

Fakulta biomedicínského inženýrství

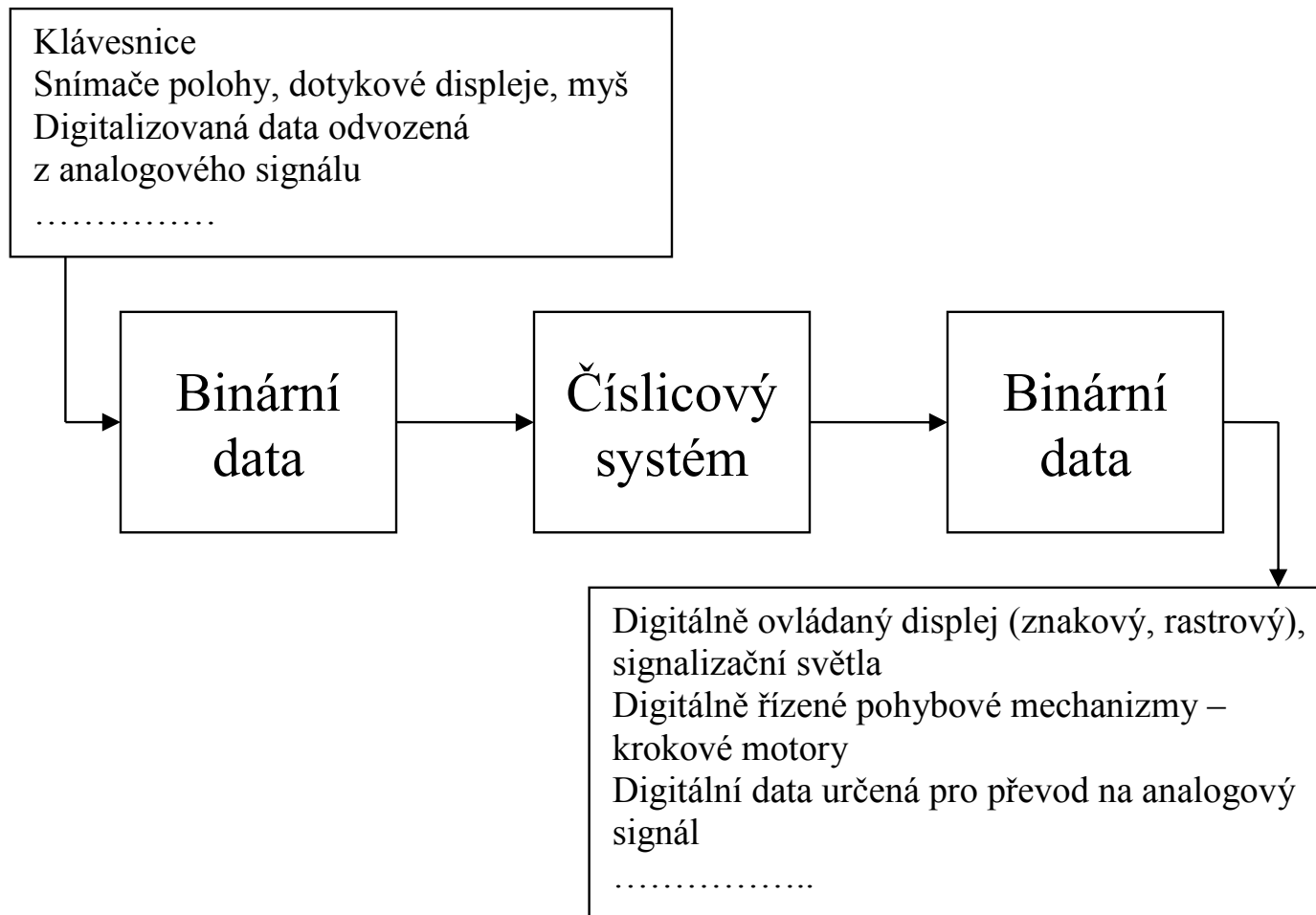
Elektronické obvody

2019

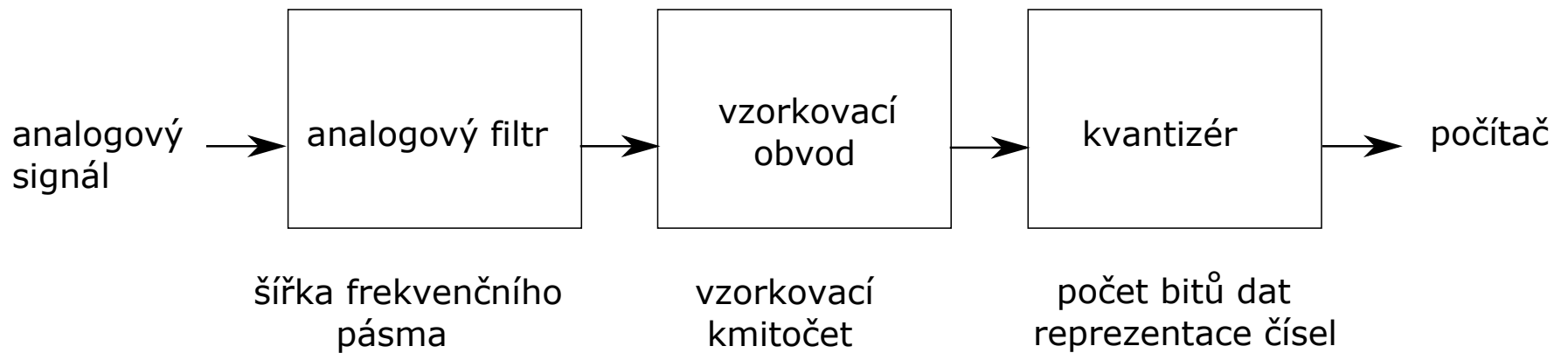
prof. Ing. Jan Uhlíř, CSc.

## 5. Obvody pro číslicové zpracování signálů

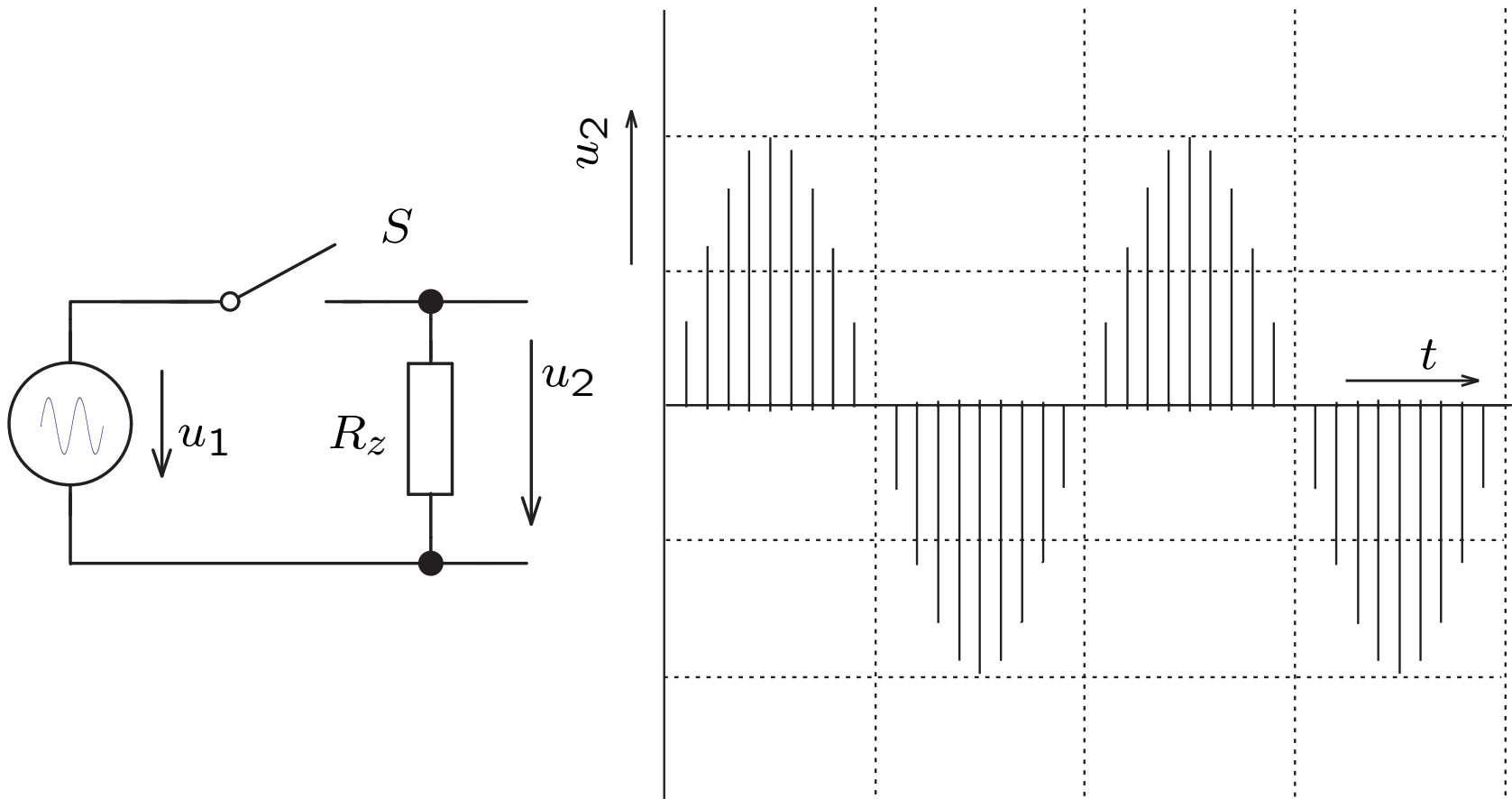
## Číslicový systém – počítač v reálném prostředí



Bloky pro zpracování analogového signálu na vstupu počítače –  
odvození dat – základní údaje



## Vzorkování signálu

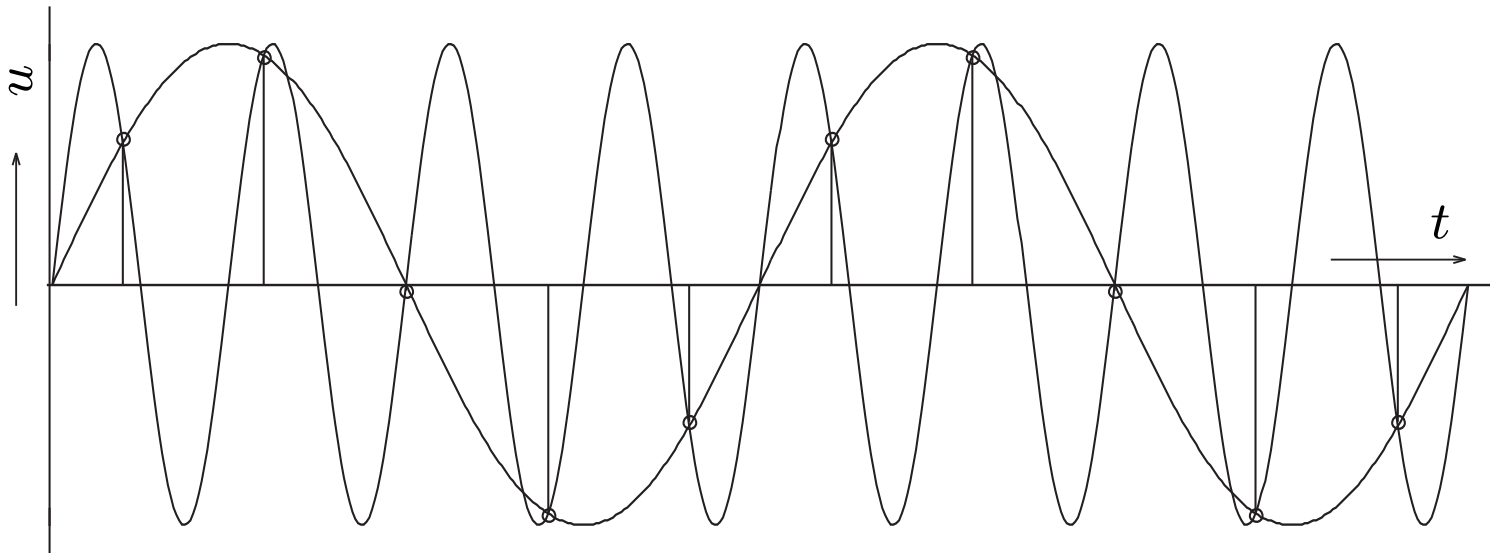


Analogový signál musí být jednoznačně reprezentován svými vzorky  
– musí být splněny podmínky jeho rekonstrukce ze vzorků

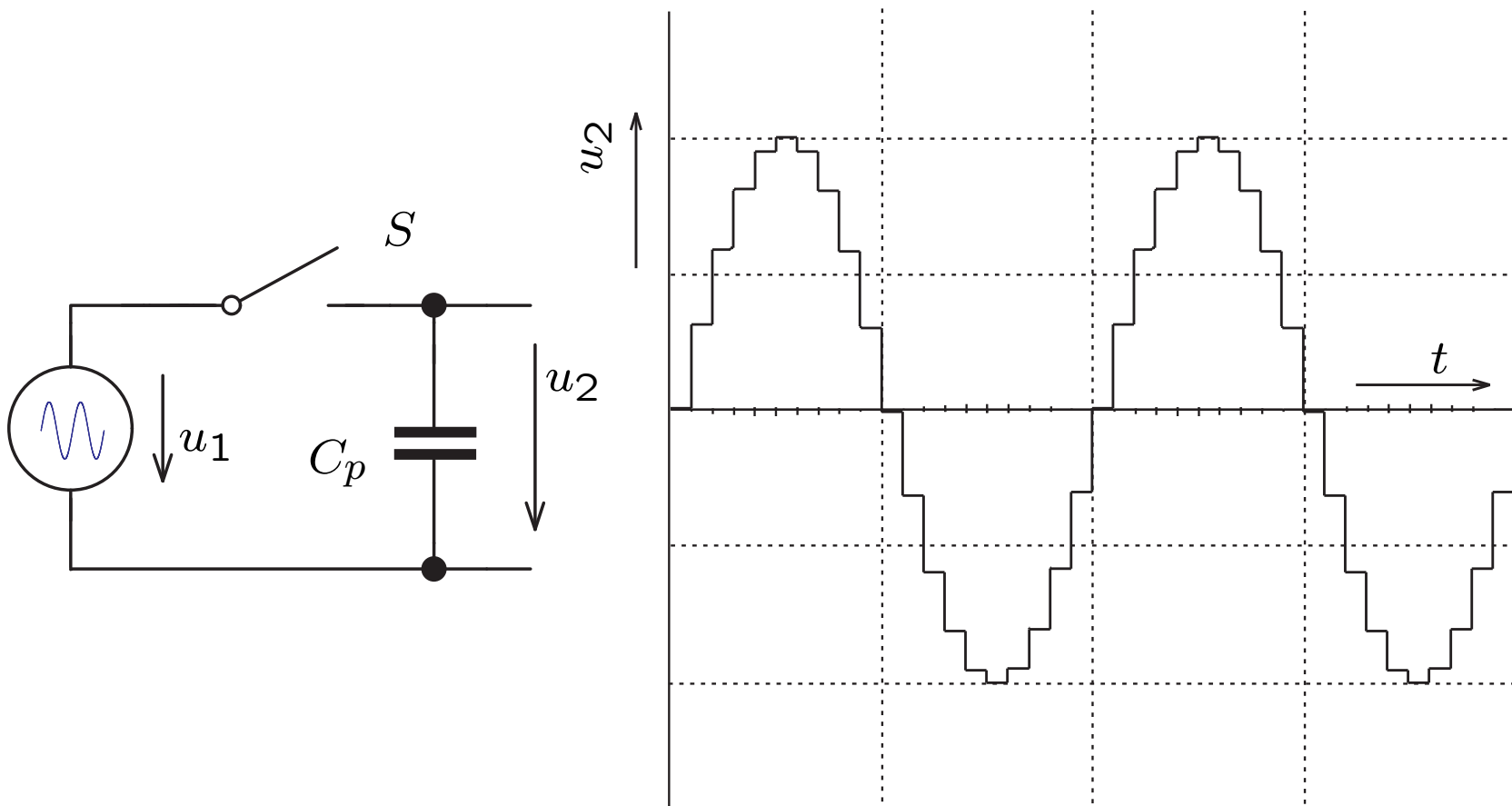
Vzorkovací teorém předepisuje maximální šířku frekvenčního pásma pro spektrální složky analogového signálu.

– Proto musí být zařazen analogový filtr na vstupu systému

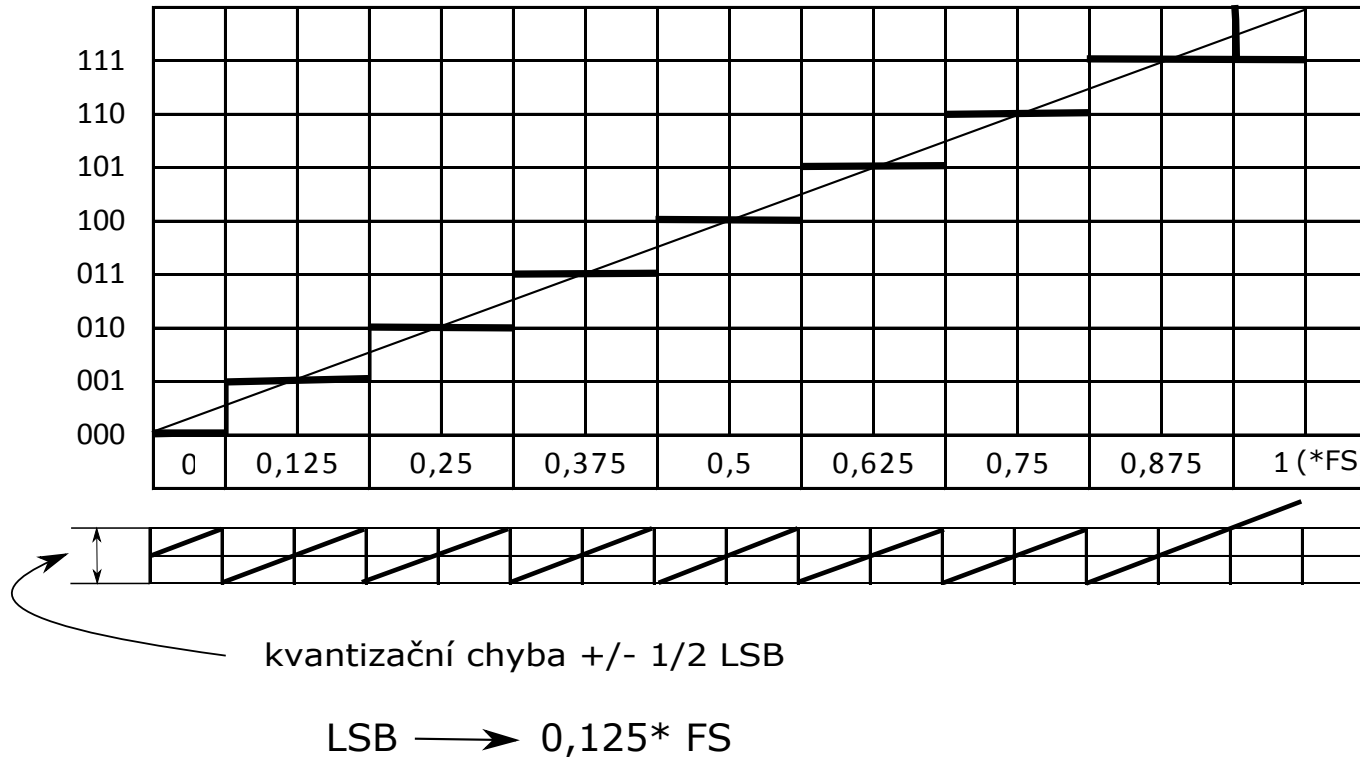
$$f_s > 2f_{sigmax} \quad \text{resp.} \quad f_s > 2\Delta f_{sig}$$



Sample & Hold –  
obvod, který může zajistit nezbytný čas pro činnost kvantizéru



# Kvantizace a kvantizační chyba – měření vzorků s hodnotami reprezentovanými omezeným počtem čísel (zaokrouhlování)



FS (Full Scale) je napěťový rozsah převodníku  
(rozlišuje  $FS/2^N$  napěťových úrovní od nuly, když  $N$  je počet bitů reprezentujících analogovou hodnotu)

LSB je bit s nejnižší binární váhou (MSB ..... LSB)



## Binární čísla – výstup kvantizéru

celá nezáporná čísla (INT),

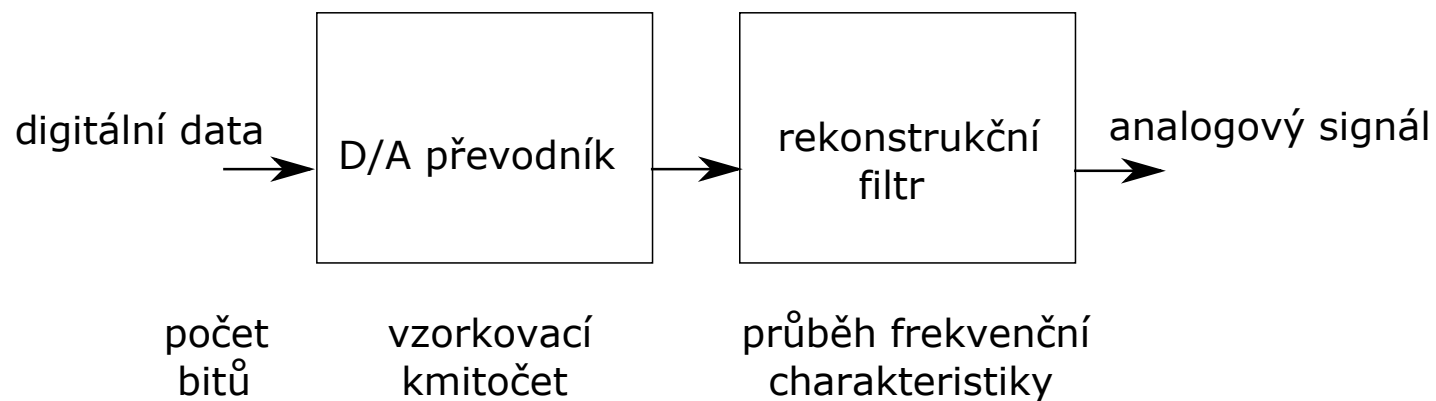
celá čísla se znaménkovým bitem (SIGN),

celá čísla v „posunutém“ kódu (OFF)

v kódu dvojkových doplňků (2's)

| BIN  | INT | SIGN | OFF | 2's |
|------|-----|------|-----|-----|
| 0000 | 0   | 0    | -8  | 0   |
| 0001 | 1   | 1    | -7  | 1   |
| 0010 | 2   | 2    | -6  | 2   |
| 0011 | 3   | 3    | -5  | 3   |
| 0100 | 4   | 4    | -4  | 4   |
| 0101 | 5   | 5    | -3  | 5   |
| 0110 | 6   | 6    | -2  | 6   |
| 0111 | 7   | 7    | -1  | 7   |
| 1000 | 8   | -0   | 0   | -8  |
| 1001 | 9   | -1   | 1   | -7  |
| 1010 | 10  | -2   | 2   | -6  |
| 1011 | 11  | -3   | 3   | -5  |
| 1100 | 12  | -4   | 4   | -4  |
| 1101 | 13  | -5   | 5   | -3  |
| 1110 | 14  | -6   | 6   | -2  |
| 1111 | 15  | -7   | 7   | -1  |

Bloky pro zpracování digitálního signálu na výstupu počítače –  
generování analogového signálu reprezentovaného binárními daty  
– základní údaje



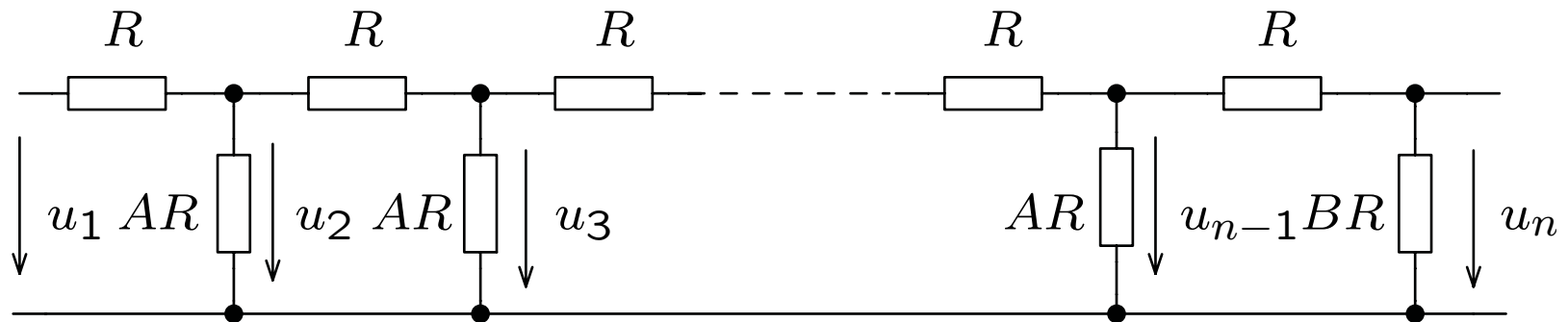
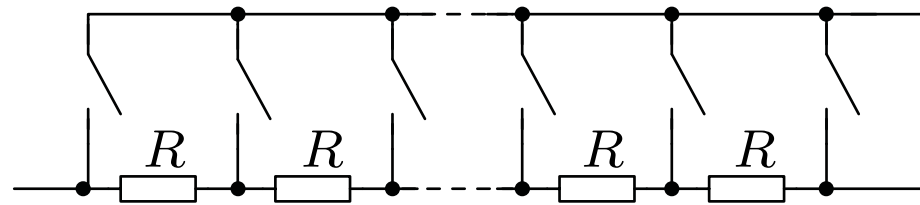
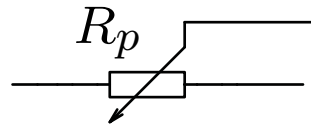
## Analogový výstup číslicového systému

D/A převodníky jsou zdroje stejnosměrného napětí nebo proudu o velikosti určené číslem na výstupu číslicového systému

D/A převodníky můžeme roztrždit do tří skupin, a to na převodníky

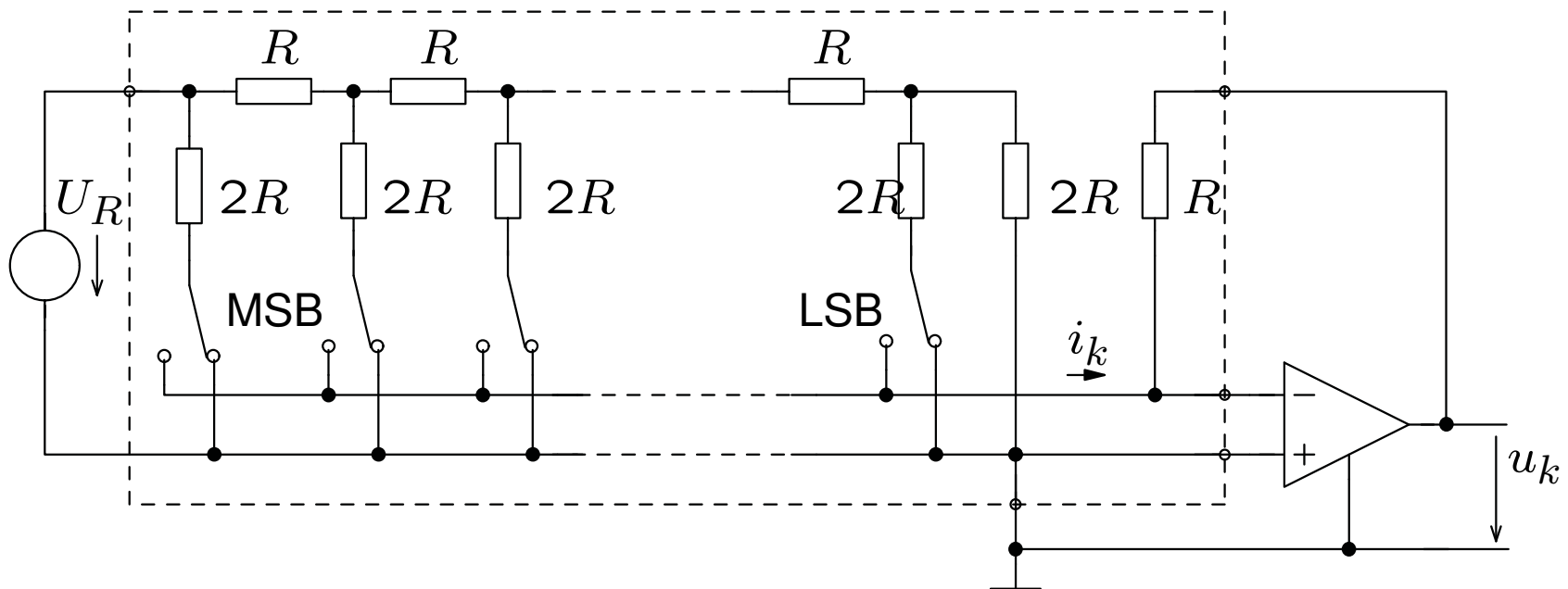
- s odporovým váhováním napětí nebo proudu
- s kapacitním váhováním náboje
- s převodem na modulované impulzy a následnou integrací.

# Digitální potenciometry a atenuátory



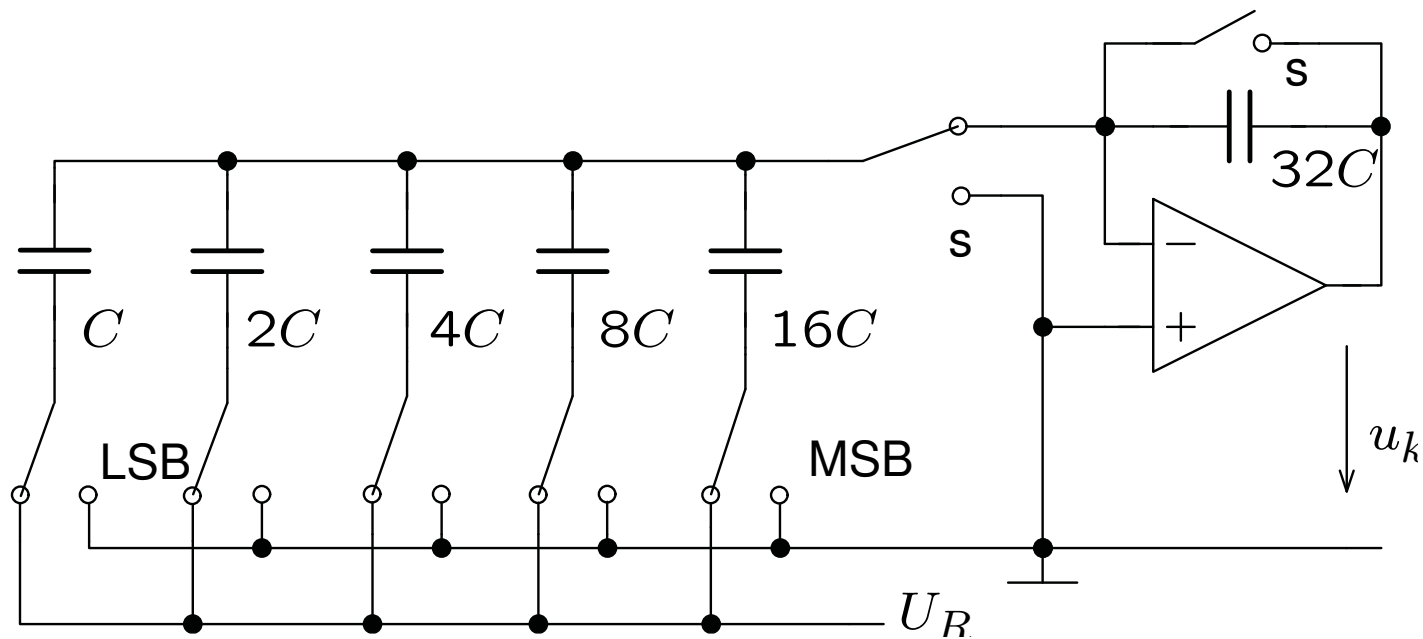
## D/A převodník s odporovým váhováním proudu

Nejpřesněji a nejspolehlivěji se sčítají proudy na virtuálním vstupním zkratu v operační síti s paralelní zápornou zpětnou vazbou realizovanou zpětnovazebním rezistorem.

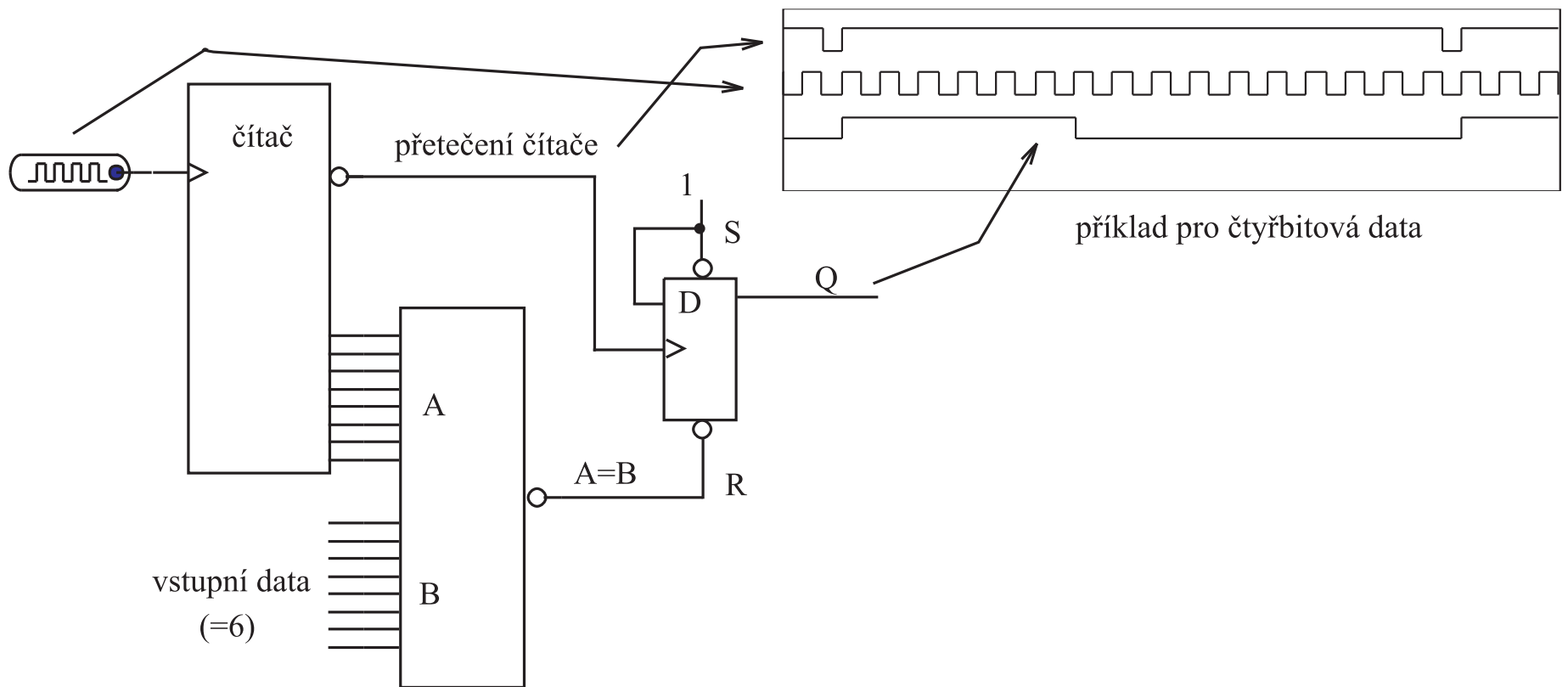


## D/A převodník s váhováním náboje

Téměř stejně spolehlivě lze sčítat náboje (tj. integrál časového průběhu proudů po ustálení nabíjecího přechodného děje) v operační síti, v níž je zpětnovazební rezistor nahrazen kapacitou.



# Převodníky s převodem na modulované impulzy – PWM (Pulse Width Modulator)



## Analogový vstup číslicového systému

A/D převodníky jsou obvody, které binárním číslem reprezentují změřenou velikost napětí nebo proudu

A/D převodníky můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na převodníky

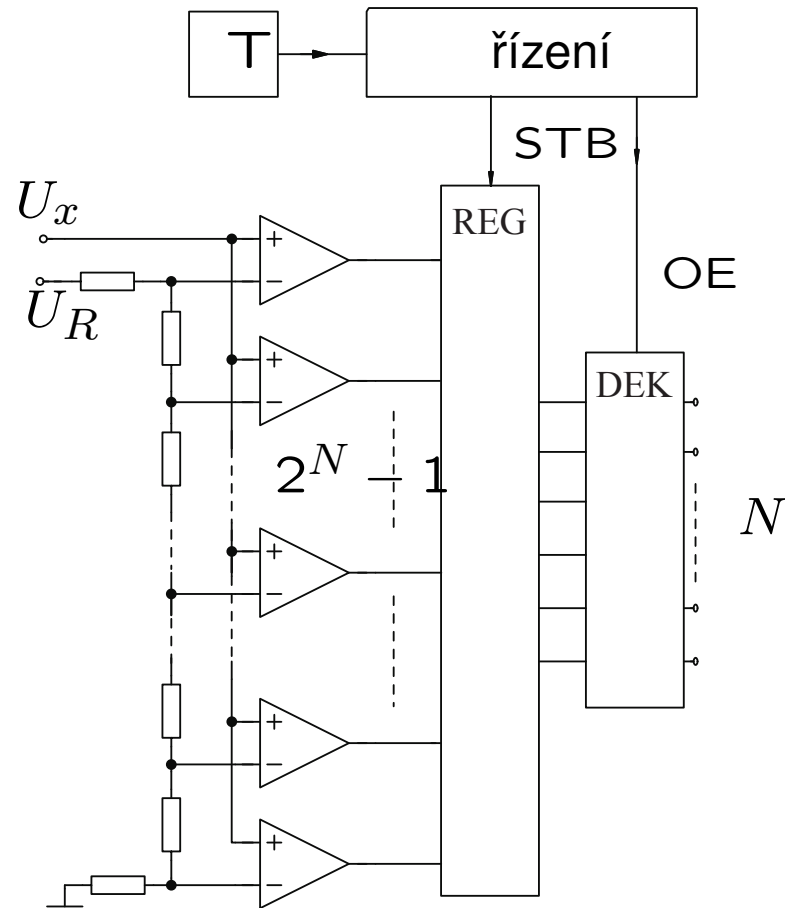
- aproximační
- integrační



## Hlavní parametry všech analogově-číslicových převodníků

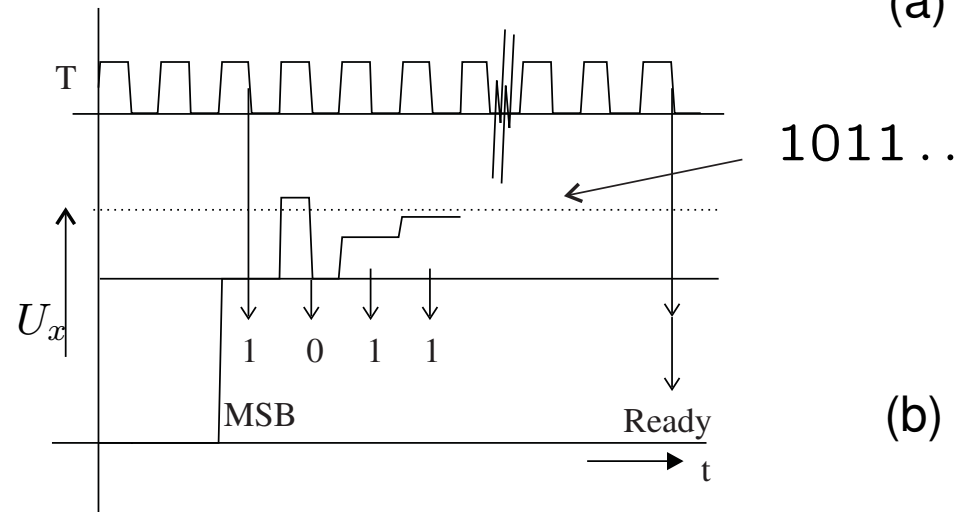
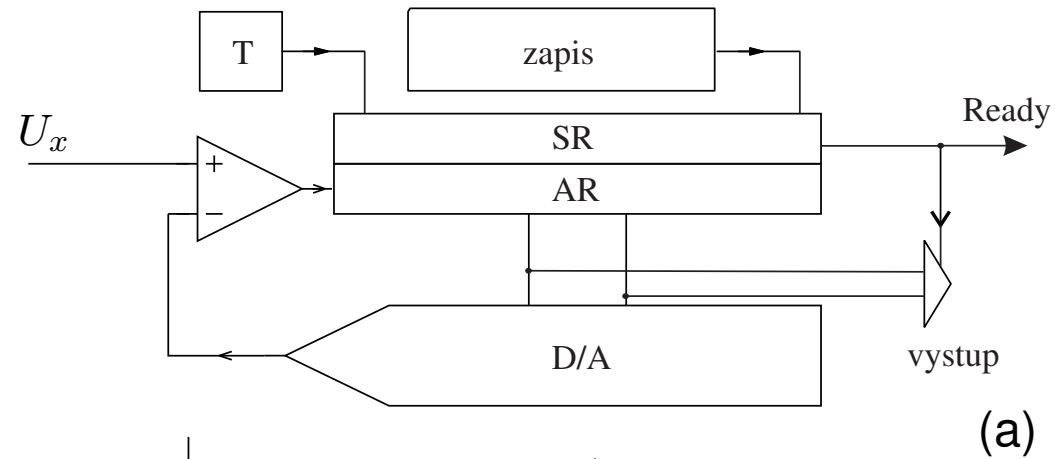
- rozlišovací schopnost v bitech (resp. počet kvantizačních úrovní, které nabízí binární kód na číslicovém výstupu),
- diferenciální a integrální nelinearita,
- plný rozsah vstupní veličiny (FS Full Scale – meze zpracovatelných napětí),
- doba převodu nebo vzorkovací rychlost a jejich přípustné meze.

# Paralelní převodník A/D



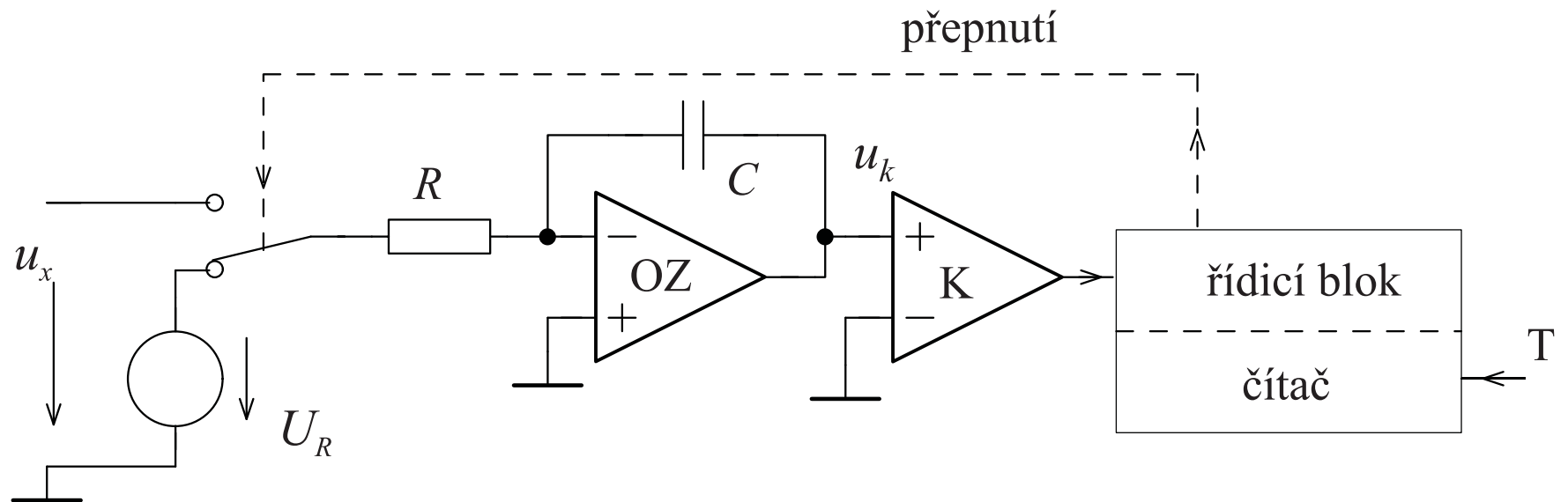
REG – registr výstupního stavu komparátorů, DEK – dekodér pro převod stavu komparátorů na binární kód

# Převodník s postupnou aproximací

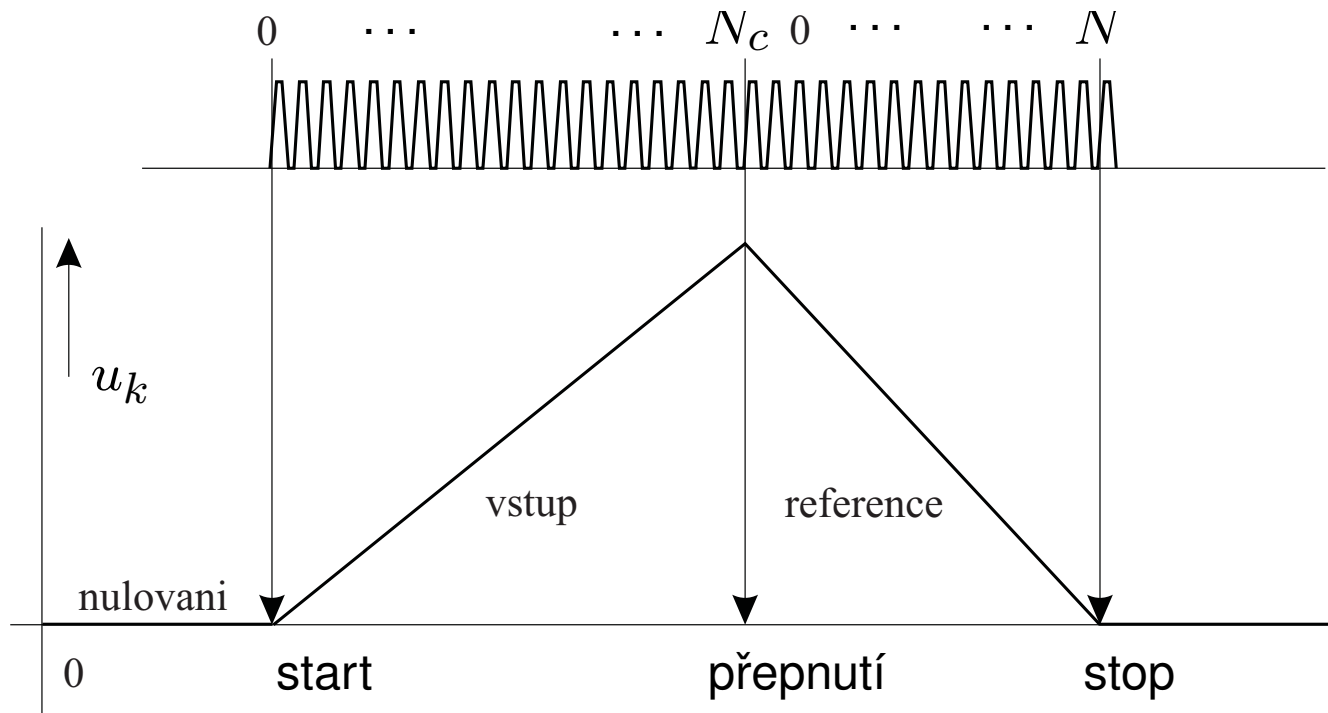


(a) Blokové schéma převodníku A/D s postupnou aproximací, (b) časování postupné aproximace

## Integrační převodník A/D s dvojí integrací

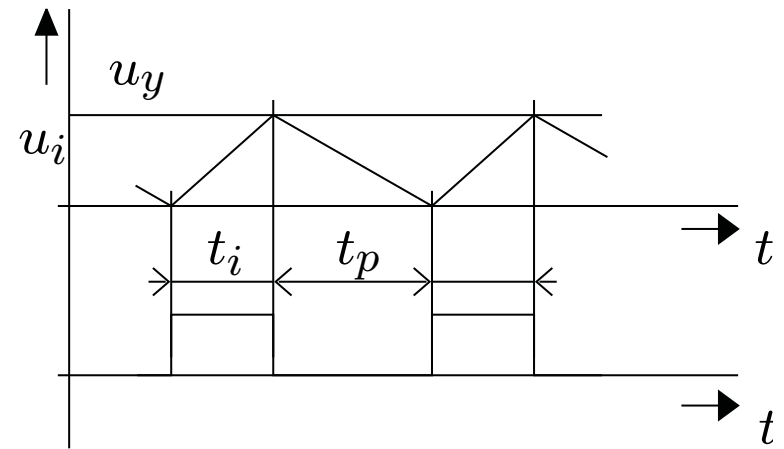
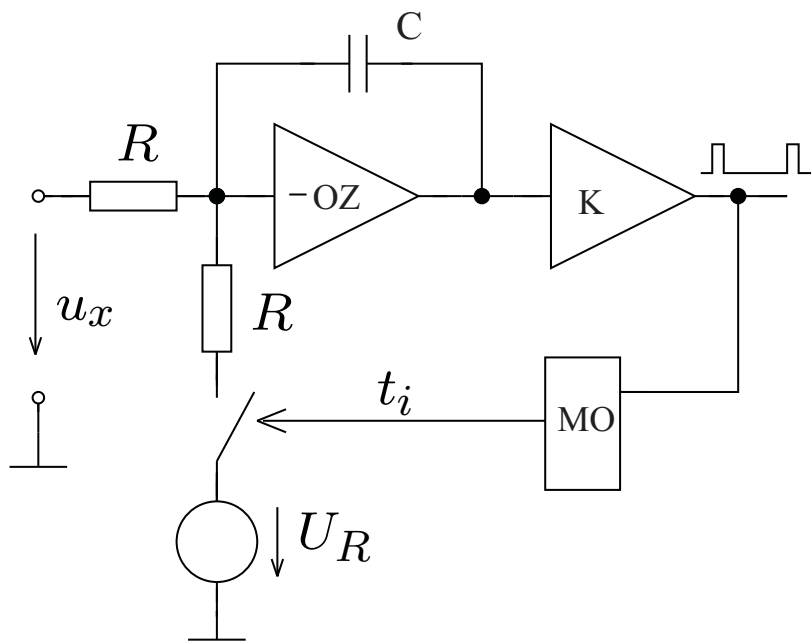


# Cyklus dvojí integrace



$$N = N_c \frac{u_x}{U_R}$$

## Převodník napětí-frekvence – VCO



Předpokládejme, že právě došlo k tomu, že monostabilní obvod odstartoval interval  $t_i$ , po který je sepnut spínač přivádějící na vstup sumačního integrátoru napětí  $U_R$ . Napětí  $u_i$  dosáhne za dobu  $t_i$  hodnoty

$$u_y = u_i(t_i) = -t_i \frac{u_x + U_R}{RC} > 0.$$

Po skončení intervalu  $t_i$  je na vstupu komparátoru kladné napětí  $u_y$ , které působením napětí  $u_x$  klesá. Nulové hodnoty dosáhne za čas  $t_p$ , pro který platí

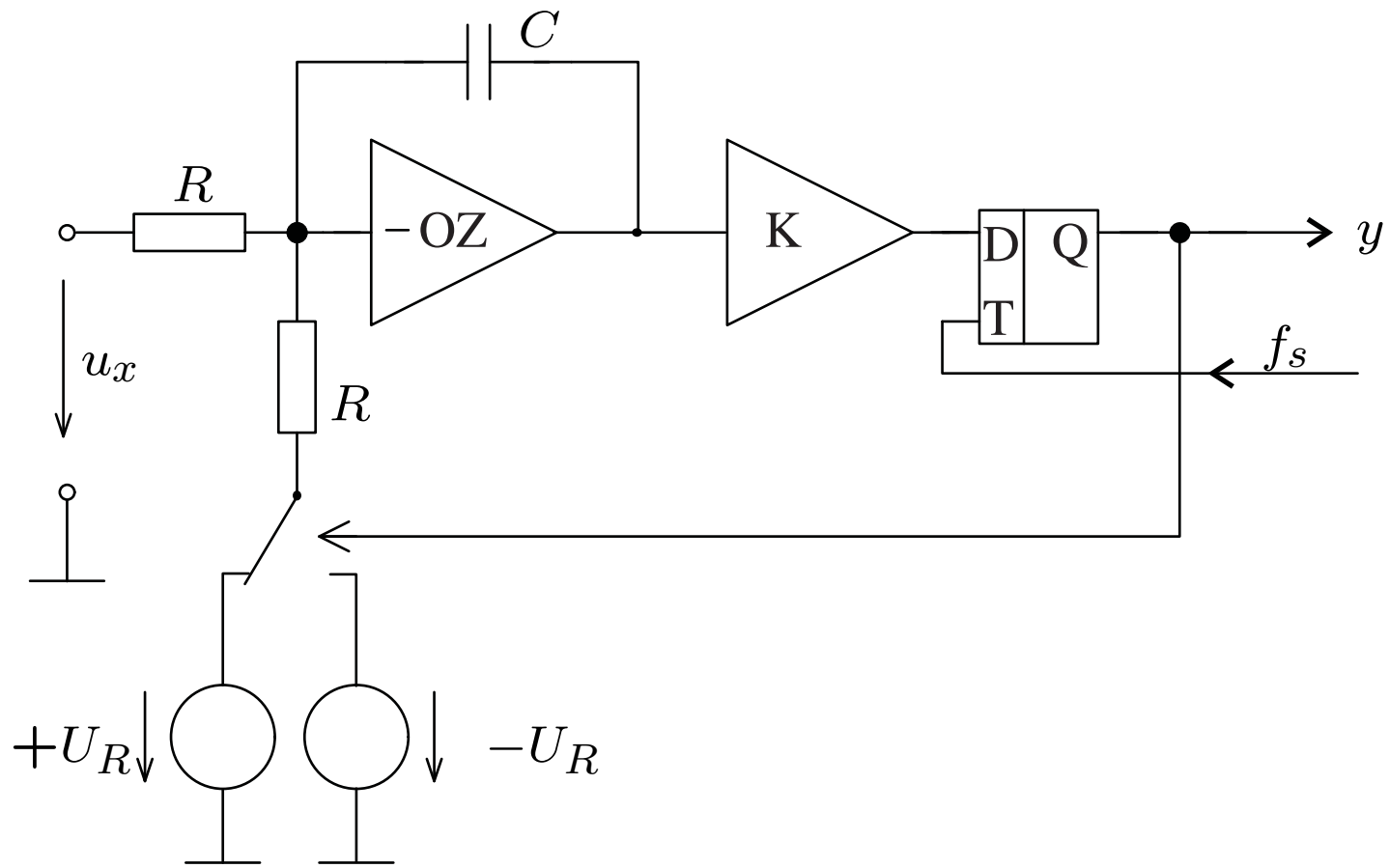
$$t_p = RC \frac{u_y}{u_x}.$$

Z uvedených dvou vztahů můžeme odvodit celkovou periodu  $t_i + t_p$  a z ní pak frekvenci impulzů

$$f = \frac{1}{t_i + t_p} = -\frac{u_x}{U_R t_i} = u_x \frac{1}{t_i |U_R|}.$$

Hodnota  $1/t_i |U_R|$  je konstanta

# Sigma-Delta ( $\Sigma \Delta$ ) modulátor





Přepínač přivádí na sčítací vstup integrátoru střídavě kladné a záporné napětí  $U_R$ .

Komparátor vyhodnocuje polaritu výstupu integrátoru a nastavuje přepínač tak, aby integrátor polaritu měnil tak, aby výstupní napětí směřovalo k nule. Zabezpečuje tedy, aby se střední náboj v integračním kondenzátoru neustále udržoval blízky k nule, a to vždy společným působením měřeného napětí a jednoho z referenčních napětí. Z hlediska dlouhodobé nábojové bilance můžeme náboj považovat za nulový. Označme si, že po dobu danou  $k_1$  násobkem periody  $1/f_s$  se komparátor nabíjí proudem jedné polarity a po dobu danou  $k_2$  násobkem periody  $1/f_s$  se nabíjí opačně. Platí tedy

$$k_1 \frac{u_x + U_R}{f_s RC} + k_2 \frac{u_x - U_R}{f_s RC} = 0$$

Odtud můžeme odvodit

$$u_x = U_R \frac{k_2 - k_1}{k_2 + k_1}$$

Je zřejmé, že např. pro kladné napětí bude vždy  $k_2 > k_1$ , třeba pro  $u_x = +0,1U_R$  bude  $k_2 = 11$  a  $k_1 = 9$  a pro  $u_x = -0,1U_R$  bude  $k_2 = 9$  a  $k_1 = 11$ . Poměr vyjadřující hodnotu napětí  $u_x$  jako zlomek  $U_R$  lze vyhodnotit ze vztahu mezi frekvencí impulzů na výstupu součinnového hradla a frekvencí  $f_s$ . Přitom je velmi závažné, že přesnost, s jakou je vstupní napětí změřeno, může být výrazně zvyšována prodloužením doby vyhodnocování hodnot  $k_1$  a  $k_2$ .