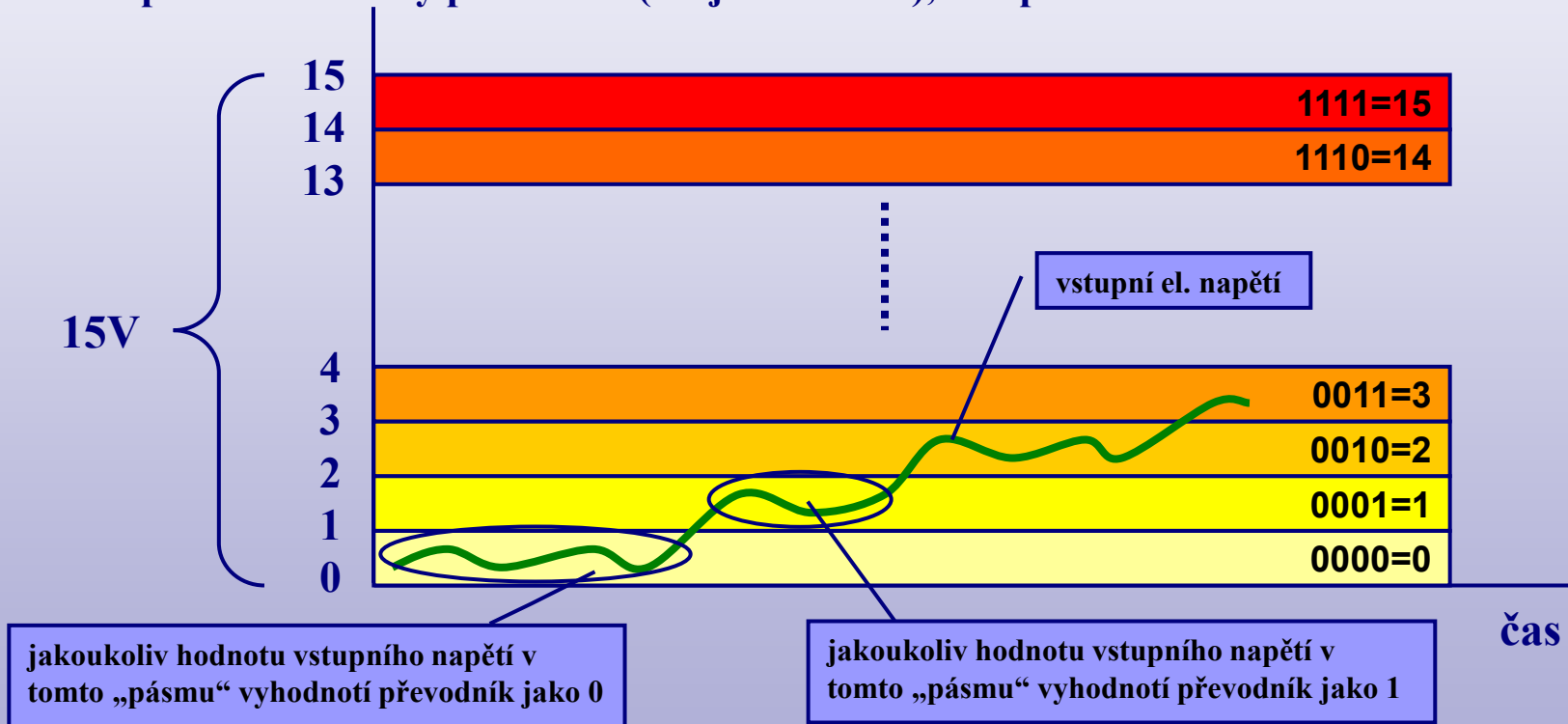
z těchto komponent je složen i AD převodník



6.1.2. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - KVANTOVÁNÍ

- Kvantování je transformace spojité úrovně signálu na diskrétní hodnoty
- **KVANTOVÁNÍM DOCHÁZÍ KE ZTRÁTĚ INFORMACE**

příklad: 4 bitový převodník (2^4 tj. 16 úrovní), vstupní rozsah 15V



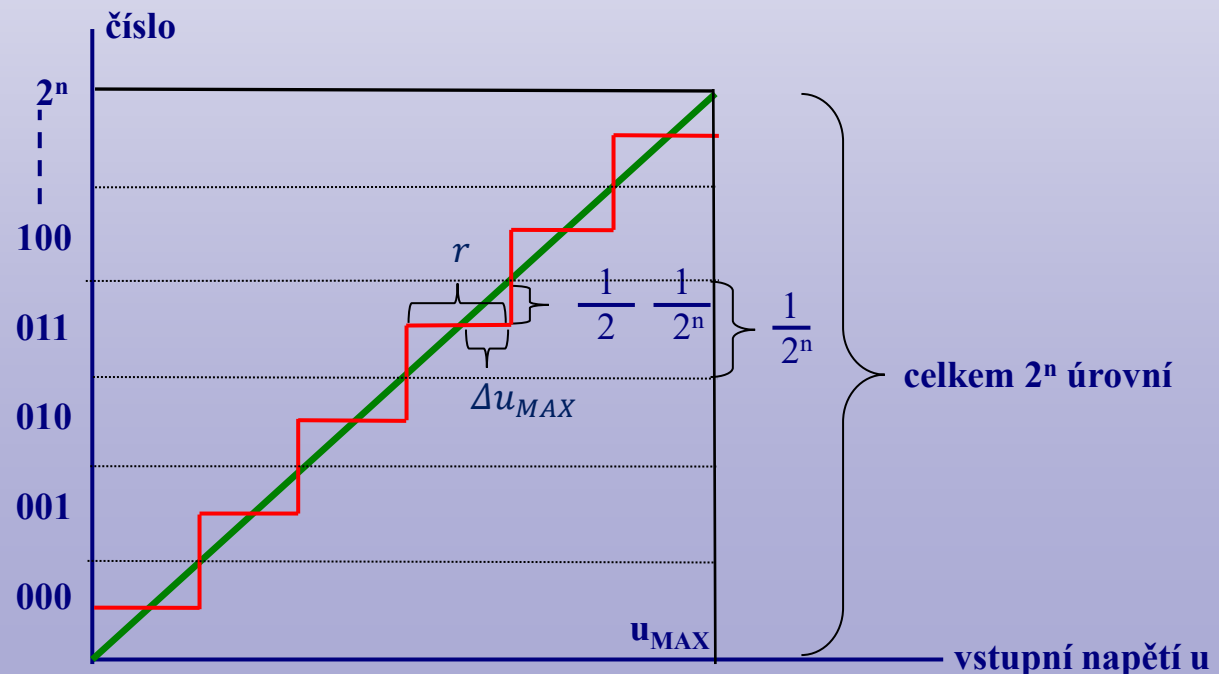
v tomto příkladu nelze rozlišit úroveň menší než 1V

tj. všechny změny analogového signálu menší než 1V jsou AD převodem ztraceny

6.1.2. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - KVANTOVÁNÍ

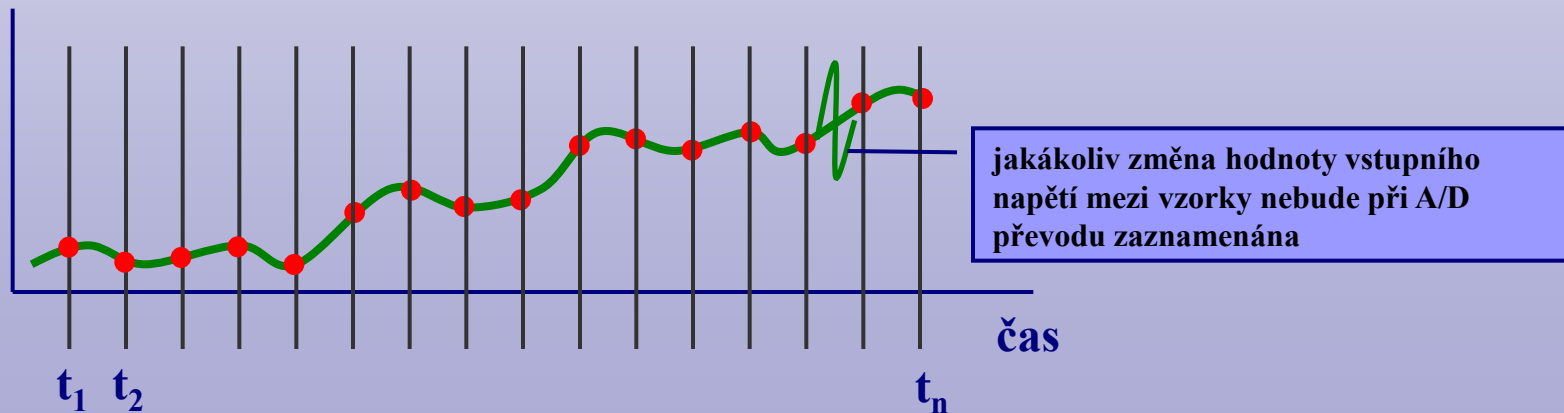
▪ Kvantovací chyba a rozlišitelnost

- má-li převodník n-bitů, má 2^n rozlišovacích úrovní, jedna úroveň je $\frac{1}{2^n}$
- max. chyba převodu: $\Delta u_{MAX} = \frac{1}{2} * \frac{1}{2^n} * u_{MAX}$
- kvantovací chyba: $\sigma_K = \frac{\Delta u_{MAX}}{u_{MAX}} = \frac{1}{2} * \frac{1}{2^n}$
- rozlišitelnost: $r = \frac{1}{2^{n-1}} * u_{MAX} \cong \frac{1}{2^n} * u_{MAX}$



6.1.3. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - VZORKOVÁNÍ

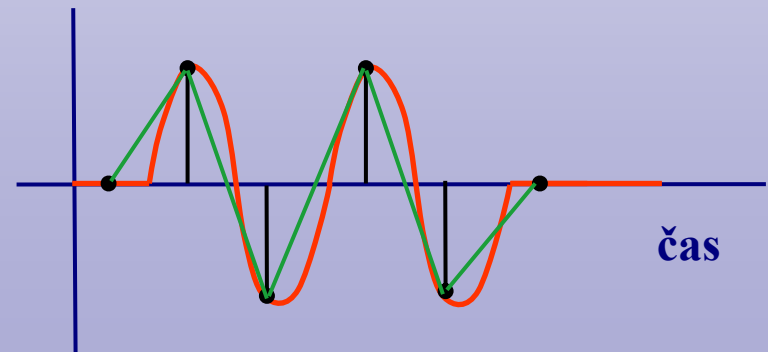
- vzorkování je transformace signálu spojitého v čase na posloupnost vzorků
 - perioda vzorkování T je čas mezi odběry vzorků
 - čas odběru vzorku $t_n = T \cdot n$, kde T je perioda vzorkování a $n = 1, 2, 3, \dots$
 - vzorkovací frekvence f_{vz} je převrácená hodnota periody vzorkování
 - $f_{vz} = \frac{1}{T}$ [Hz, s]
 - **VZORKOVÁNÍM DOCHÁZÍ KE ZTRÁTĚ INFORMACE**
 - jakákoliv změna analogového signálu mezi dvěma vzorky je AD převodem ztracena



6.1.3. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - VZORKOVÁNÍ

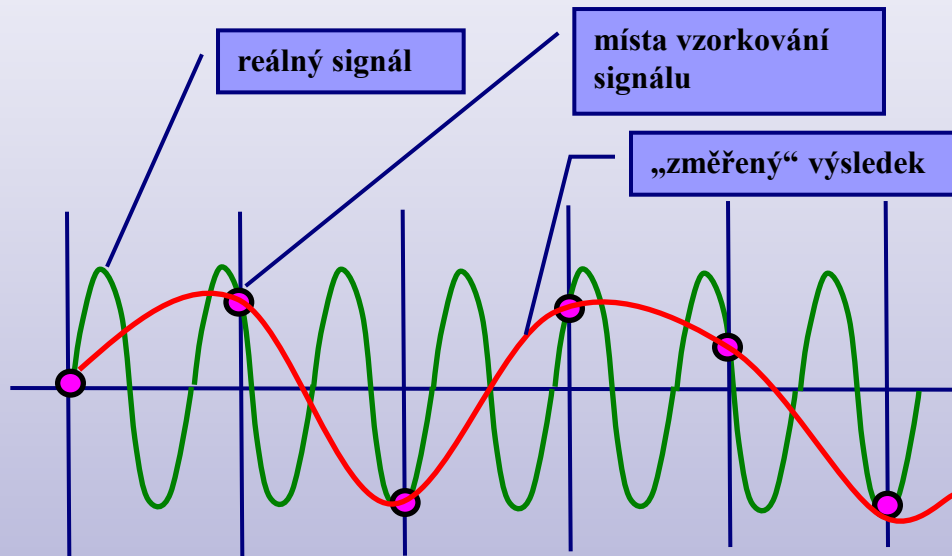
- volba vzorkovací frekvence
 - maximální hodnota je daná možnostmi (konstrukcí) převodníku
 - minimální hodnotu určuje
 - **Shanonnův teorém**
 - **přípustná velikost dynamické chyby**
 - zvolená frekvence by měla být mezi maximální a minimální hodnotou
 - kompromis mezi množstvím dat a „ztrátou“ informace

- **Shanonnův teorém**
 - odvození viz http://cs.wikipedia.org/wiki/Shannonův_theorem
 - **vzorkovací frekvence** $f_{VZORK} > 2 * f_{MAX}$
 - tedy víc než 2 vzorky na periodu
 - lze použít jen pro periodické děje
 - pro neperiodické děje se používá přípustná velikost dynamické chyby



6.1.3. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - VZORKOVÁNÍ

- **nedodržením Shanonnova teorému při vzorkování vznikne ALIASING jev**
 - křivka proložená zaznamenanými vzorky nemá s realitou žádnou souvislost
 - je bezpodmínečně nutné dodržet $f_{VZ} > 2 * f_{MAX}$



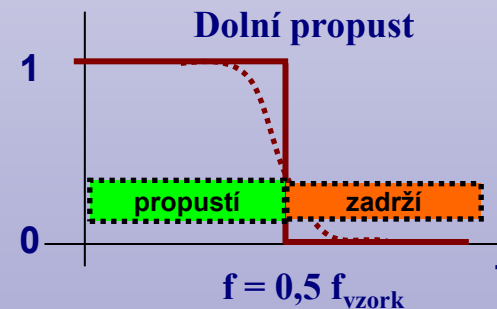
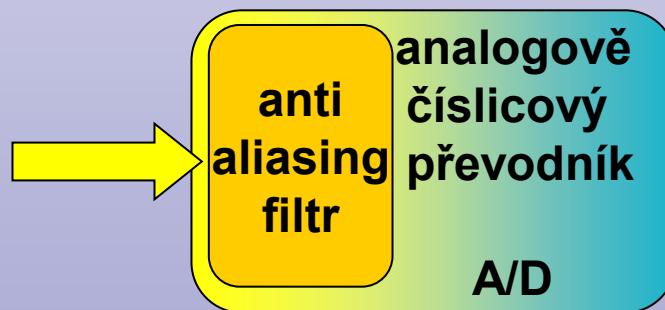
6.1.3. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - VZORKOVÁNÍ

- příklad ALIASING jevu ve filmu



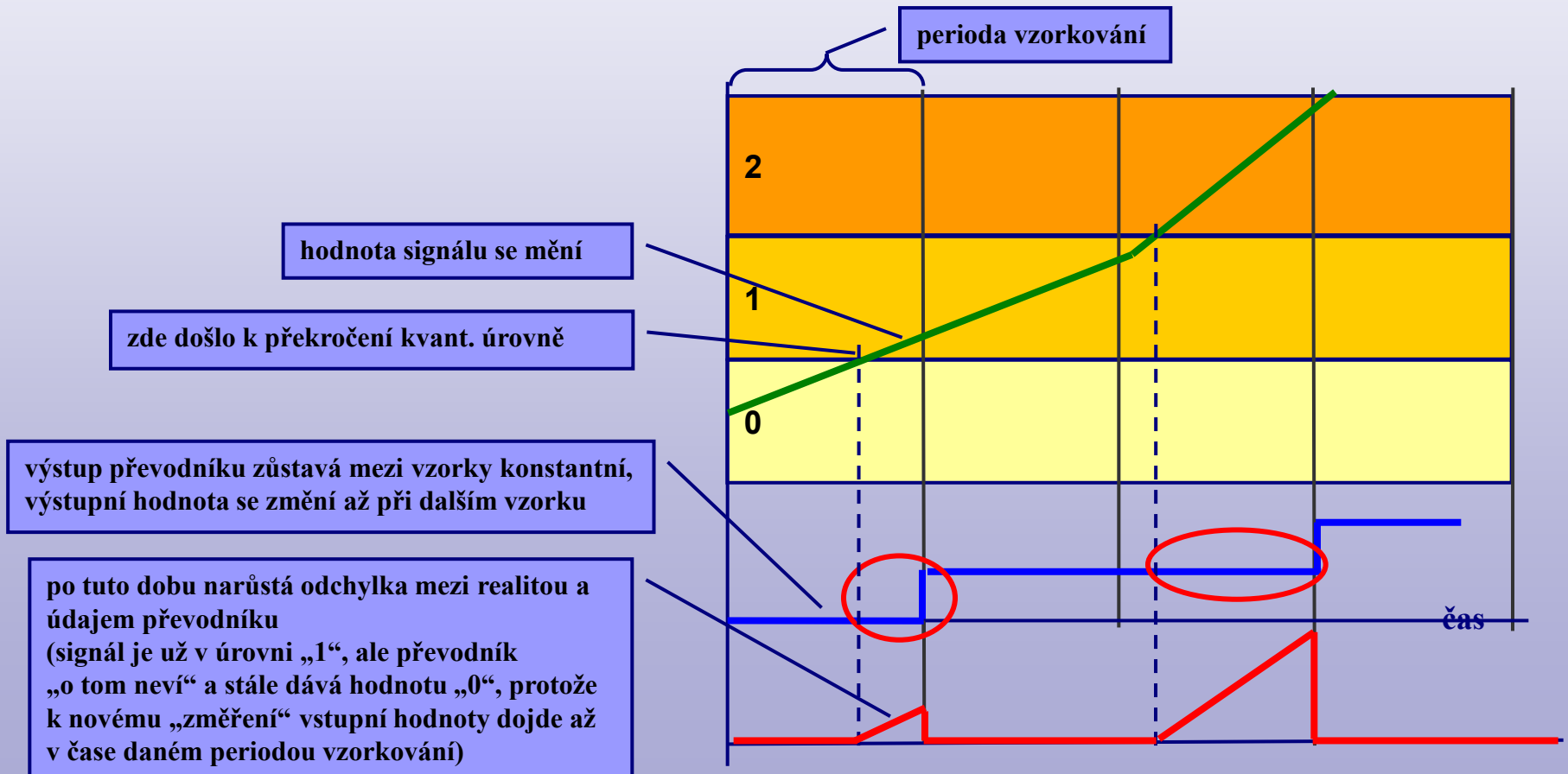
6.1.3. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - VZORKOVÁNÍ

- **Anti Aliasing filtr**
 - **moderní A/D převodníky mají na vstupu antialiasing filtr**
 - je to dolní propust, jejíž frekvence zlomu se automaticky nastaví na polovinu zvolené vzorkovací frekvence
 - nepropustí do A/D převodníku frekvence, které neodpovídají Shanonovu teorému
 - **pokud se taková frekvence ve vstupním signálu vyskytne, je zadržena a převodník neměří nic**
 - **je lepší neměřit nic, než nesmysl**



6.1.3. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - VZORKOVÁNÍ

- dynamická chyba
 - odchylka údaje převodníku od reality vlivem pomalého vzorkování
 - lze použít pro volbu vzorkovací frekvence u periodických i neperiodických signálů



6.1.3. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - VZORKOVÁNÍ

- určení minimální vzorkovací frekvence podle dynamické chyby
 - nemá-li dynamická chyba být větší než chyba převodu, musí být perioda vzorkování menší než doba, za kterou se vstupní napětí změní o hodnotu této chyby

$$T \leq \frac{\frac{1}{2} * \frac{1}{2^n} * u_{MAX}}{\max \left| \frac{du}{dt} \right|}$$

- tj. musíme vzorkovat tak rychle, aby se signál při své nejrychlejší změně „nestihl“ změnit o větší hodnotu, než polovinu kvantovací úrovně
- příklad: 12ti bitový převodník, vstupní rozsah 10V
signál se mění max. rychlostí 5V/s

$2^{12} = 4096$ úrovní na 10V rozsahu → kvantovací pásmo = $10/4096 = 0,0025V$

a chyba převodu je polovina, tedy 0,00125V

při max. rychlosti změny 5V/s se signál o hodnotu 0,00125V změní za 0,25 ms

→ vzorkovat musíme každých 0,25 ms, tj. vzork. frekvence je 4 kHz

6.1.3. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK - VZORKOVÁNÍ

- **určení minimální vzorkovací frekvence podle požadované chyby**
 - nepotřebuje-li se měřit tak přesně, lze do výpočtu použít libovolnou hodnotu chyby
 - lze vyjít například z relativní chyby předchozí analogové části, pokud je třeba A/D převodník „zbytečně“ přesný
 - stejný příklad: **12ti bitový převodník, vstupní rozsah 10V**
signál se mění max. rychlostí **5V/s**
ale navíc předchozí analogová část pracuje s relativní chybou **1%**

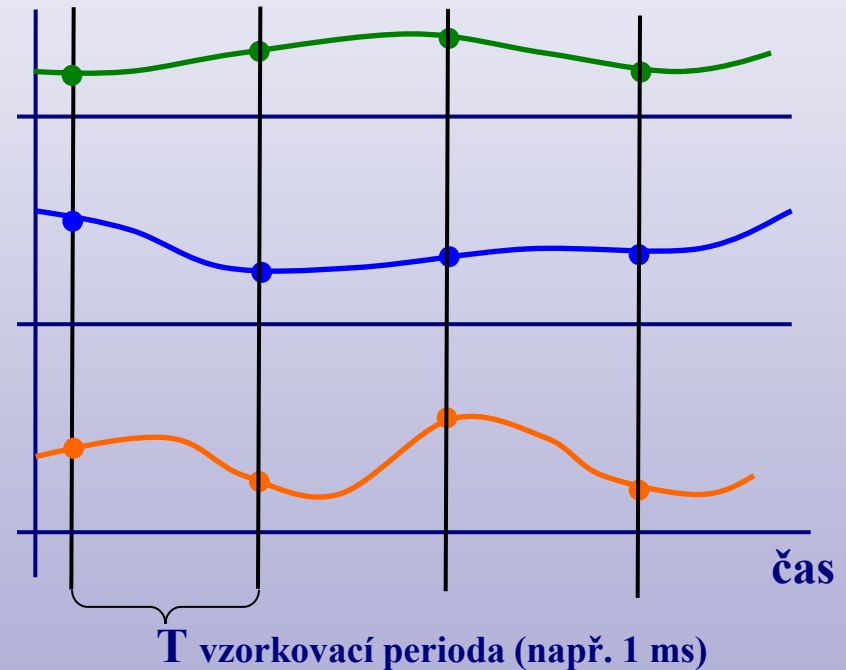
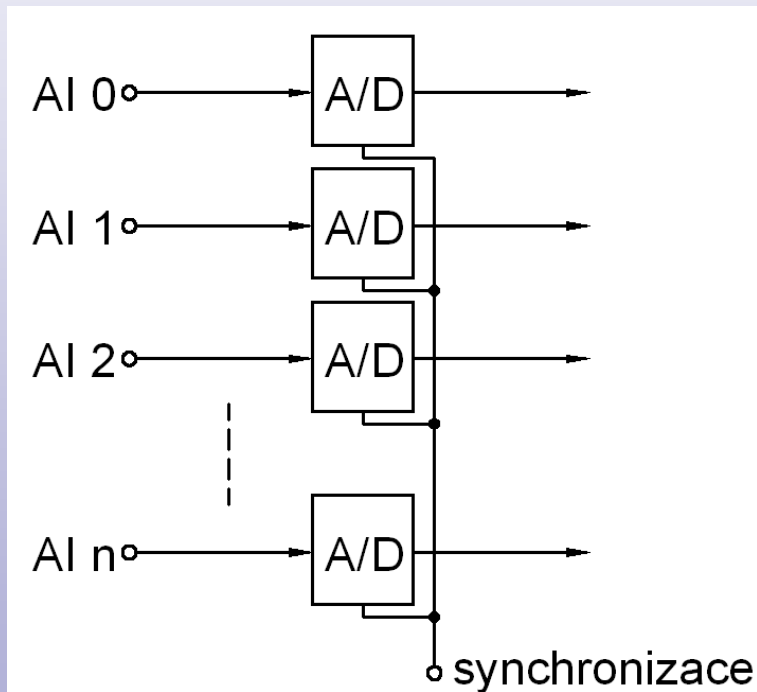
A/D převod nemusí pracovat „zbytečně přesně“, nevadí, když dynamická chyba bude větší. Stačí, když se příliš nezhorší celková chyba (chyby sériových komponentů se sčítají)

analogová část má rel. chybu 1% z 10V, tedy 0,1V, takže pokud následný převodník bude pracovat s dynamickou chybou např. 0,1% (0,01V), zhorší se výsledek jen na 1,1%

při max. rychlosti změny 5V/s se signál o hodnotu 0,01V změní za 2 ms, tedy aby dynamická chyba nepřekročila 0,1%, stačí vzorkovat každé 2 ms, tj. vzork. frekvence je 500 Hz

6.1.4. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK S VÍCE VSTUPY

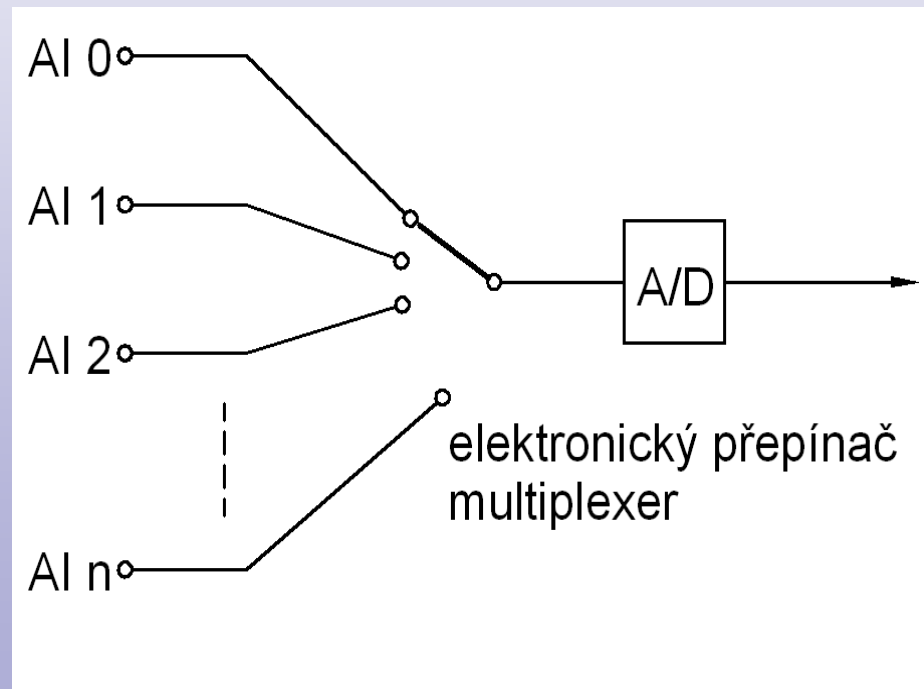
- **synchronně vzorkované vstupy**
 - každý vstup vlastní A/D převodník
 - uvedená maximální vzorkovací rychlost může být dosažena na všech kanálech současně



- **výhoda: všechny vstupy jsou vzorkovány ve stejném čase**
- **nevýhoda: vysoká cena**

6.1.4. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK S VÍCE VSTUPY

- **multiplexované vstupy**
 - vstupy se postupně přepínají na jeden A/D převodník
 - uvedená maximální vzorkovací rychlost je společná pro všechny kanály, nemůže být dosažena na všech kanálech současně
- údaj na převodníku např. **200 kS/s**, tj. 200 000 vzorků (samples)/s
- platí pro všechny kanály současně
- skutečně dosažitelná rychlost závisí na počtu měřených kanálů
 - 1 kanál 200kHz
 - 2 kanály každý po 100kHz
 - 10 kanálů každý po 20kHz
- vstupy navíc nejsou změřeny ve stejném čase !



- **výhoda: příznivá cena**
- **nevýhoda: vstupy nejsou vzorkovány ve stejném čase**

6.1.4. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK S VÍCE VSTUPY

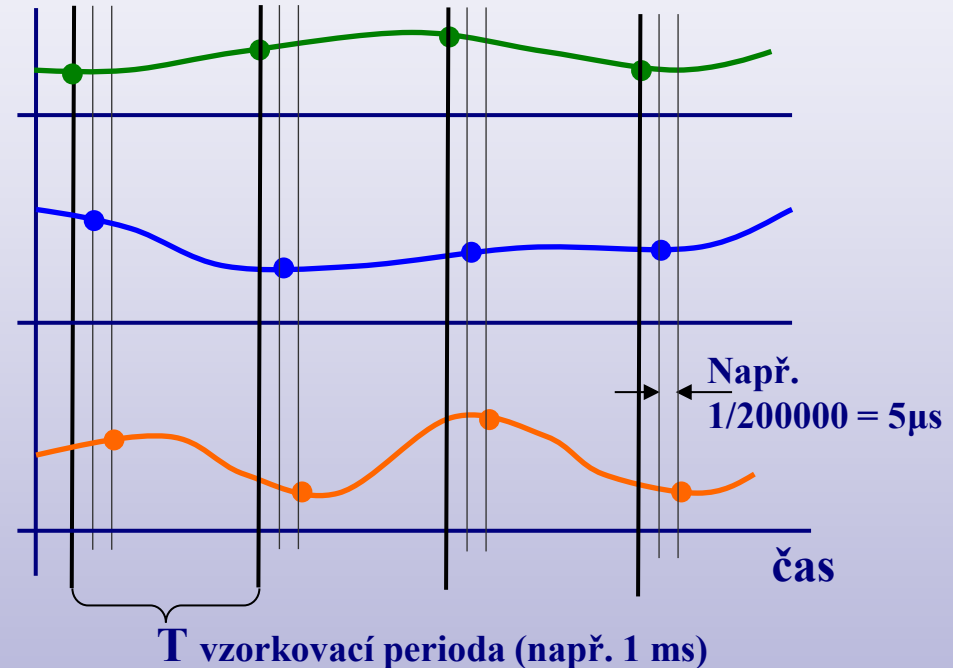
▪ multiplexované vstupy – příklad

- převodník 200kS/s
- 3 kanály, vzork. frekvence 1kHz
- datový soubor:

čas[ms]	kanál 1	kanál 2	kanál 3
0	10,2	28,3	14,3
1	14,8	15,2	18,5
2	16,1	6,8	21,3

• realita:

čas[ms]	kanál 1	kanál 2	kanál 3
0	10,2	--	--
0,005	--	28,3	--
0,01	--	--	14,3
1	14,8	--	--
1,005	--	15,2	--
1,01	--	--	18,5
2	16,1	--	--
2,005	--	6,8	--
2,01	--	--	21,3



ztráta informace o časovém posunu mezi kanály
 kanály 2 a 3 jsou vzorkovány v čase jinde

6.1.4. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK S VÍCE VSTUPY

▪ **multiplexované vstupy - extrémní příklad:**

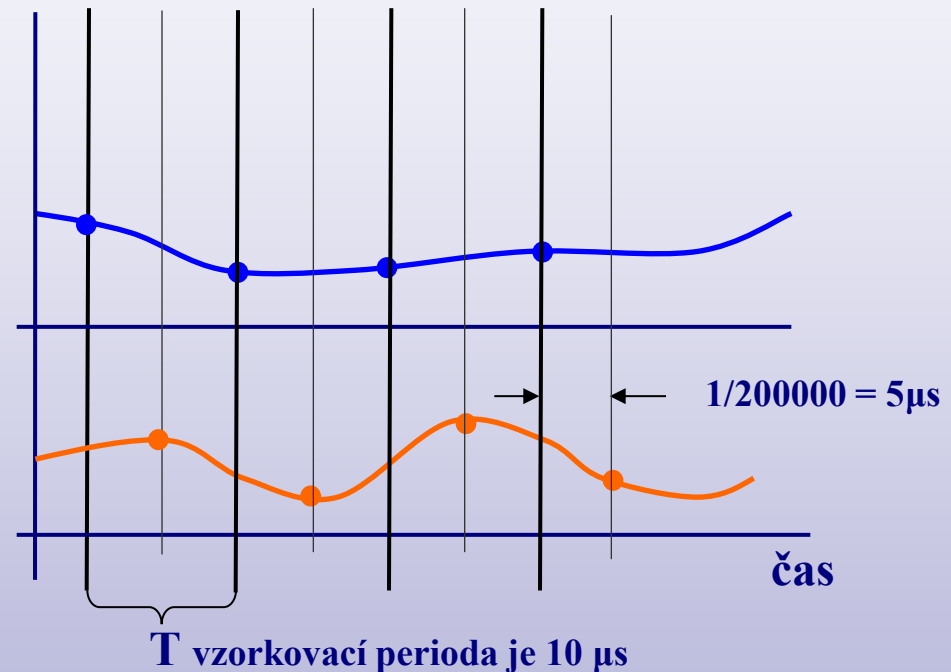
- převodník 200kS/s
- 2 kanály, vzork. frekvence 100kHz

• datový soubor:

čas[μ s]	kanál 1	kanál 2
0	10,2	28,3
10	14,8	15,2
20	16,1	6,8

• **realita:**

čas[μ s]	kanál 1	kanál 2
0	10,2	--
5	--	28,3
10	14,8	--
15	--	15,2
20	16,1	--
25	--	6,8



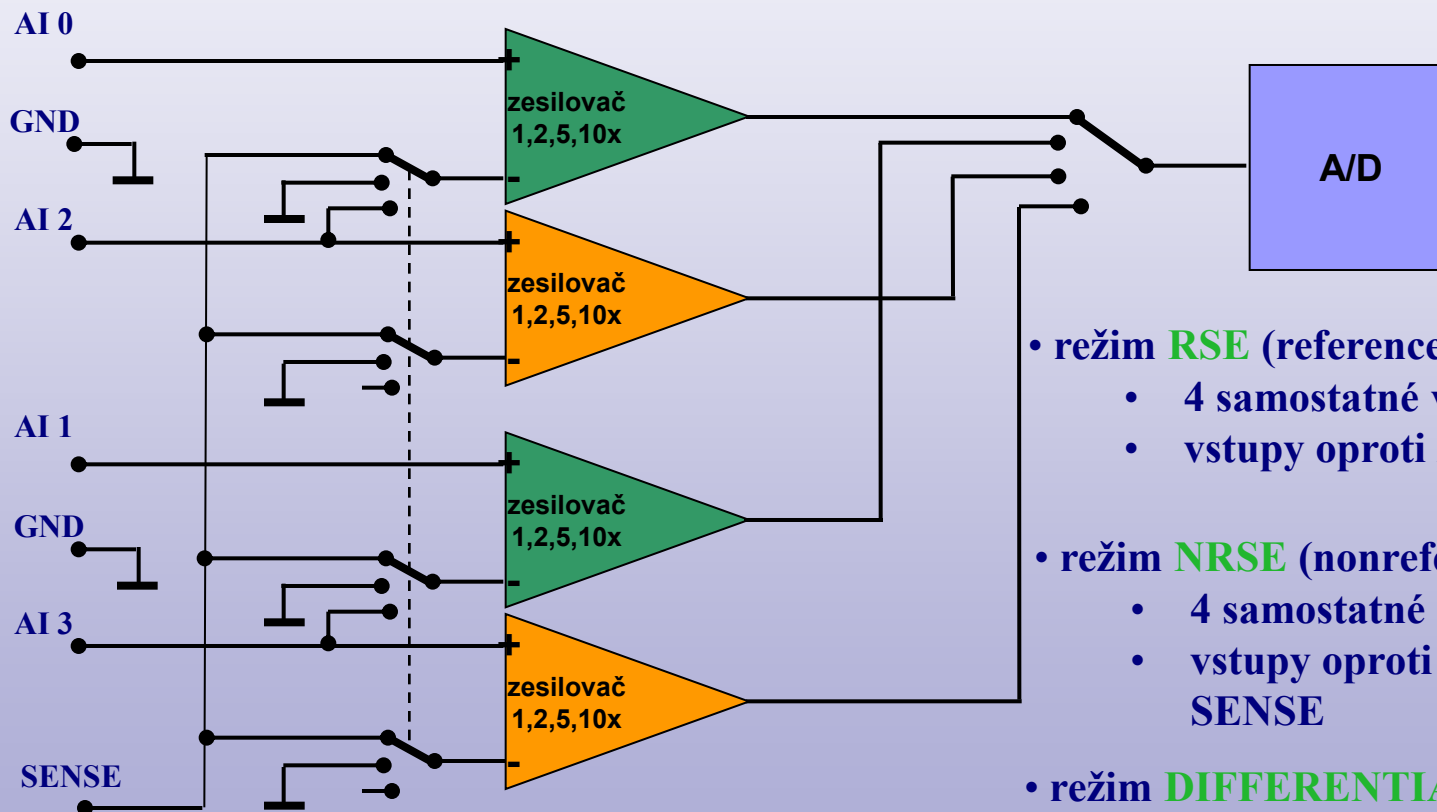
POZOR NA LEVNÉ PŘEVODNÍKY S MULTIPLEXOVANÝMI VSTUPY PROVOZOVANÉ NA HRANIČNÍCH RYCHLOSTECH

- kanál 2 je o 50% v čase jinde, než je interpretováno v obdržených datech
- to může způsobit chybnou interpretaci výsledků

6.1.4. ANALOGOVĚ ČÍSLICOVÝ PŘEVODNÍK S VÍCE VSTUPY

- multiplexované vstupy – příklad praktického provedení:

- převodník 2/4 vstupy s rozsahy $\pm 10V$ $\pm 5V$ $\pm 2V$ $\pm 1V$
- uživatelsky volitelný rozsah a režim činnosti vstupů



- režim **RSE** (referenced single ended)
 - 4 samostatné vstupy
 - vstupy oproti zemi GND
- režim **NRSE** (nonreferenced single ended)
 - 4 samostatné vstupy
 - vstupy oproti referenčnímu vstupu SENSE
- režim **DIFFERENTIAL**
 - 2 diferenciální vstupy
 - (v tomto režimu přepínač před A/D spíná jen „zelené“ zesilovače)

6.1.5. PŘÍKLADY PROVEDENÍ A/D PŘEVODNÍKŮ

- **průmyslové provedení**
 - jedno nebo vícevstupové provedení
 - synchronní i multiplexované vstupy
 - programovatelná rychlost vzor
 - určený pro montáž na DIN lištu do rozvaděčů
- **velmi často ve formě kompletního přístroje**
 - obsahuje i analogovou část
 - univerzální vstupy nebo určený pro konkrétní typ snímače



6.1.5. PŘÍKLADY PROVEDENÍ A/D PŘEVODNÍKŮ

- karty do PC s A/D převodníky
 - do USB – jednoduchá instalace
 - max. rychlost vzorkování omezená datovým tokem přes USB
 - vestavěné v PC (sběrnice PCI, užívají DMA)
 - velké rychlosti vzorkování i při více kanálech
 - multiplexované i synchronní provedení vstupů
 - vícevstupové (nejčastěji 4, 8, 16, 32 kanálů)
 - často více vstupních rozsahů
 - prakticky vždy vstupní rozsah symetrický
 - často lze kanály použít samostatně nebo vždy dvojici jako diferenciální vstup



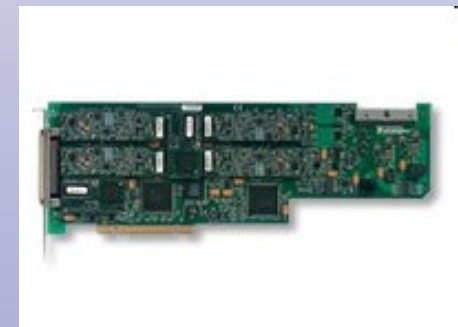
4/8 vstupů, multiplex
12ti bitový A/D 10kS/s
4 100,- Kč



8 vstupů, multiplex
16ti bitový A/D 1,2MS/s
52 100,- Kč



8/16 vstupů, multiplex
16ti bitový A/D 250kS/s
12 500,- Kč



4 vstupy, synchronní
16ti bitový A/D 1,2MS/s
120 000,- Kč

6.2. ZOBRAZOVACÍ A ZÁZNAMOVÉ ZAŘÍZENÍ



6.2.1. ZOBRAZOVACÍ A ZÁZNAMOVÉ ZAŘÍZENÍ

- počet cifer (desetinných míst) displaye by měl odpovídat přesnosti předchozího řetězce



příklad: měření síly v rozsahu 1kN, přesnost řetězce (relativní chyba) je 0,1%
relativní chyba je tedy 1N, rozlišitelnost cca 2N
nemá smysl zobrazovat cokoliv menšího než 1N

0,561 kN

0560 N

6.2.1. ZOBRAZOVACÍ A ZÁZNAMOVÉ ZAŘÍZENÍ

- PC se softwarem pro zobrazování a záznam dat
 - ke zobrazení a záznamu dat využívá prostředky PC
 - činnost je řízena speciálním softwarem
 - je vázán na konkrétní typ HW (karty s A/D převodníkem)
 - jednoúčelový nebo univerzální (uživatelsky modifikovatelné prostředí)
- měřicí ústředny na bázi PC
 - kompaktní zařízení (PC s měřicí kartou, vstupní zesilovače v jedné skříní)
 - včetně softwaru pro měření a záznam
 - velmi často komplexní nastavení všech parametrů (i analogové části) pomocí softwaru
 - automatická identifikace snímačů (TEDS)
 - Transducer Electronic Data Sheet
 - snímač obsahuje čip, na kterém jsou uloženy veškeré údaje o snímači
 - použití plug and play
 - další pokročilé funkce (záznam dat a obrazu)



6.2.1. ZOBRAZOVACÍ A ZÁZNAMOVÉ ZAŘÍZENÍ

- měřicí ústředny na bázi jednočipových procesorů
 - lehce přenosné kompaktní zařízení pro měření a záznam dat
 - většinou včetně analogové části
 - často omezená možnost typů připojitelných snímačů (jednoúčelové zařízení)
 - včetně softwaru pro měření a záznam
 - velmi často komplexní nastavení všech parametrů (i analogové části) pomocí softwaru
 - často bateriové napájení
 - často připojitelné k PC pro dlouhodobou archivaci a zpracování dat



6.2.1. ZOBRAZOVACÍ A ZÁZNAMOVÉ ZAŘÍZENÍ

- průmyslové systémy

- funkce daná výrobcem nebo uživatelsky modifikovatelná (připojením k PC)
- display bez záznamu nebo s omezenou kapacitou záznamu (např. 100 údajů)
- lze i velkokapacitní záznam dat (bez mechanických prvků, FLASH paměti)
- lze propojovat s nadřazenými systémy (PC, PLC,...)



KONTROLNÍ OTÁZKY

- A/D převodník
 - funkce a základní vlastnosti (str. 3)
 - dvojková soustava, počet řádů (bitů) a počet rozlišitelných úrovní (str. 4)
- kvantování
 - princip a důsledek kvantování (str. 6)
 - kvantovací chyba, rozlišitelnost (str. 7)
- vzorkování
 - princip a důsledek vzorkování, perioda vzorkování, vzork. frekvence (str. 8)
 - Shannonův teorém (str. 9)
 - aliasing jev, antialiasing filtr (str. 10, 11)
 - dynamická chyba, princip vzniku, vliv na volbu vzork. frekvence (str.12, 13, 14)
- vícevstupový A/D převodník
 - synchronní vstupy – princip, výhody, nevýhody (str. 15)
 - multiplexované vstupy – princip, výhody, nevýhody (str. 16)
 - multiplexované vstupy – rychlost x počet kanálů, interpretace dat (str. 16, 17, 18)
- zobrazovací a záznamové zařízení
 - počet cifer vzhledem k přesnosti měření (str. 23)
 - přehled možností provedení (str. 24, 25, 26)

