

# Miért digitalizálunk?



2

## Analóg jel

## Digitális jel

### ❑ Átvitel

erősítés

erősítés,  
regenerálás,  
hibajavító kódolás

### ❑ Tárolás

mágneses, mechanikus

mágneses, optikai, félvezető  
hibajavító kódolás

### ❑ Jelfel- dolgozás

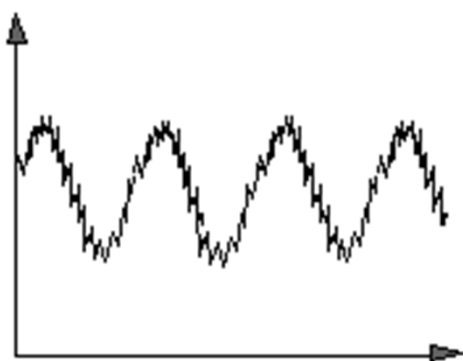
szűrés  
(egyedileg tervezett  
analóg áramkörök)

programozható algoritmusok:  
szűrés , FFT, tömörítés...

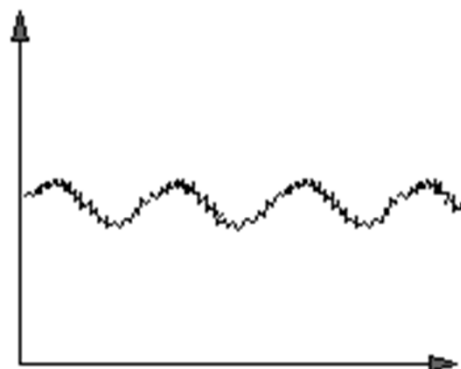
# Digitális lánc és a zaj



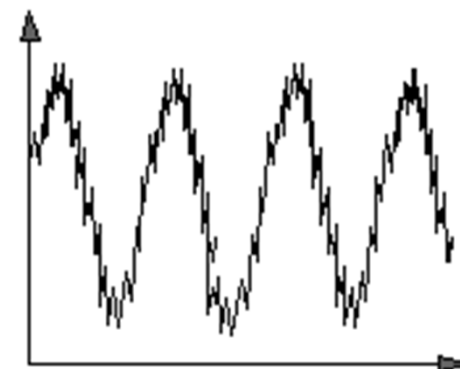
3



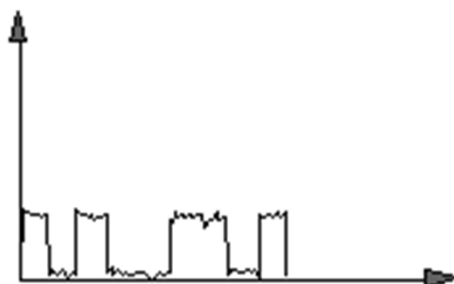
zajos analóg jel



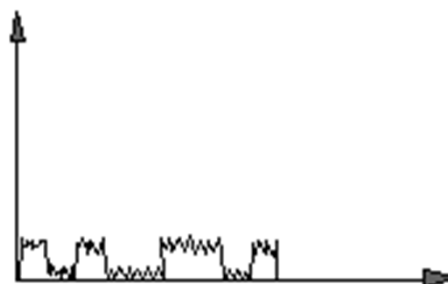
gyenge jel zajjal



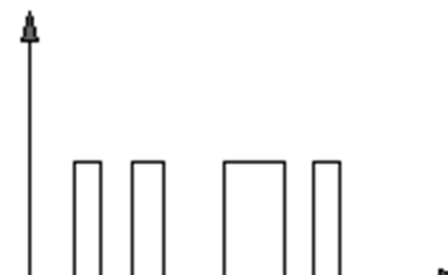
ha a zajos jelet erősítjük  
a zaj is erősödik



zajos digitális jel



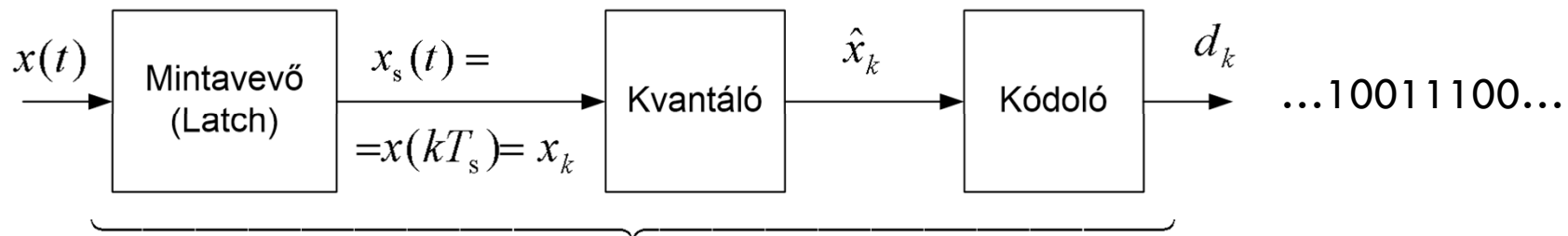
erősen zajos  
gyenge digitális jel



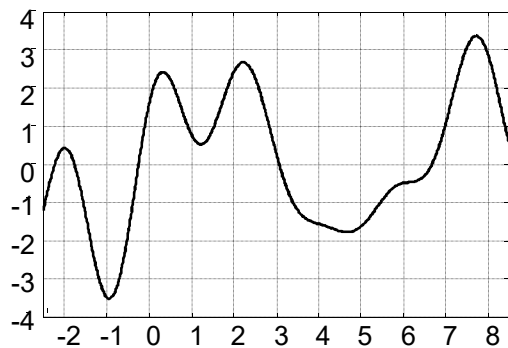
regenerálás után a zaj  
és torzítások eltűnnek

# Analóg digitális átalakítás

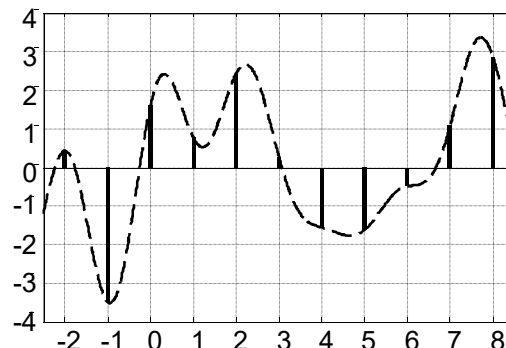
4



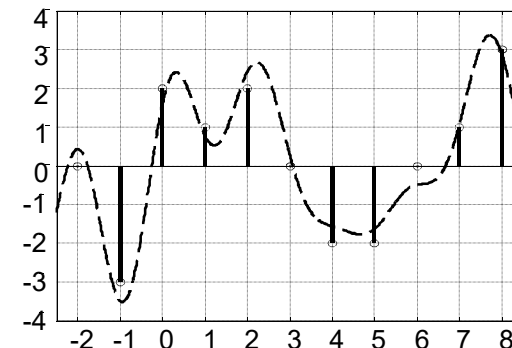
analog-digital (A/D) átalakító



Bemenő analóg jel  $x(t)$



Mintavett jel  $x_k$

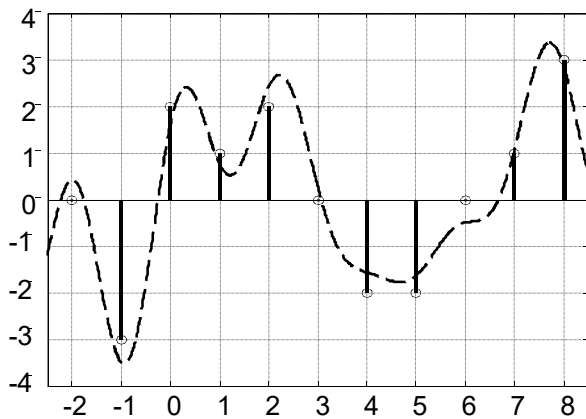
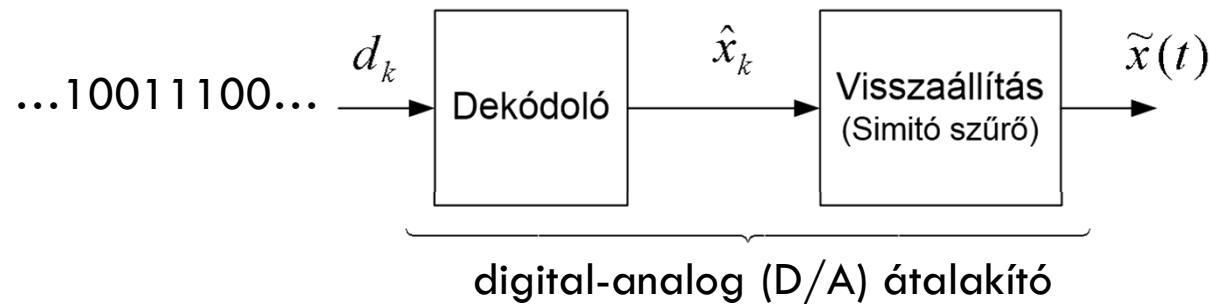


Kvantált mintasorozat  $\hat{x}_k$

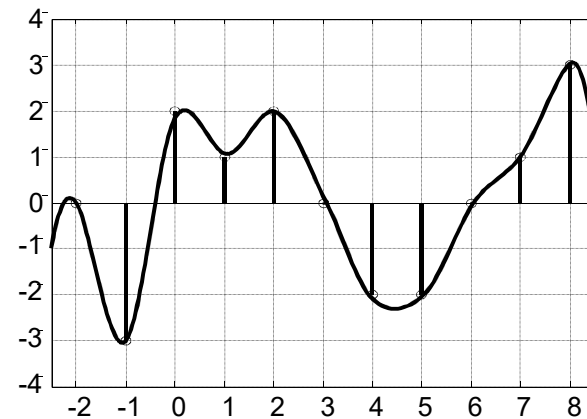
# Digitális jelek visszaállítása



5



Dekódolt kvantált impulzussorozat  $\hat{x}_k$

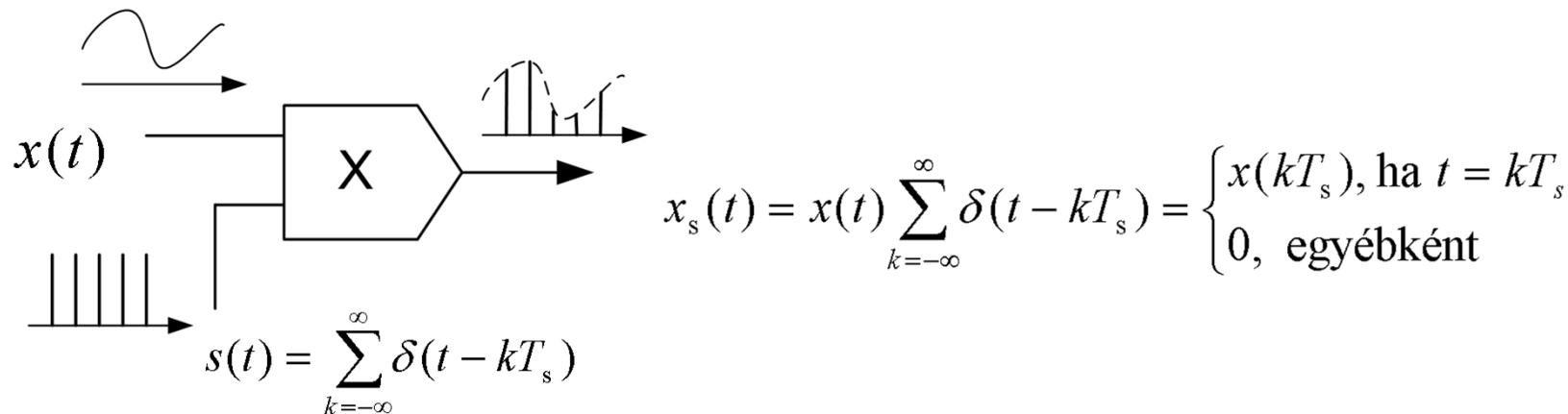


Visszaállított analóg jel  $\tilde{x}(t)$

# Mintavett jel időtartománybeli tulajdonságai



6



Az  $s(t)$  jel periodikus, így Fourier-sorba fejthető:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{T_s} e^{j2\pi k f_s t} = \frac{1}{T_s} + \frac{1}{T_s} \sum_{k=1}^{\infty} \underbrace{(e^{j2\pi k f_s t} + e^{-j2\pi k f_s t})}_{2 \cos(2\pi k f_s t)} = f_s \left[ 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \cos(2\pi k f_s t) \right] \text{ ahol } f_s = \frac{1}{T_s}$$

$$x_s(t) = x(t) s(t) = f_s \left[ x(t) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} x(t) \cos(2\pi k f_s t) \right]$$

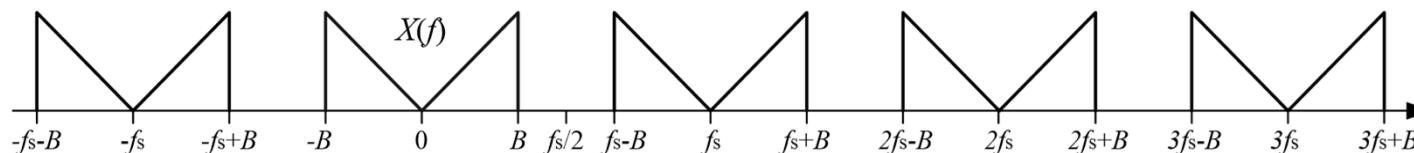
A mintavett jel tehát olyan, mintha az eredeti folytonos jellel  $kf_s$  frekvenciájú vivőket modulálnánk AM-DSB/SC szerint.

# Mintavett jel spektruma

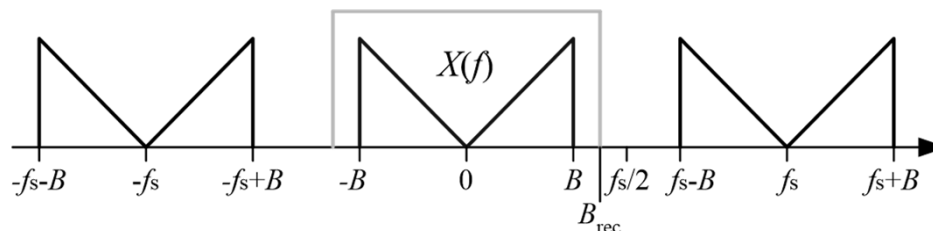
7

A mintavett jel spektrumát úgy kapjuk, hogy az eredeti jel spektrumát  $kf_s$  frekvenciákkal eltoljuk. Így a mintavételi frekvenciára periodikus spektrumhoz jutunk:

$$X_s(f) = f_s \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(f - kf_s)$$



Ha az eredeti jel sávhatárolt és  $f_s > 2B$ , az eltolt spektrumok nem lapolódnak egymásra és így az eredeti jel aluláteresztő szűrővel visszaállítható:



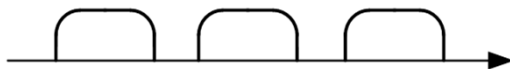
$$B \leq B_{\text{rec}} \leq f_s/2$$

# Mintavett és periodikus jelek összehasonlítása



8

jel	idő tartomány	frekvencia tartomány
periodikus	periodikus	fésűs (diszkrét spektrumvonalak)
mintavett	fésűs (impulzus sorozat)	periodikus
Dirac impulzus sorozat	fésűs és periodikus	fésűs és periodikus



periodikus jel



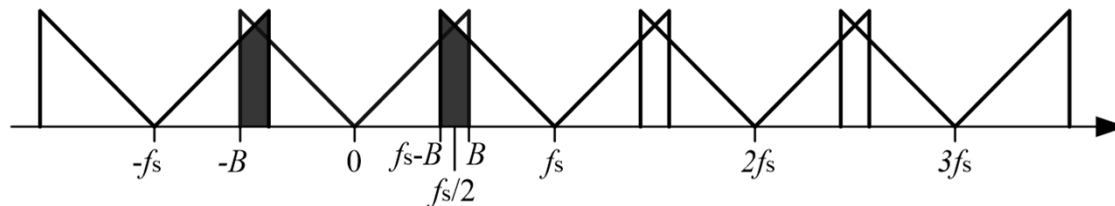
fésűs jel

# Spektrum átlapolódás (aliasing)



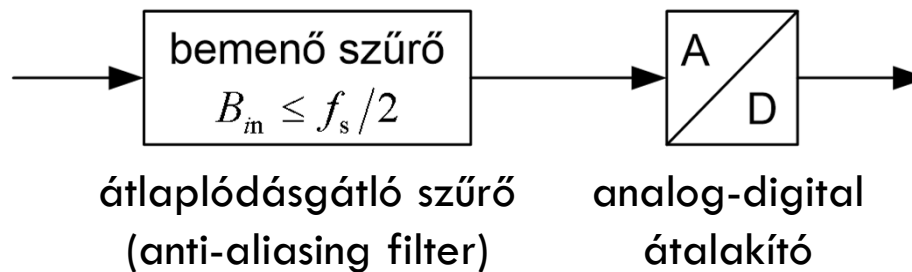
9

Ha a bemenő jel sávszélessége nagyobb mint  $f_s/2$ , spektrum átlapolódás (aliasing) lép fel és az eredeti jel NEM lesz visszaállítható:



$$B > f_s/2$$

A spektrum átlapolódás megakadályozására a mintavételi rendszerek bementén aluláteresztő szűrőt alkalmaznak:

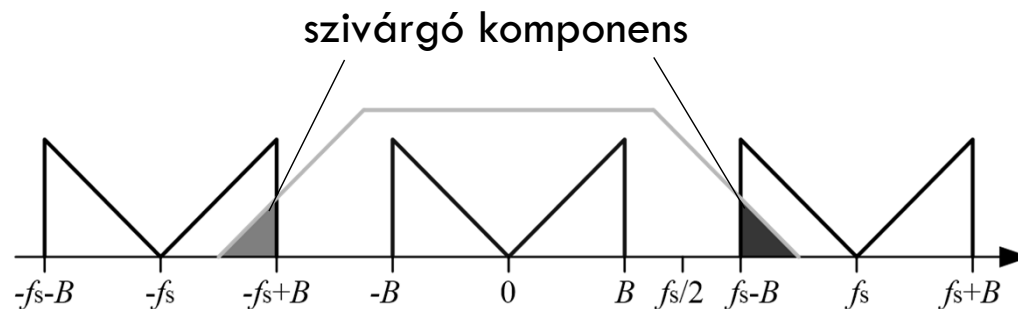




# Szivárgás (leaking)

10

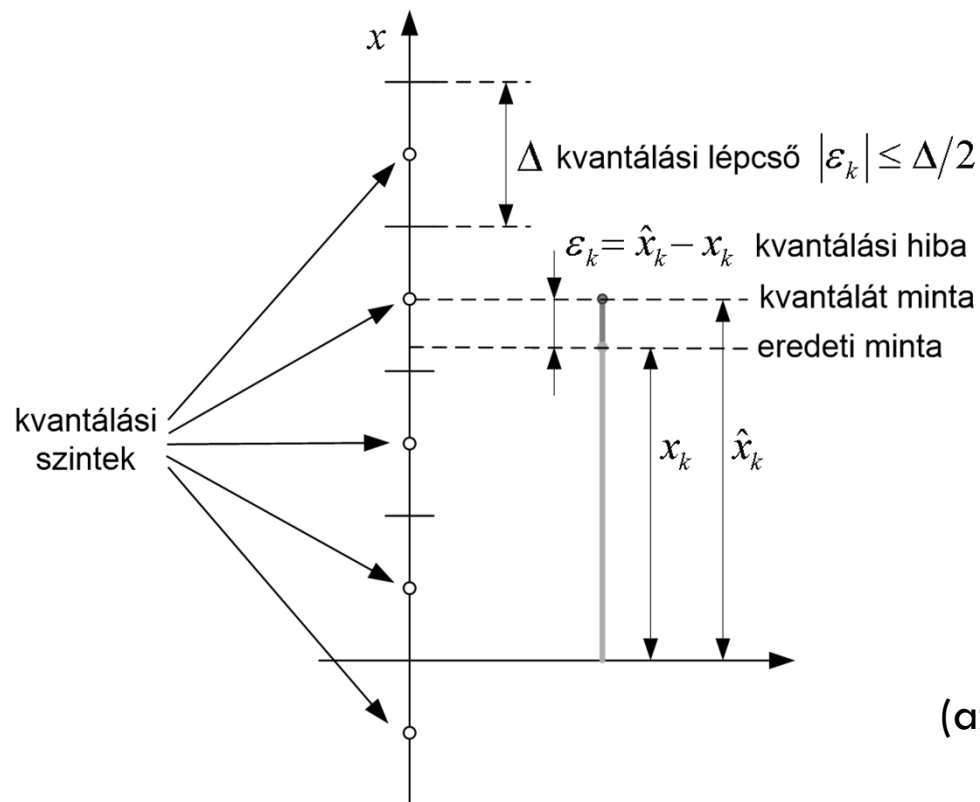
Ha a visszaállító szűrő zárótartománybeli ( $f > f_s/2$ ) csillapítása kicsi, vagy az átmeneti tartomány túl széles, magasabb frekvenciás tagokból jelkomponensek maradhatnak a visszaállított jelben. Ezt a jelenséget szivárgásnak nevezzük.



# Kvantálás és kódolás

11

Mivel a digitálisan csak diszkrét jelszintek ábrázolhatók, ezért az egyes mintákat a legközelebbi ábrázolható jelszintre kerekítjük. A kerekítési (kvantálási) hibák a visszaállításkor a jelhez adódó zajként jelentkeznek.



Ha a jel szintje túllépi a maximális vagy minimális kvantálási szintet csúcslevágás lép fel.

A kvantálási lépcső méretét a csúcslevágási szint ( $U_p$ ) és a kvantáló felbontása ( $n$ ) határozza meg:

$$\Delta = \frac{2U_p}{2^n}$$

(az  $n$ -bites kvantáló  $M=2^n$  szinttel rendelkezik)

# Digitális jelek előállítása

## Kvantálás és kódolás



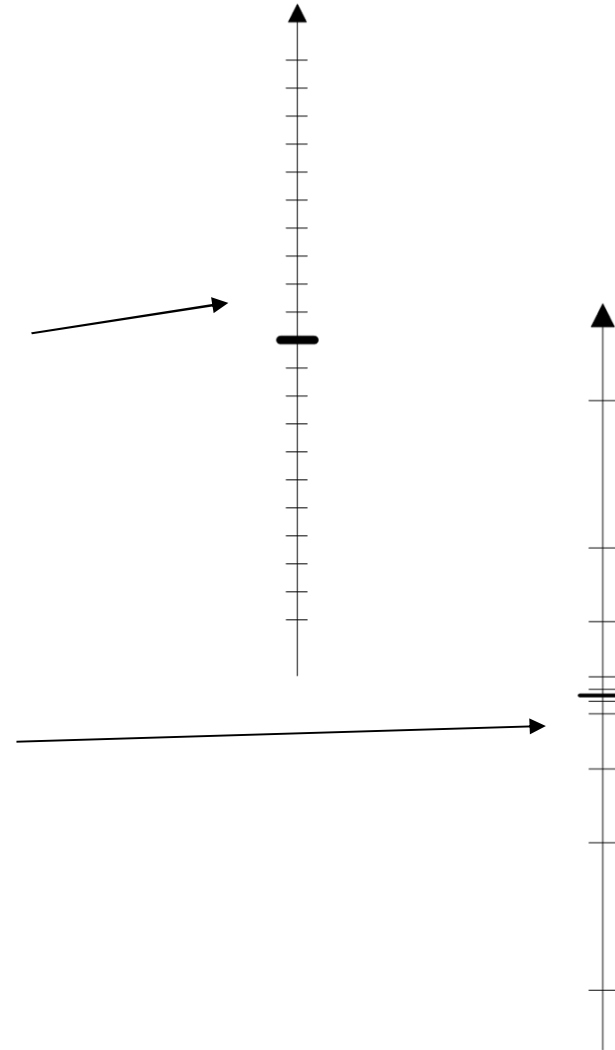
12

### □ Lineáris kvantálás

Ekkor az ábrázolási tartományt lineárisan osztjuk  $2^n$  részre

### □ Nemlineáris kvantálás

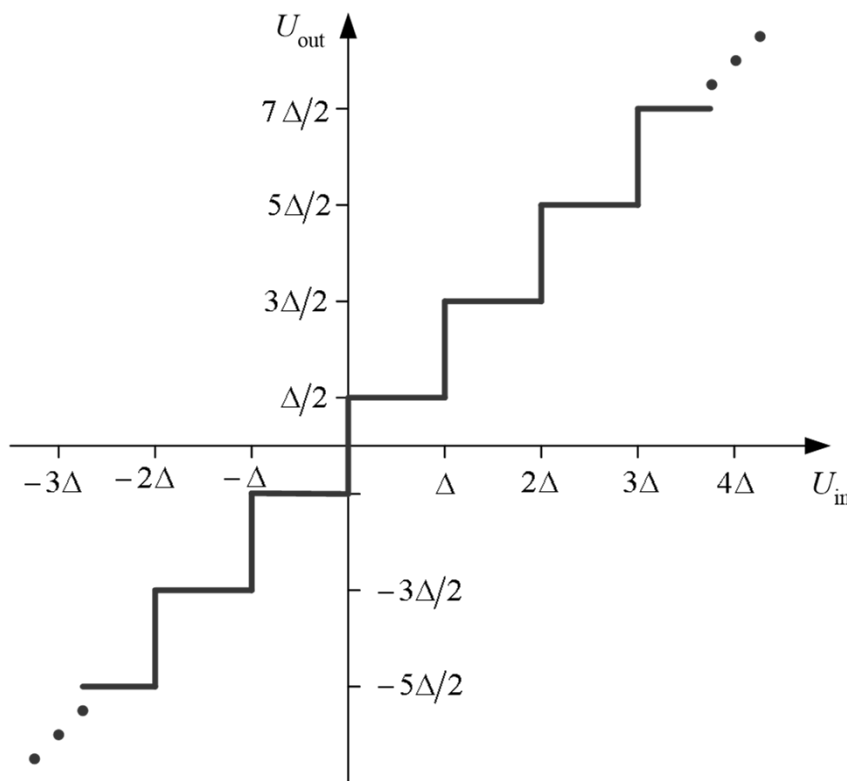
Általában logaritmikus, vagy logaritmikus görbe töréspontos közelítése



# Lineáris kvantálás

13

## Lineáris kvantáló



Lineáris kvantáló karakterisztikája

- ❑ Jellemzők:
- ❑ Azonos kvantálási lépcsők
- ❑ Kvantálási hiba a bemenő jel szintjétől független, a  $\left[-\frac{\Delta}{2}, \frac{\Delta}{2}\right]$  intervallumon egyenletes eloszlású
- ❑ Állandó, a bemenő jelszinttől független kvantálási zaj az egész kivezérlési tartományon
- ❑ Előnyök:
- ❑ Egyszerű megvalósíthatóság
- ❑ A kódolt mintasorozat számítások végzésére, jelfeldolgozásra átkódolás nélkül alkalmas
- ❑ Hátrány:
- ❑ A kvantálási jel/zaj viszony kis szinteknél kicsi, nagy szinteknél nagy, ezért nagy bemenő jelszintnél a kvantáló felbontása fölöslegesen nagy, hogy kis szinteknél is biztosítható legyen az előírt jel/zaj viszony.

# Lineáris kvantálás

14

Példa lineáris kvantálásra:

csúcslevágási szint: 40 mV, kódoló felbontása  $n=3$  bit ( $M=8$  szint)

bemenő minta szintje	kódolt üzenet	visszaállítási szint
-40...-30 mV	000	-35 mV
-30...-20 mV	001	-25 mV
-20...-10 mV	010	-15 mV
-10... 0 mV	011	-5 mV
0... 10 mV	100	5 mV
10... 20 mV	101	15 mV
20... 30 mV	110	25 mV
30... 40 mV	111	35 mV

$U_{be}$ : 33 mV

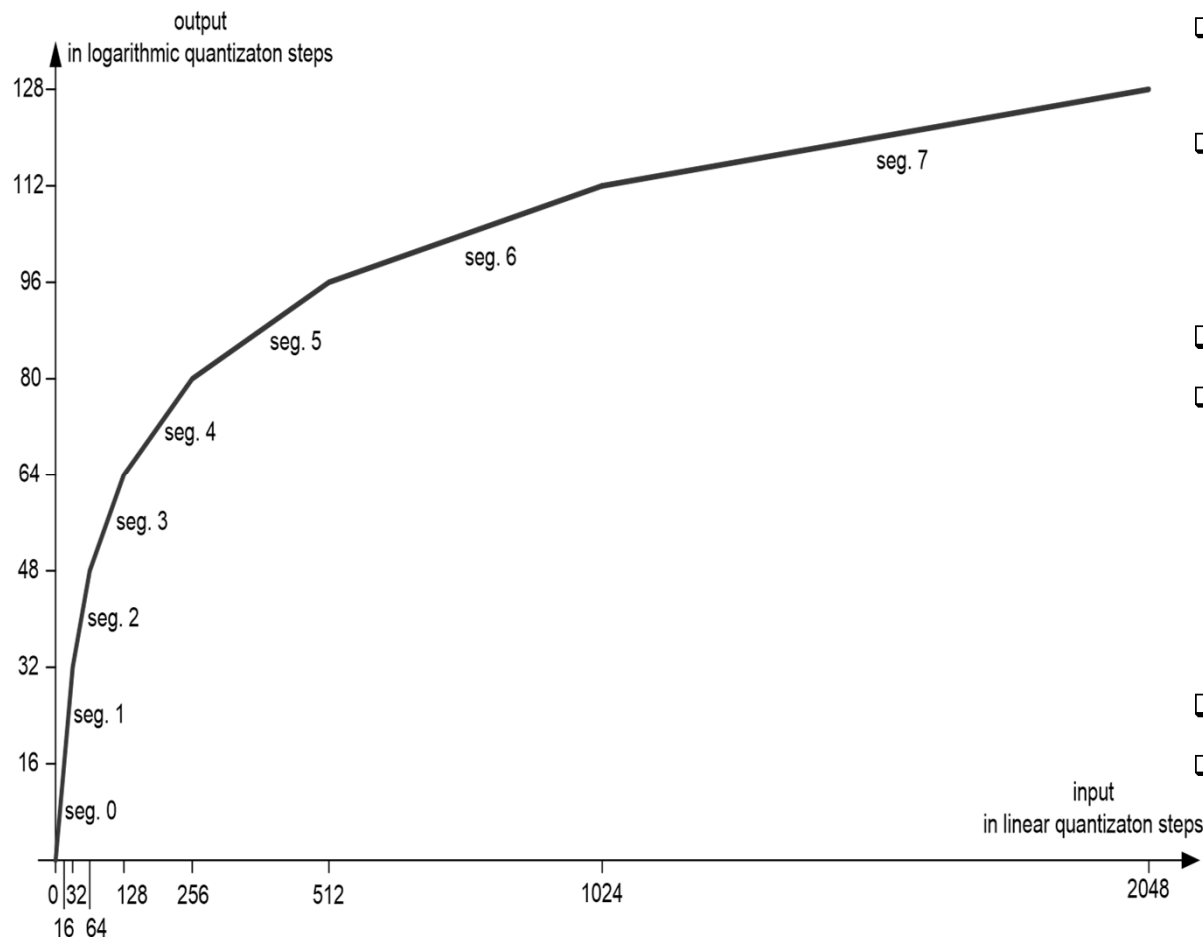
$U_{ki}$ : 35 mV

Kvantálási hiba: 2 mV

# Logaritmusikus kvantálás

15

## Logaritmusikus kvantálól



Logaritmusikus kvantási karakterisztika törtvonalas közelítése

- ❑ Jellemzők:
- ❑ A kvantálási lépcsőméret a bemenő jelszinttel arányosan nő
- ❑ A kvantálási jel/zaj viszony a bemenő jelszinttől független, közel állandó
- ❑ Előny:
- ❑ Ugyanakkora jel/zaj viszony eléréséhez kevesebb bit szükséges egy minta ábrázolásához mint lineáris kvantálól esetében
- ❑ Hátrány:
- ❑ DSP műveletek végzésére csak átkódolás után alkalmas a jel



# Logaritmusos kvantálás

16

Példa logaritmusos kvantálásra:

PCM A-karakterisztika megvalósítása kódolással

Seg.	12 bit code	8 bit code	13 bit code
0	s0000000wxyz	s000wxyz	s0000000wxyz.1
1	s0000001wxyz	s001wxyz	s0000001wxyz.1
2	s000001wxyz*	s010wxyz	s000001wxyz1.0
3	s00001wxyz**	s011wxyz	s00001wxyz10.0
4	s0001wxyz***	s100wxyz	s0001wxyz100.0
5	s001wxyz****	s101wxyz	s001wxyz1000.0
6	s01wxyz*****	s110wxyz	s01wxyz10000.0
7	s1wxyz*****	s111wxyz	s1wxyz100000.0

$s_+ = 1$

$s_- = 0$

# Visszaállítás tipikus hibái

17

## □ Szivárgás (leaking) és áljel (aliasing)

Egy 8 kHz-es mintavételi frekvenciával működő digitális átviteli rendszer bemeneti és visszaállító szűrője azonos karakterisztikájú:

$$H_{\text{in}}(f) = H_{\text{out}}(f) = \begin{cases} 1, & \text{ha } |f| \leq 3 \text{ kHz;} \\ 2.5 - |f/2|, & \text{ha } 3 \text{ kHz} < |f| < 5 \text{ kHz;} \\ 0.01, & \text{ha } 5 \text{ kHz} \leq |f| \leq 10 \text{ kHz;} \\ 0, & \text{ha } |f| > 10 \text{ kHz,} \end{cases}$$

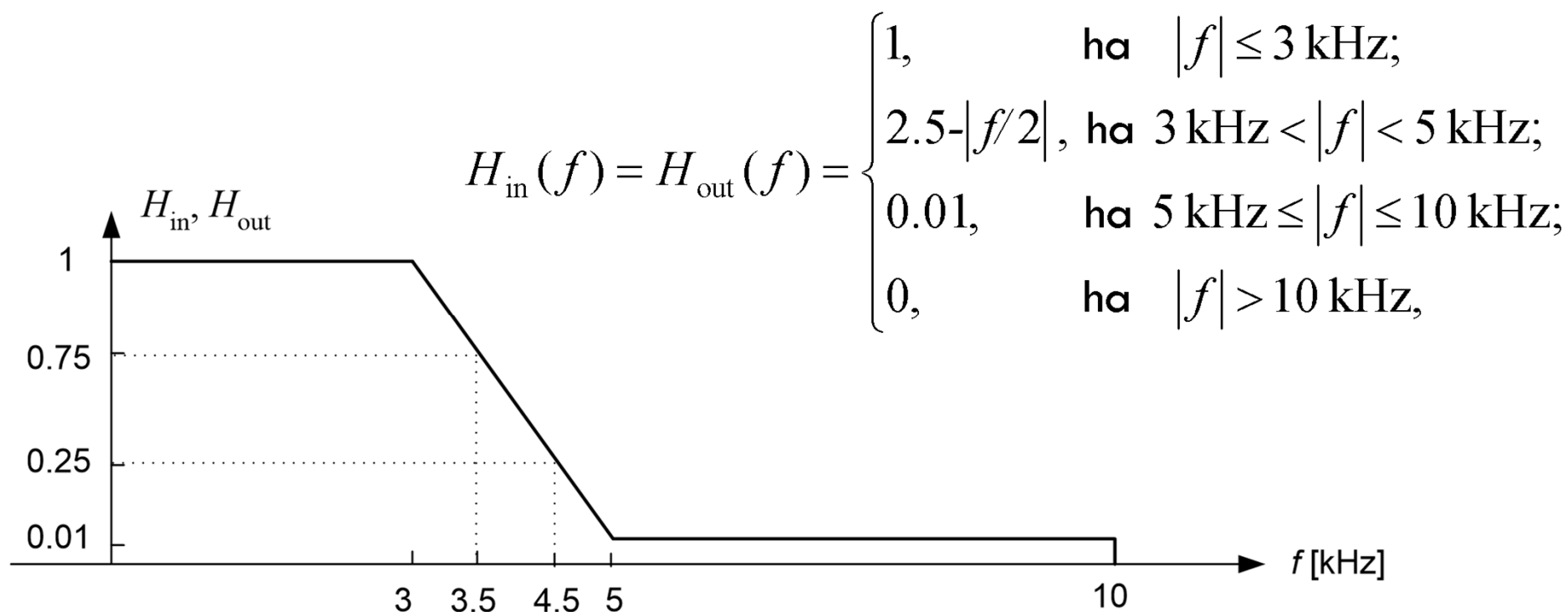
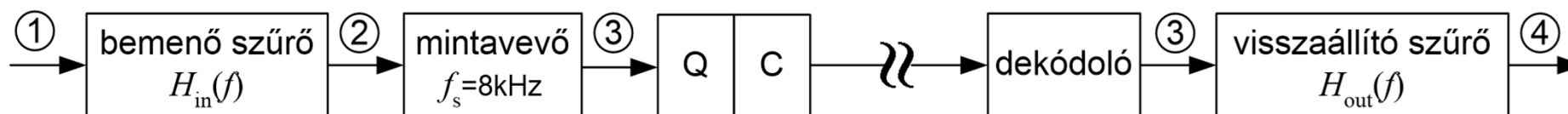
- a)** Milyen frekvenciájú és amplitúdójú komponensek vannak a kimenő jelben, ha a bemenetre 1 kHz-es, 2V amplitúdójú szinuszos jelet adunk?
- b)** Milyen lesz a kimenet, ha a bemenő jel frekvenciáját 4.5 kHz-re növeljük?



# Visszaállítás tipikus hibái



18



# Digitális jelek előállítása

## Kvantálás és kódolás



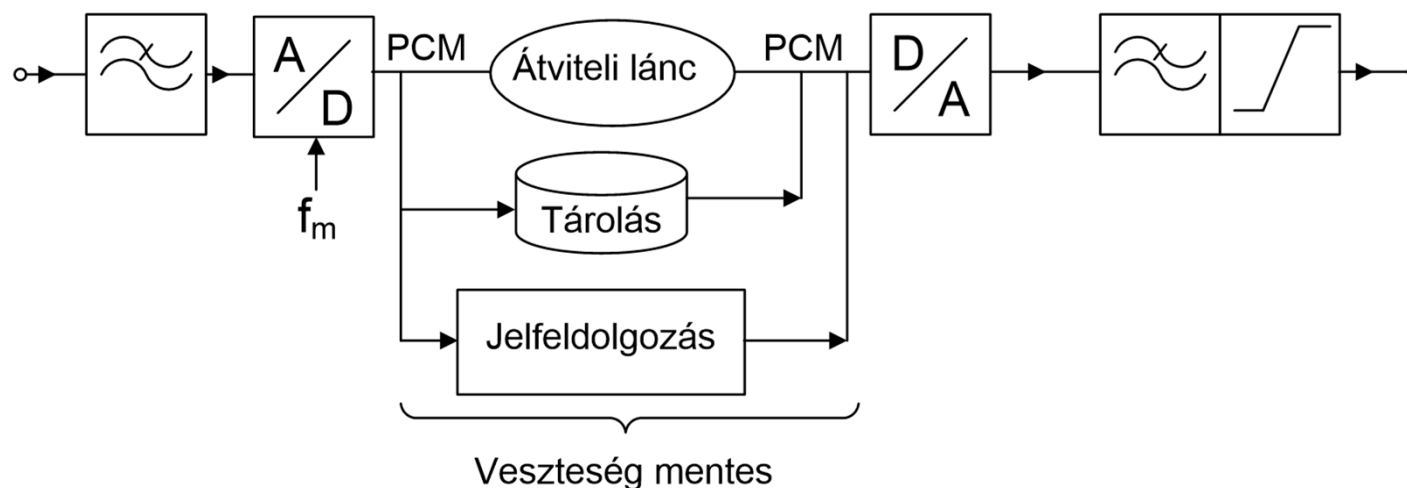
19

- A vezetékes telefóniában 8 kHz frekvenciájú mintavétel esetén ( ez 8000 db mérési eredményt jelent másodpercenként), ha minden PAM mintát 8 bittel adunk, akkor ez 64 kbit adatmennyiséget jelent minden másodpercben, ha 16 bitet választunk akkor az adatmennyiség 128 kbit másodpercenként.
- A bitszámot úgy kell megválasztani, hogy az adott rendszerben a kvantálási hiba elfogadható mértékű legyen, és az eszköz, illetve a rendszer gazdaságosan gyártható legyen.

# Teljes digitális lánc



20



## Hibák, torzítások helyei:

- ☐ Sávkorlátozó szűrő (analóg)
- ☐ Kvantálási hiba [additív zaj]
- ☐ Helyreállító szűrő (analóg)