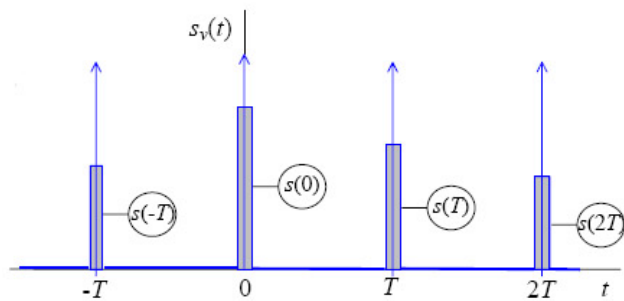
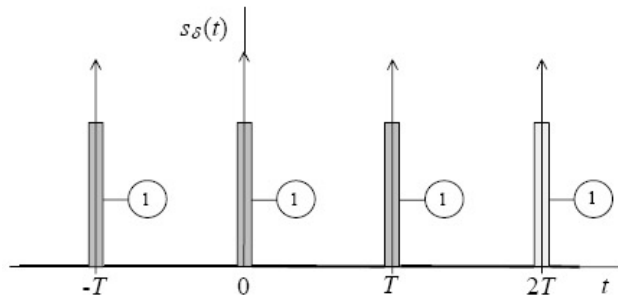
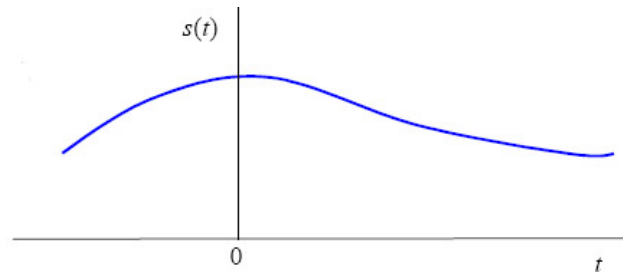
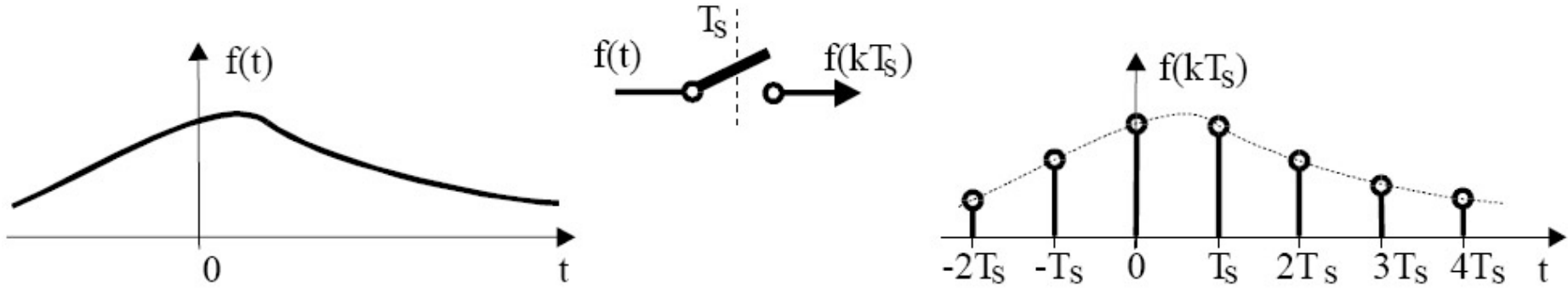
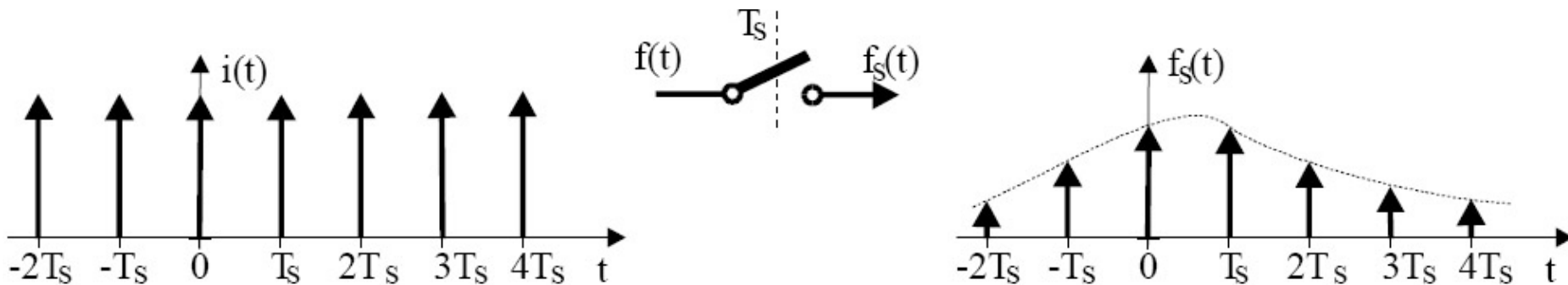


Vzorkování



Vzorkování je převodem spojitého signálu na diskrétní. Lze si ho představit jako násobení sledu diracových impulzů (impulzů jednotkové plochy a nulové délky) časovým průběhem vzorkovaného signálu. Technicky ho lze chápat jako opakované spínání spojitého signálu spínačem na nekonečně krátkou dobu

Vzorkování



Je-li posloupnost diracových impulzů s periodou T_s :

$$i(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT_s)$$

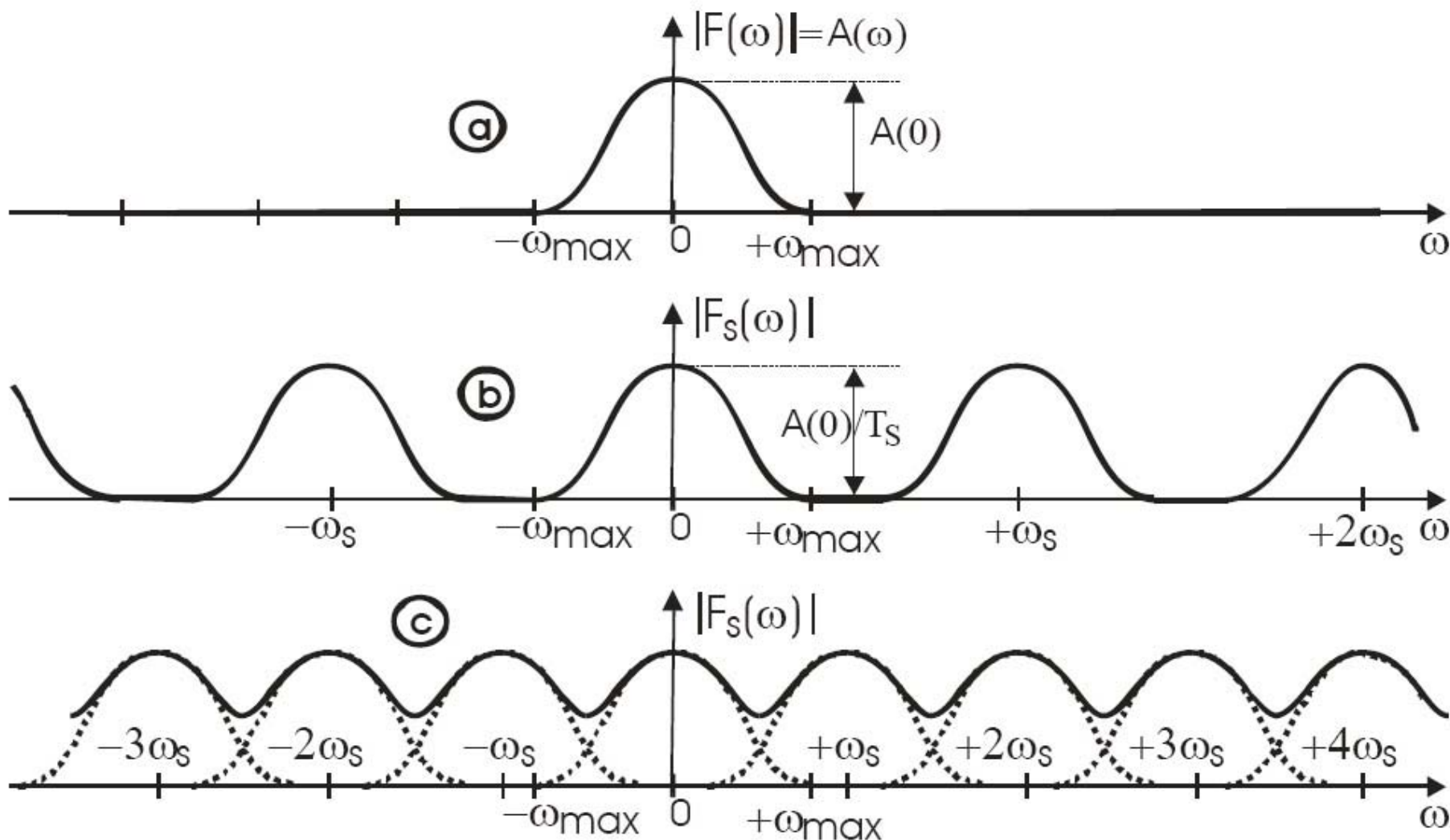
Pak časová posloupnost diskrétních vzorků bude:

$$f_s(t) = f(t)i(t) = f(t) \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT_s)$$

A Fourierův obraz (kmitočtové spektrum) vzorkovaného signálu bude:

$$F_s(\omega) = \mathcal{F}\{f_s(t)\} = \frac{1}{T_s} \sum_{m=-\infty}^{m=+\infty} F\left(\omega - m \frac{2\pi}{T_s}\right) = \frac{1}{T_s} \sum_{m=-\infty}^{m=+\infty} F(\omega - m\omega_s)$$

Spektrální pohled na vzorkování



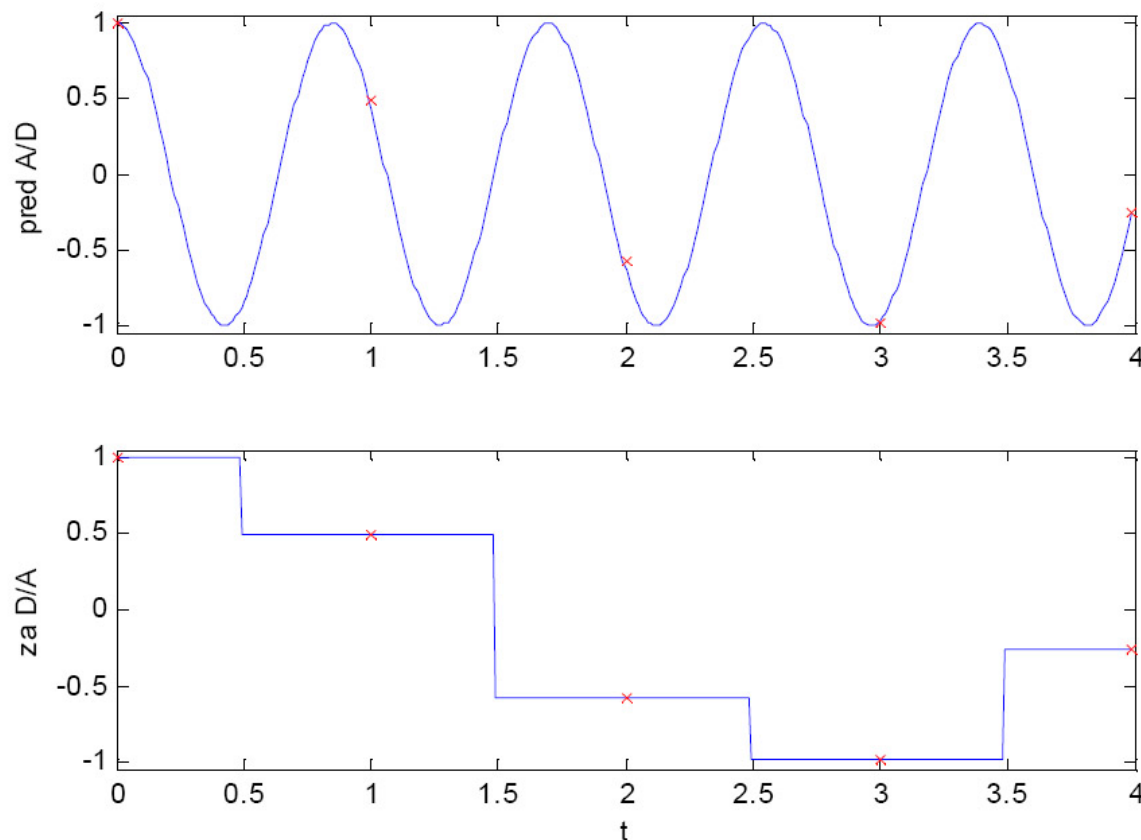
a) omezené spektrum spojitého signálu; b) spektrum vzorkovaného signálu opakující se s periodou ω_s ; c) přeložení spekter při malém ω_s

Vzorkovací teorém

Základním pravidlem vzorkování je tzv. vzorkovací (Shannonův, popř. Shannon-Kotelnikův) teorém.

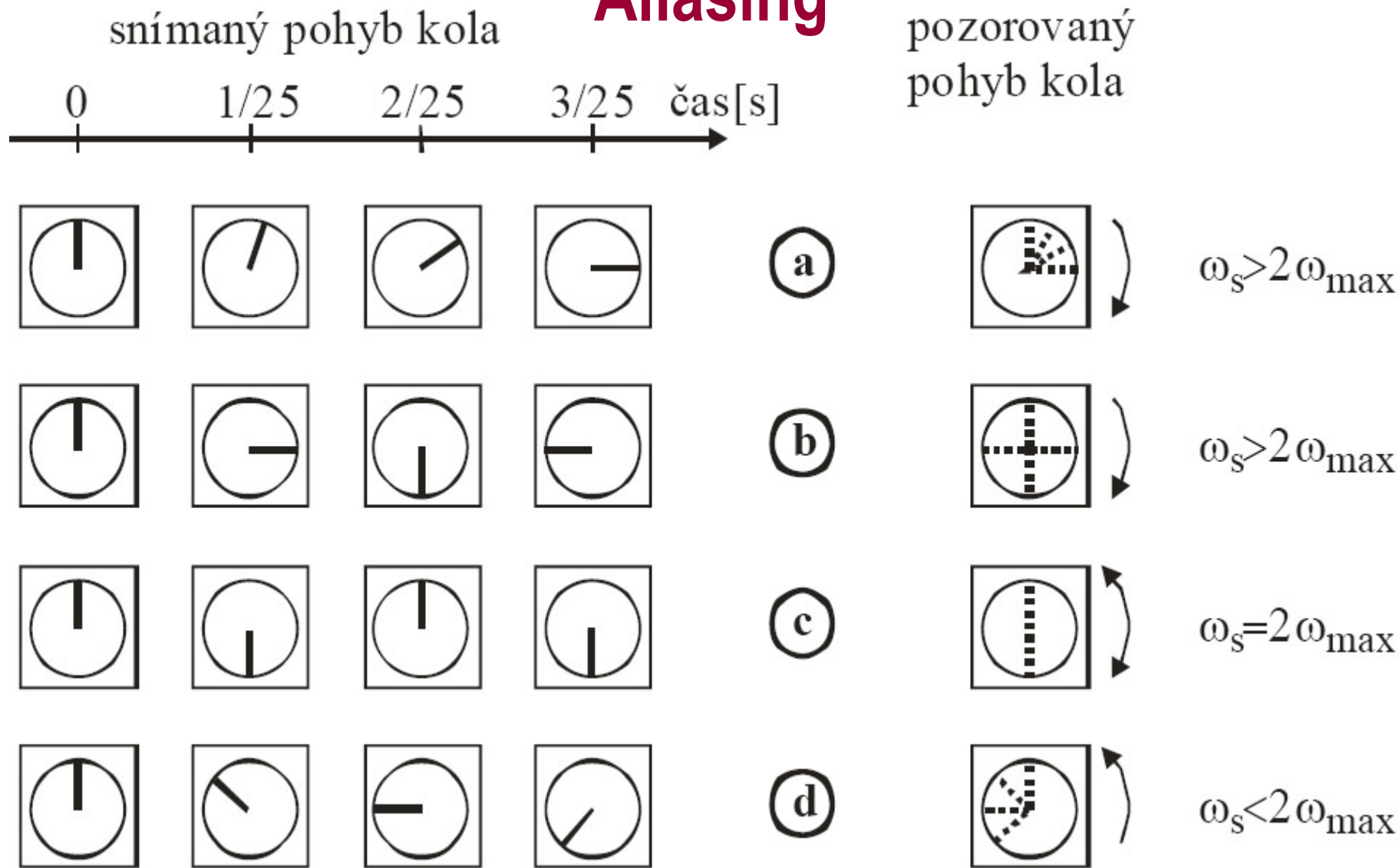
$$\omega_s \geq 2\omega_{\max} \Leftrightarrow T_s \leq \frac{\pi}{\omega_{\max}}$$

Říká, že frekvence vzorkování musí být alespoň 2-krát vyšší, než nejvyšší kmitočty (spektrální složky) vzorkovaného signálu, aby nedošlo ke zkreslení přeložením spekter, tzv. **aliasingu**.



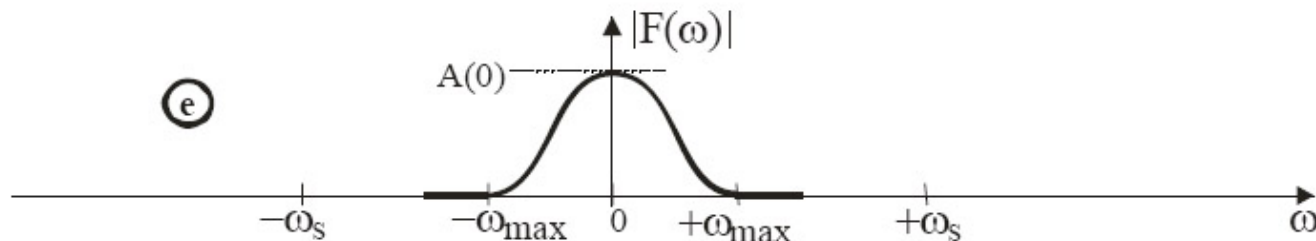
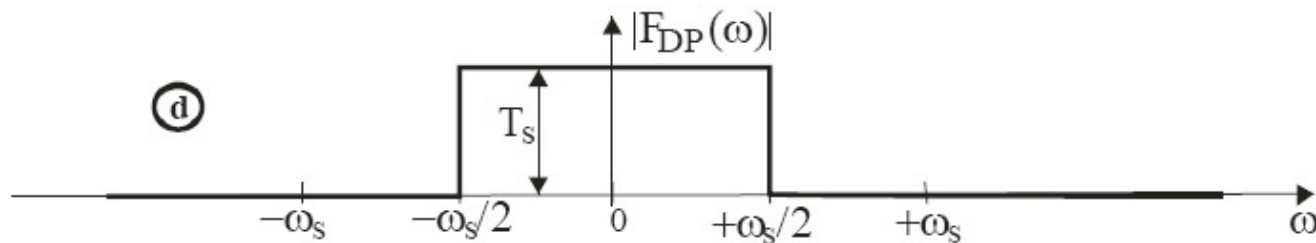
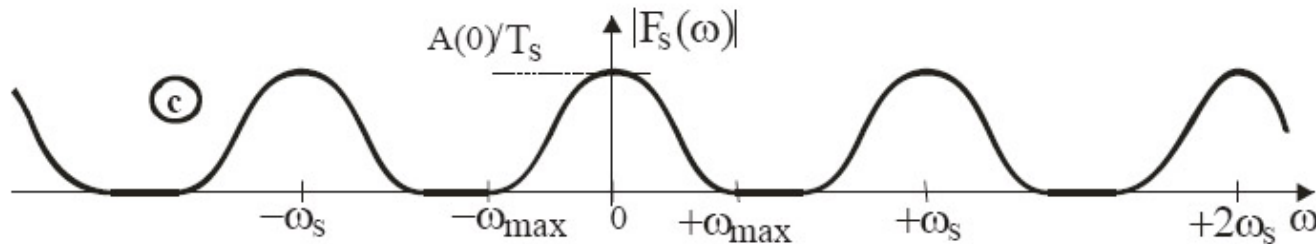
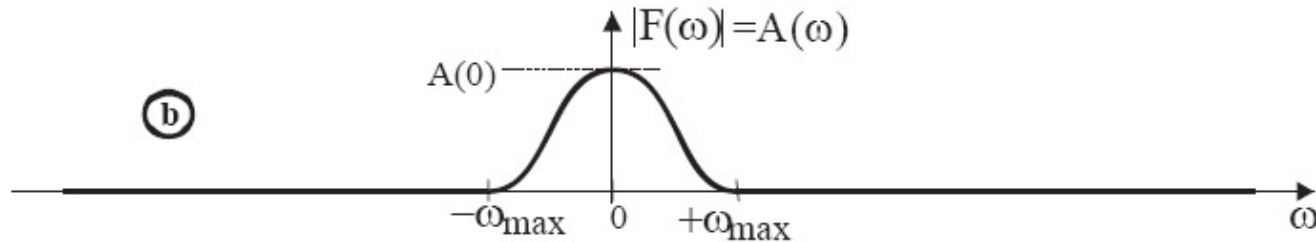
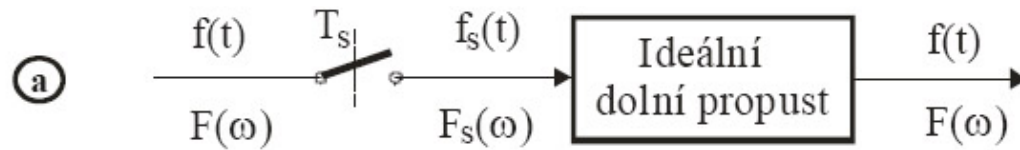
Aliasing – přeložení v časové oblasti se projevuje chybnou interpretací kmitočtu vyššího, než dvojnásobek vzorkovacího. Tento vyšší kmitočet se „přeloží“ zrcadlově vůči vzorkovacímu kmitočtu do nižší spektrální oblasti: bude se jevit, jako nižší.

Aliasing



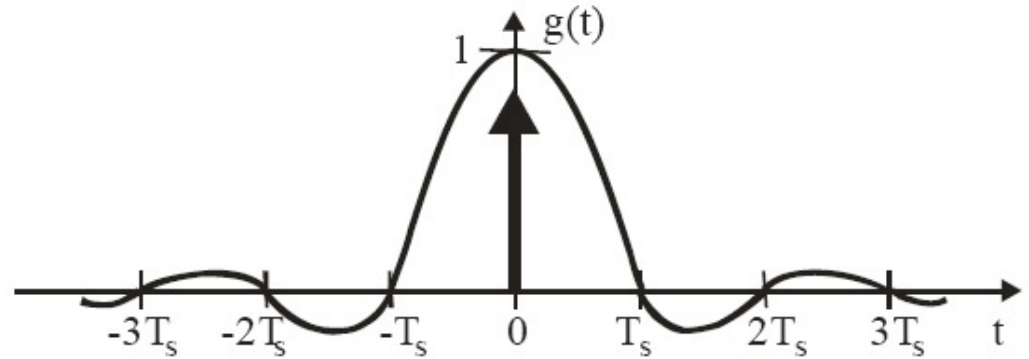
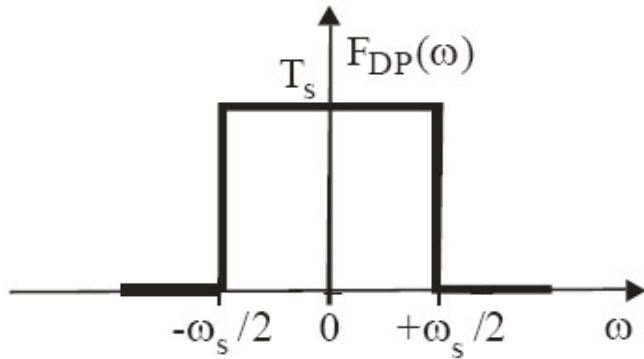
Aliasing demonstrován na otáčejícím se kole s jednou loukotí snímaném kamerou. V případě d) je porušen teorém: kolo se jeví otáčet obráceně.

Rekonstrukce vzorkovaného signálu



Spojitý signál lze získat z posloupnosti vzorků prostřednictvím dolní propusti. Tato z pohledu spektra odfiltruje spektrální složky způsobené periodizací posloupnosti impulzů – vzorků. Ideální dolní propust má obdélníkovou spektrální charakteristiku.

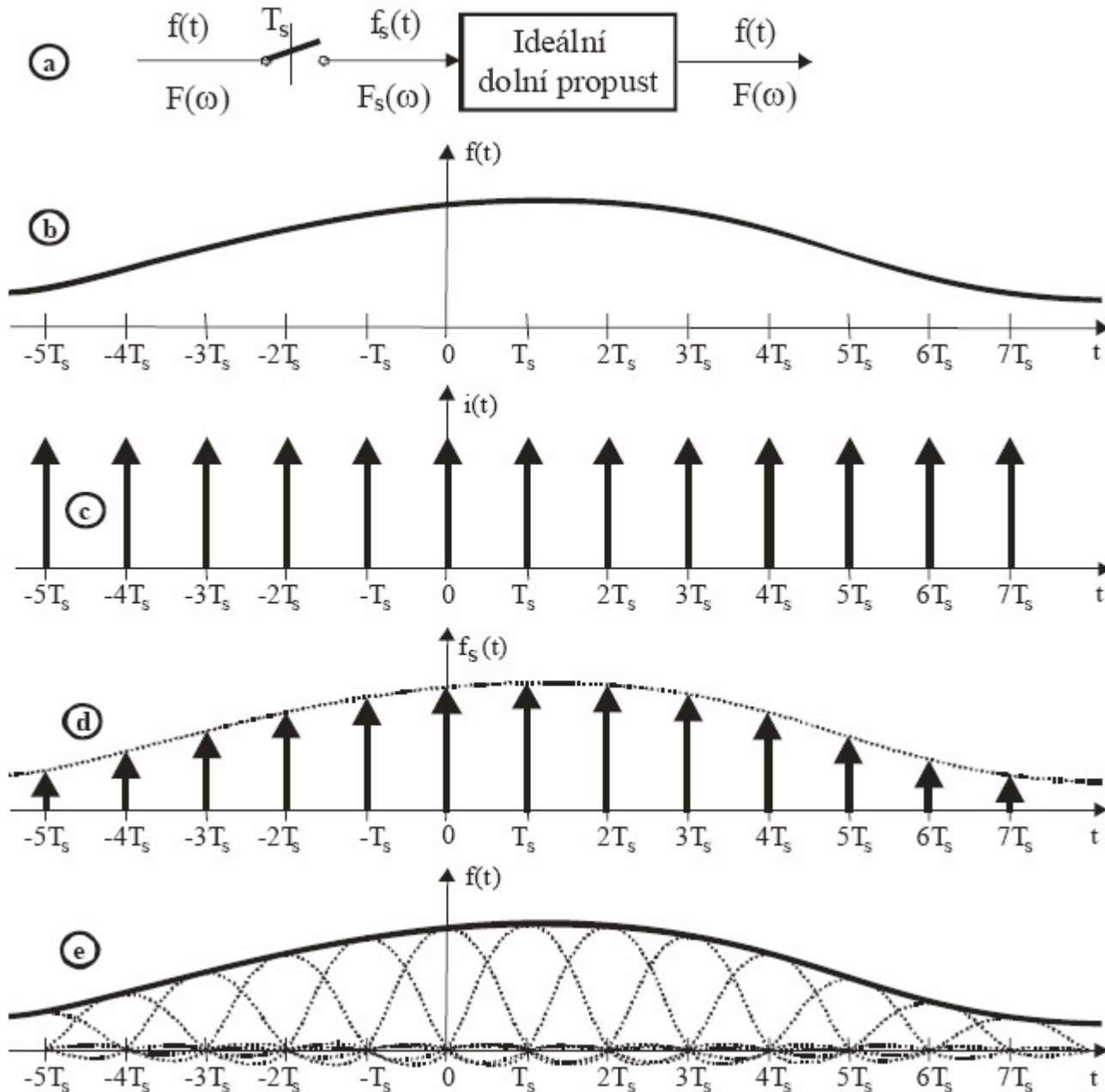
Ideální dolní propust



Ideální dolní propust s obdélníkovou spektrální charakteristikou propouští zcela kmitočty menší, než ω_s , nepropouští vůbec kmitočty větší.

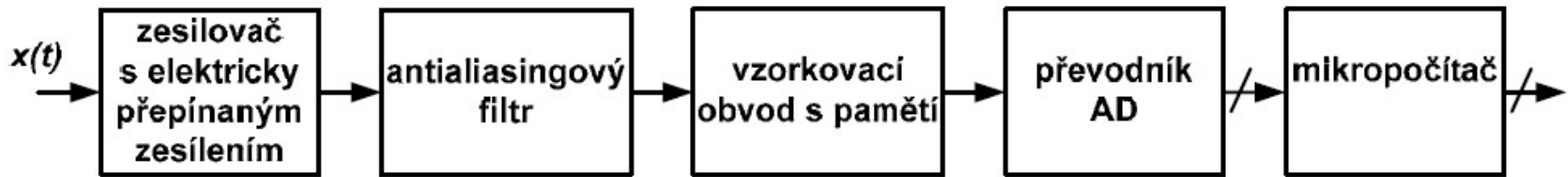
Tato propust se chová v časové oblasti v reakci na příchod diracova impulzu, jak je naznačeno na obrázku. Průběh se nazývá „impulzní odezva“. Impulzní odezva má hodnotu 0 pro všechny okamžiky odpovídající násobkům vzorkovací periody T_s .

Rekonstrukce vzorkovaného signálu časově



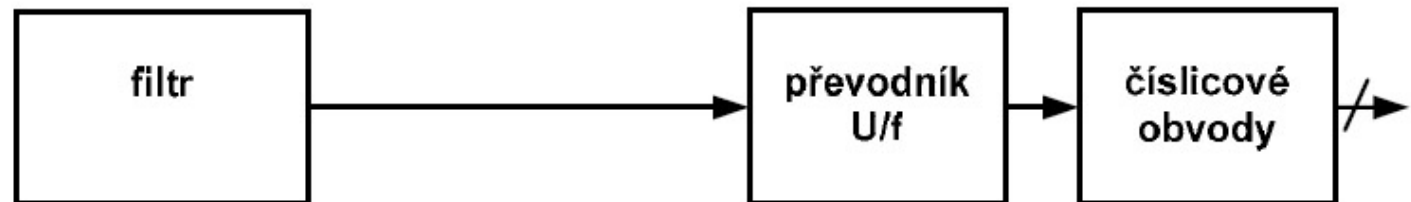
Z časového pohledu můžeme vnímat rekonstrukci původního spojitého signálu dolní propustí jako sled impulzních odezev dolní propusti na jednotlivé vzorky – diracovy impulzy a jejich následnou superpozici. Výsledkem je původní spojitý signál. Jedná se jen o teoretickou idealizaci. Ideální dolní propust neexistuje.

Číslicové vzorkování

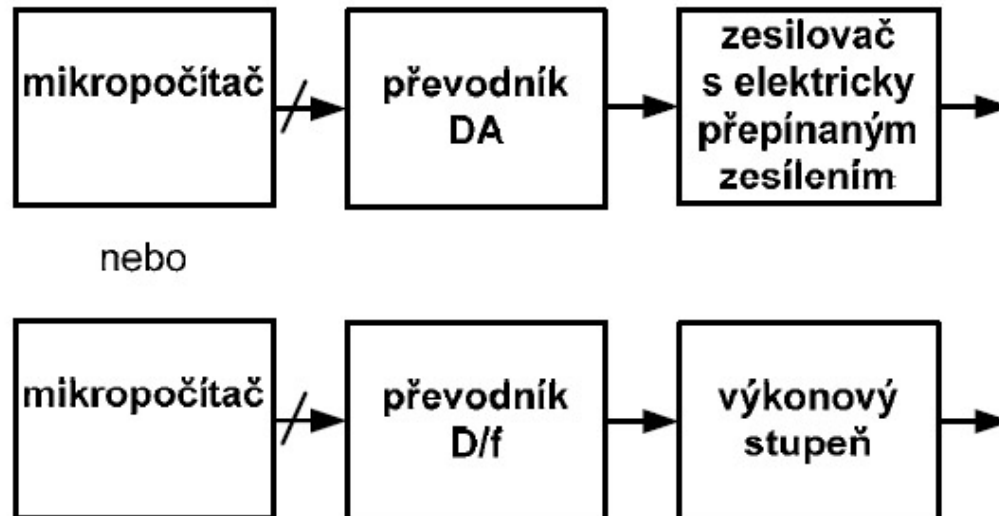


nebo

V praxi má vzorkování smysl jen jako převod spojitého signálu na digitální, kde jsou vzorky reprezentovány číselným vyjádřením

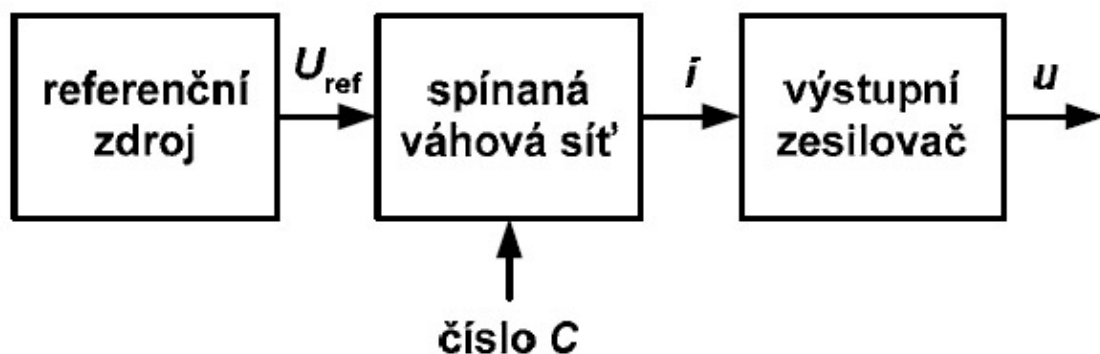
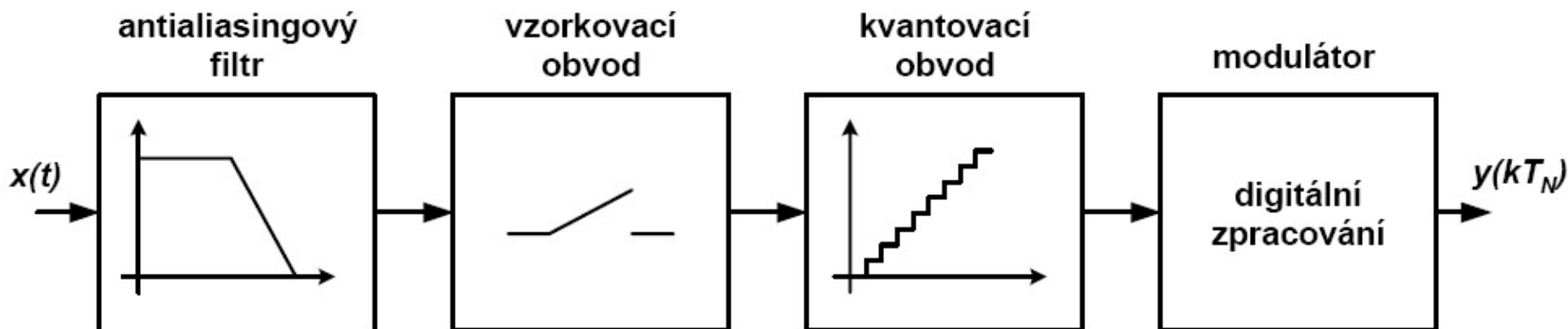


nebo



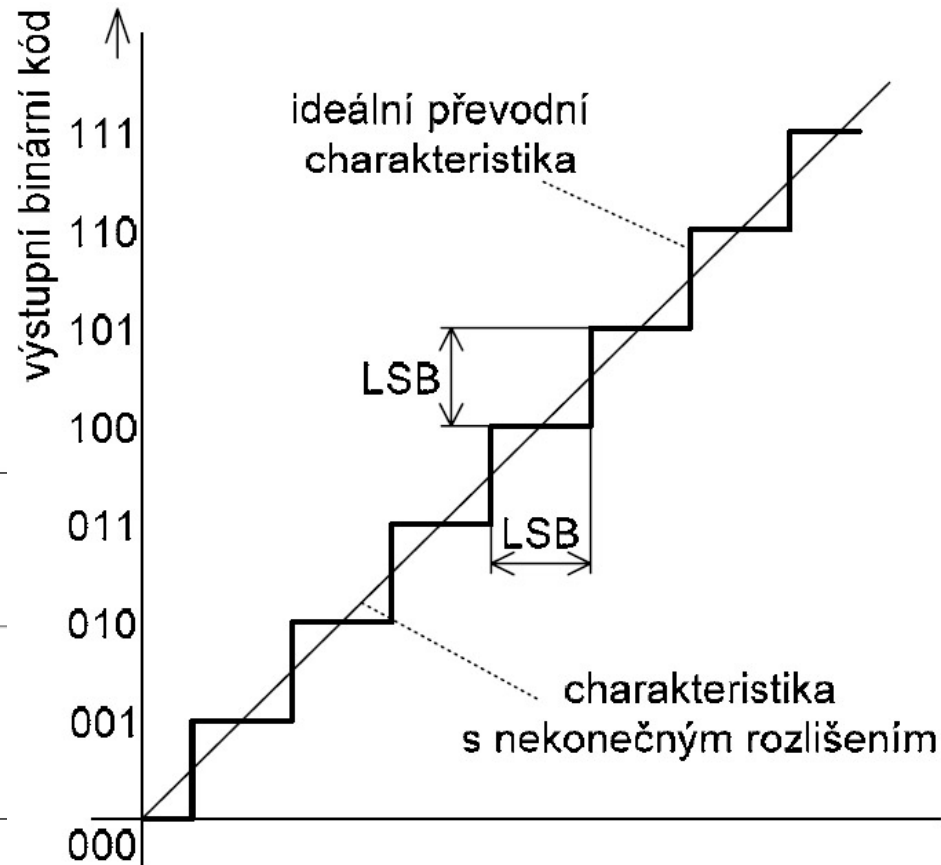
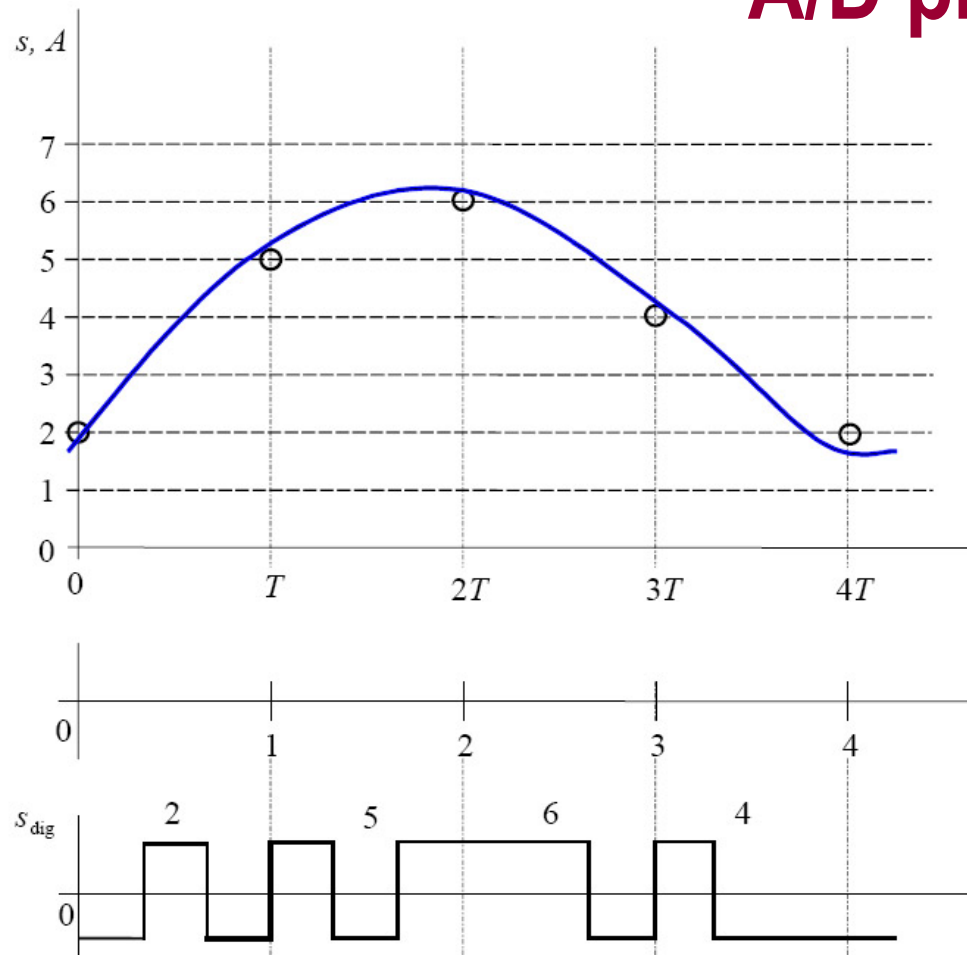
Digitalizační signálová trasa může mít tyto podoby

Analogově – digitální převod



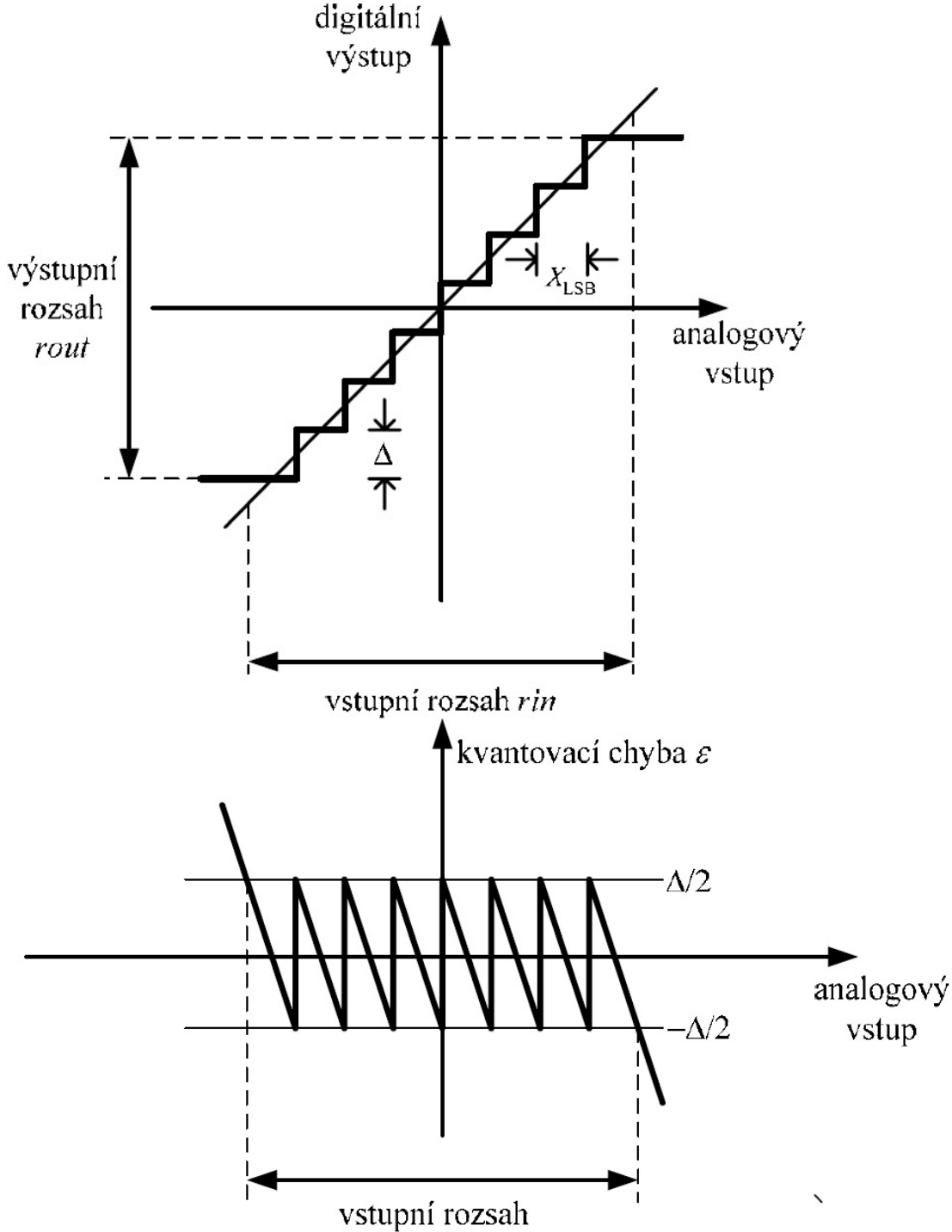
Jádrem digitalizační signálové trasy je A/D převodník. V širším smyslu zahrnuje i filtr, vzorkovač a digitální zpracování. Vlastní převodník provádí kvantování analogového signálu na řadu diskrétních úrovní vyjádřených čísly.

A/D převod



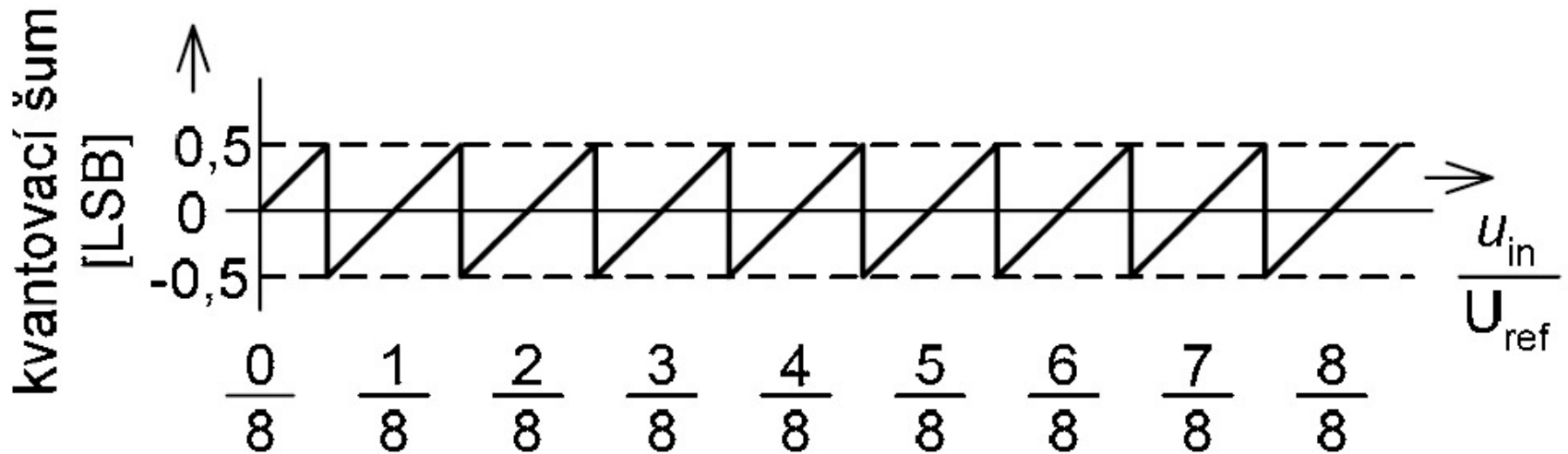
V A/D převodníku je signál vzorkován a jednotlivé vzorky převedeny na čísla v dvojkové soustavě. Vzorky nemají přesnou hodnotu analogového signálu, ale vždy jen nejbližší úrovně dané krokem „LSB“ – Least Significant Bit – nejmenší změnou nejméně významného bitu. Tato hodnota reprezentuje rozlišení převodníku.

Kvantovací chyba převodníku



Základní chyba analogově-digitálního převodu je kvantizační chyba. Její průběh je na dolním obrázku. Mění se periodicky kolem nulové hodnoty od $-\Delta/2$ do $\Delta/2$, což odpovídá $\pm \text{LSB}/2$.

Kvantizační šum



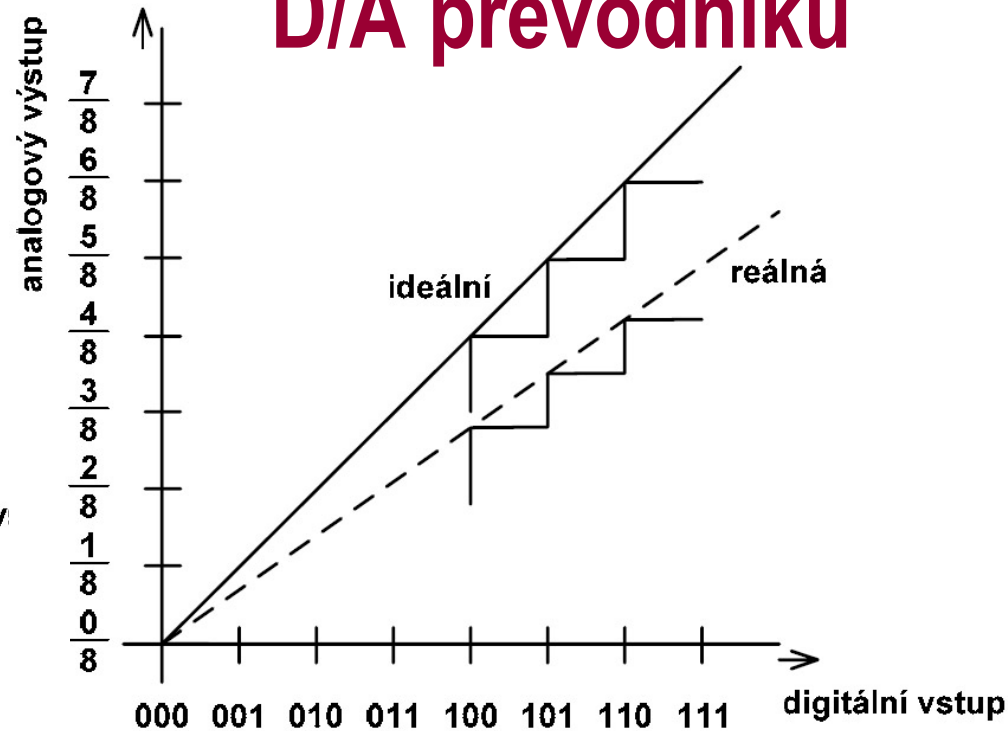
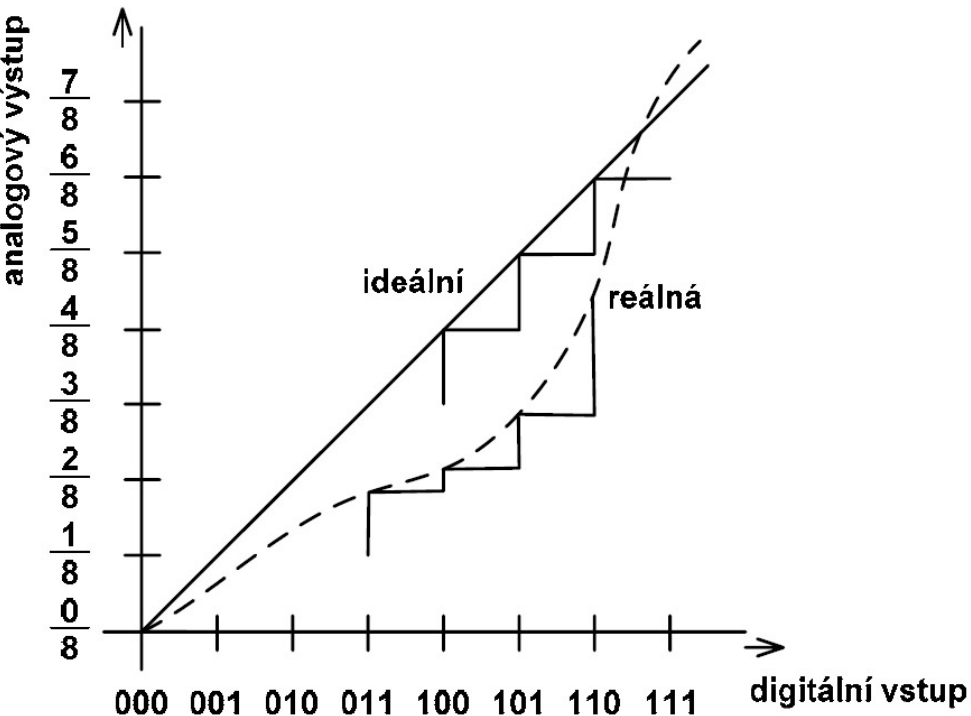
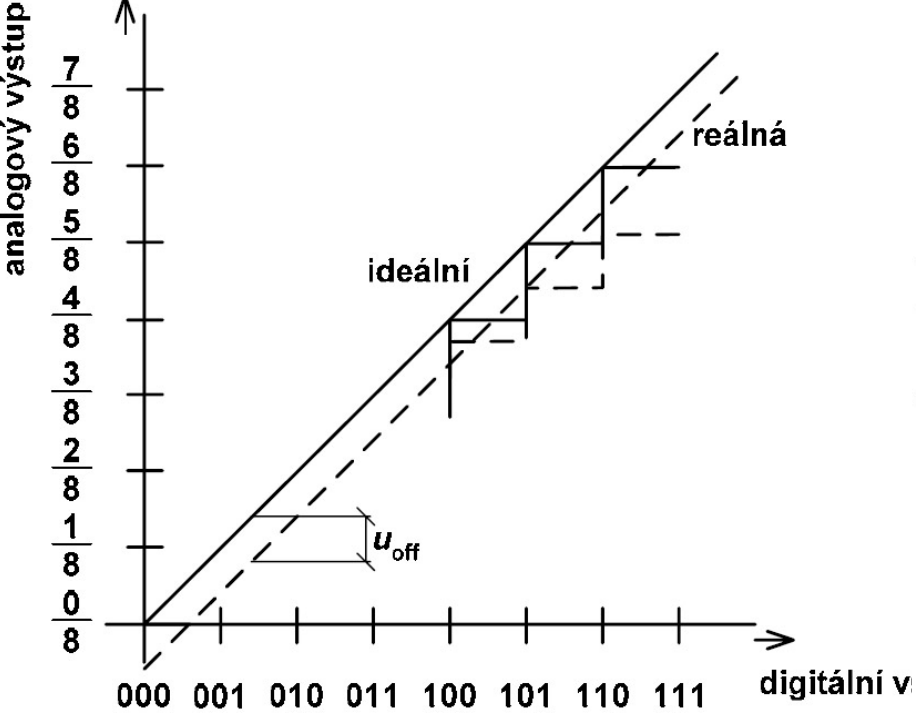
Kvantizační chybu můžeme vnímat též jako kvantizační šum. Jeho velikost je určující pro **dynamický rozsah** převodníku.

Relativní velikost digitálního, resp. analogového kroku:

$$X_{LSB} = \frac{r_{in}}{2^N - 1} \quad \Delta = \frac{r_{out}}{2^N - 1}$$

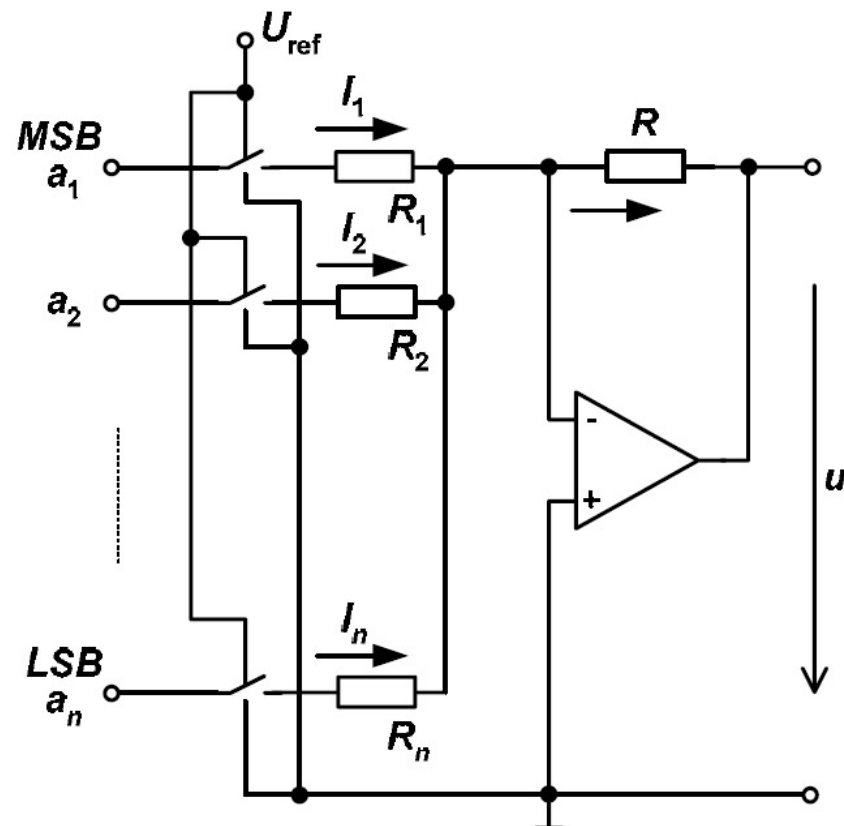
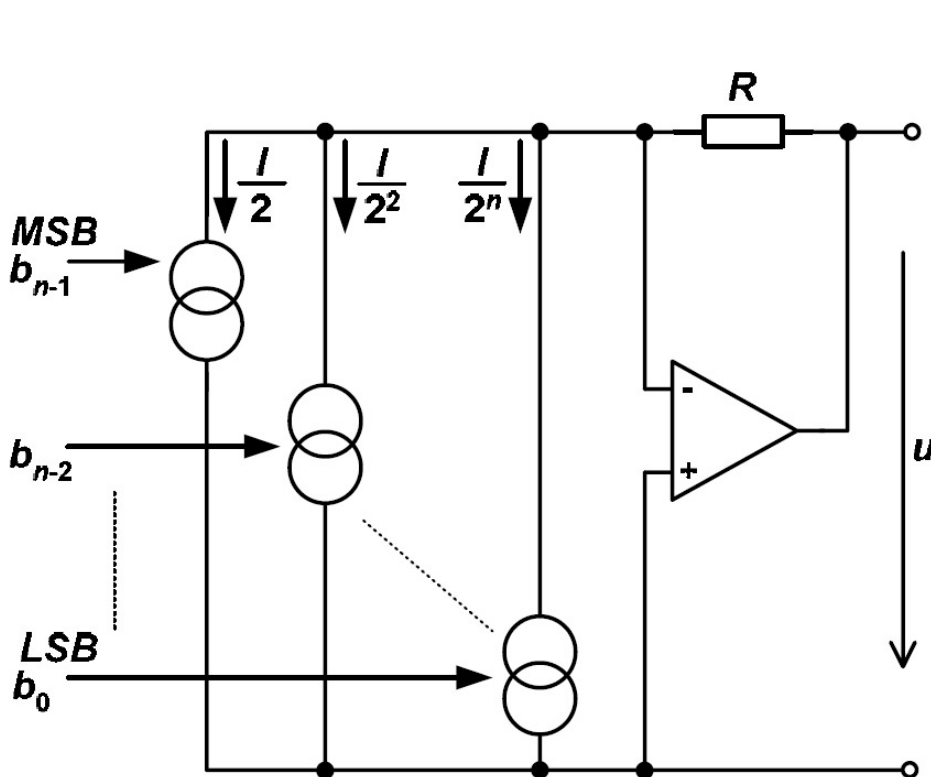
vyjádřenou v %, promile, nebo ppm určuje dynamiku převodníku. Je zvykem ji uvádět též počtem úrovní, který je roven $2^N - 1$, nebo prostě přímo počtem bitů převodníku, např. 8, 12, 16, 24.

Další chyby A/D a D/A převodníků



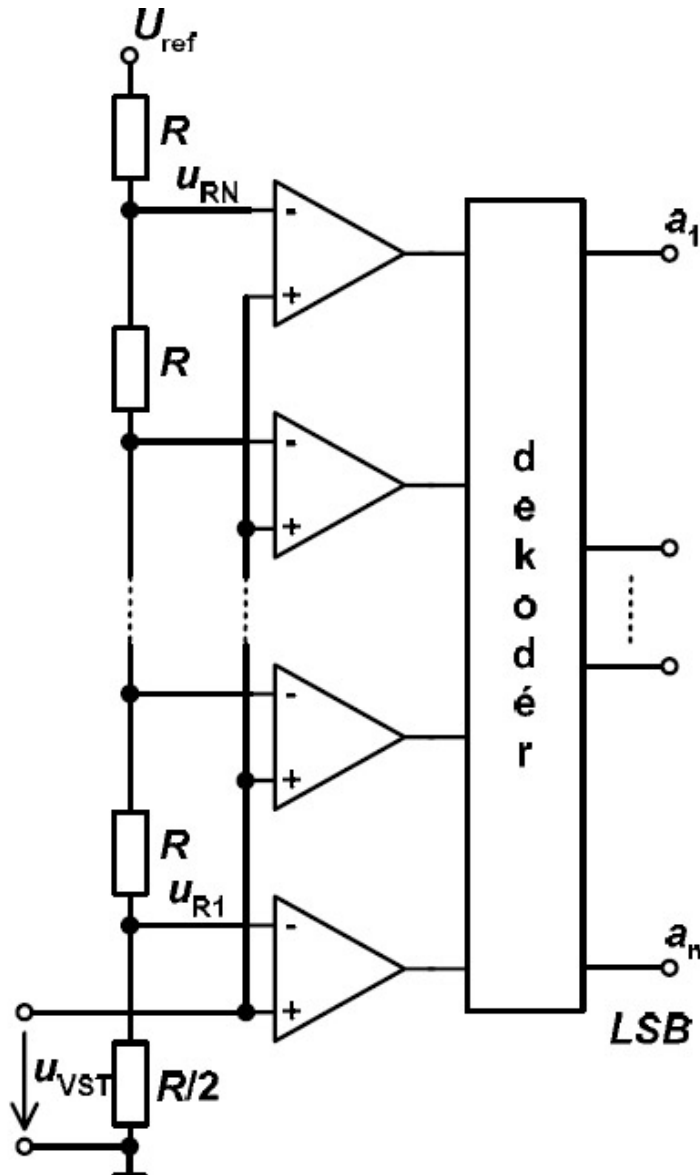
Reálné A/D a D/A převodníky jsou zatíženy chybami nuly (aditivními chybami), chybami zisku (multiplikativními chybami) a chybami linearitu, obdobně, jako jiné obvody, zesilovače, ap.

Základní princip D/A převodu



Převod čísla na napětí si můžeme představit jako sadu proudových zdrojů proudu o hodnotách: 1 LSB, 2 LSB, 4 LSB, ... 2^n LSB, jejichž příslušný počet je zapnut. Proudů se sčítají v sumačním operačním zesilovači a převádějí na napětí. V praxi se jedná o kaskádu odporů napájených z referenčního stabilizovaného zdroje napětí a spínaných číslicově řízenými spínači.

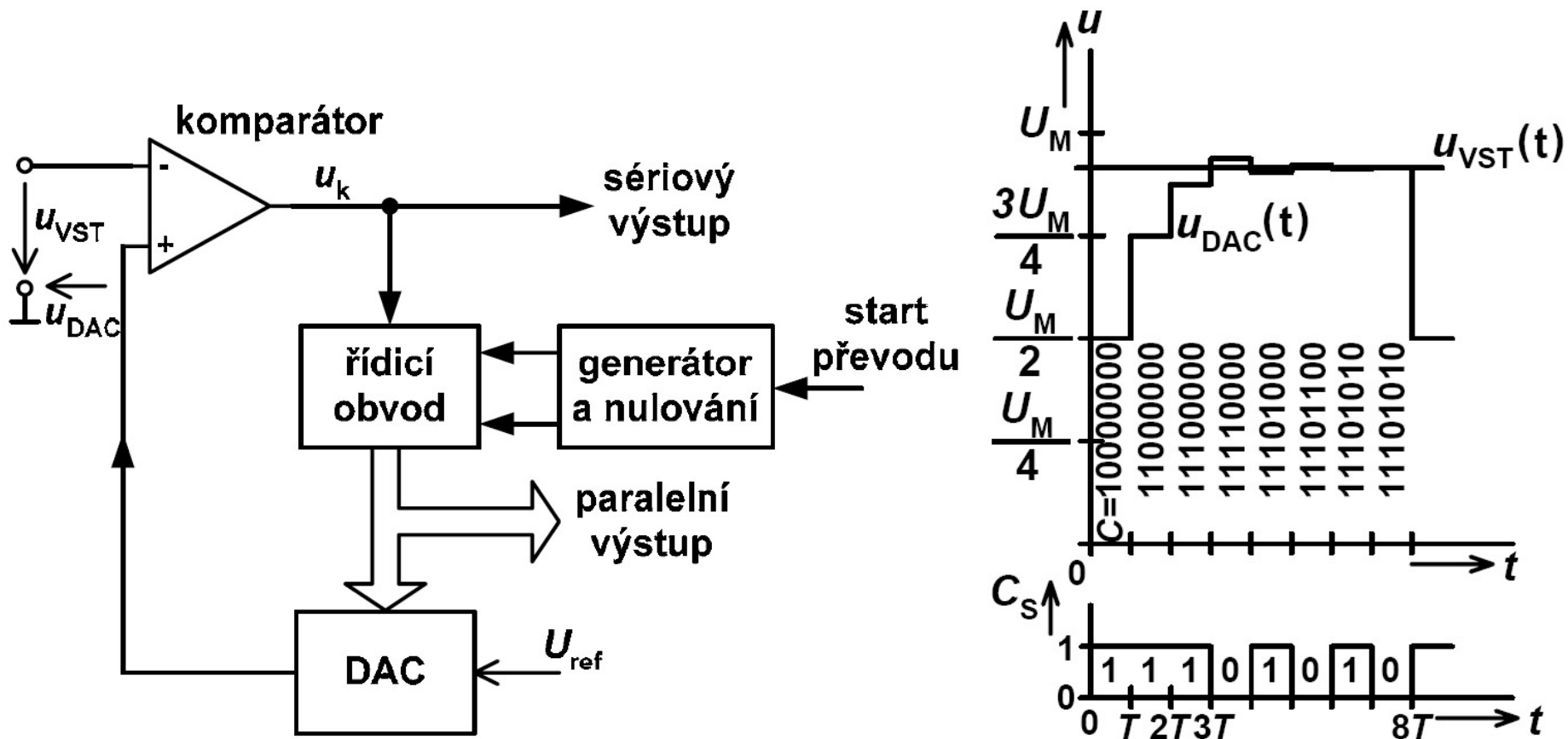
Paralelní A/D převodník



Ekvivalentem tomu je paralelní A/D převodník. Převádí napětí tak, že je kaskáda komparátorů porovná s napětími na jednotlivých uzlech kaskády odporového děliče odstupňovaných po 1 LSB. Komparátorů a odporů musí být tolik, kolik je úrovní, tedy 2^N .

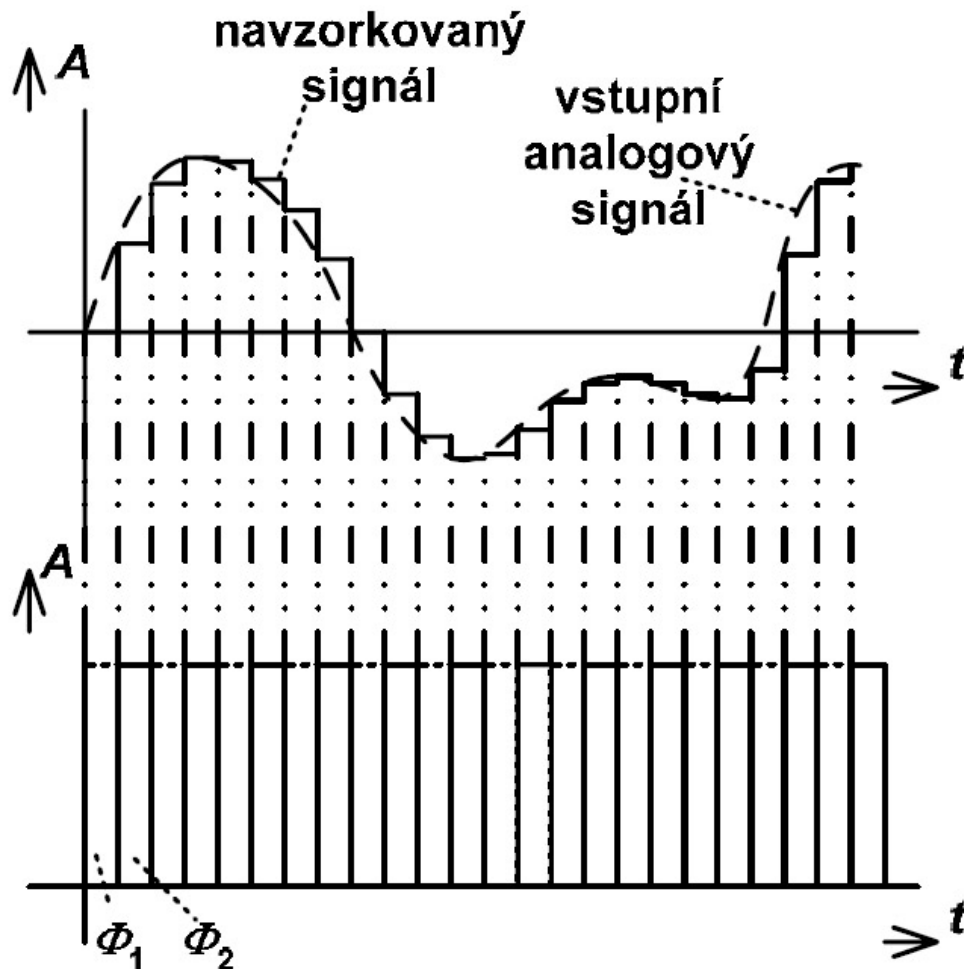
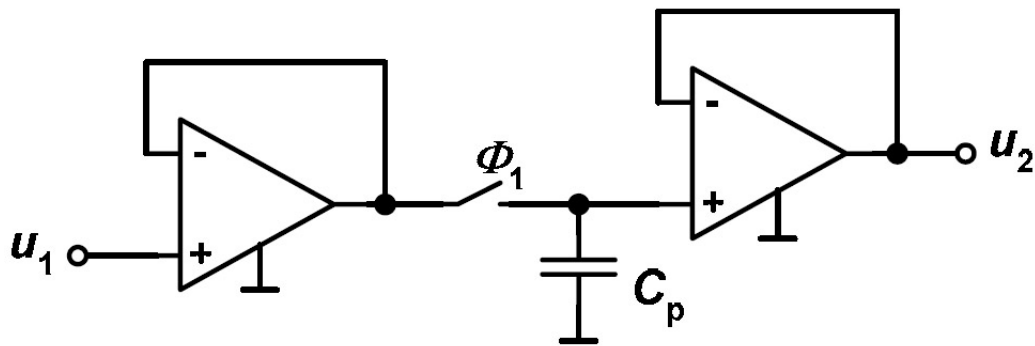
Tyto převodníky se používají pro menší rozlišení, ale jsou velmi rychlé.

A/D převodník s postupnou aproximací



Nejčastější jsou tzv. převodníky s postupnou aproximací. Používají D/A převod ve zpětné vazbě, výstupní napětí D/A převodníku porovnává komparátor s vstupním napětím. Ke správné hodnotě obvykle konvergují metodou půlení intervalu a převod trvá několik komparačních kroků. Jsou pomalejší, ale přesnější.

Vzorkovače



A/D převodníky potřebují po dobu převodu udržet napětí na vstupu konstantní. To platí zvláště pro převodníky s postupnou aproximací. To řeší vzorkovače (zesilovače Sample-and-hold). Je to vlastně analogová paměť. Přepínač Φ_1 přepíná mezi režimem sledování a režimem pamatování. Bývají obvykle přímo součástí převodníků.

Praktické tipy pro digitalizaci v laboratoři

- Potřebujeme-li co nejrychlejší vzorkování a nepotřebujeme-li velké rozlišení (oboje stejně nelze), řešení je použít digitální osciloskop. Má typicky 8 bitů, kvalitnější typy mohou vzorkovat až 5 GS/s, navzorkovaný signál lze převést off-line do počítače po sběrnici, nebo na paměťovém médiu.
- Potřebujeme-li středně rychlé vzorkování (do cca 1 MS/s) se středně velkým rozlišením (typ. 16 bitů) a třeba i více kanálů a on-line měření, je vhodné použít AD kartu do počítače a ovládat ji vhodným software, třeba LabView. Posloužit může i zvuková karta, která má 2 x 16 bitů, 44 kS/s.
- Potřebujeme-li velmi přesné a stačí-li pomalé měření, je vhodné použít digitální voltmetr, nebo multimetr a připojit jej po vhodné sběrnici s počítačem. Kvalitní multimetry mají přesnost až 10^{-5} , rychlost měření je malá, typ. 1 S/s, i méně.
- S/s je vzorek (Sample) za sekundu, určuje rychlost vzorkování.