



A/D, D/A átalakítók

a mikroelektronikában

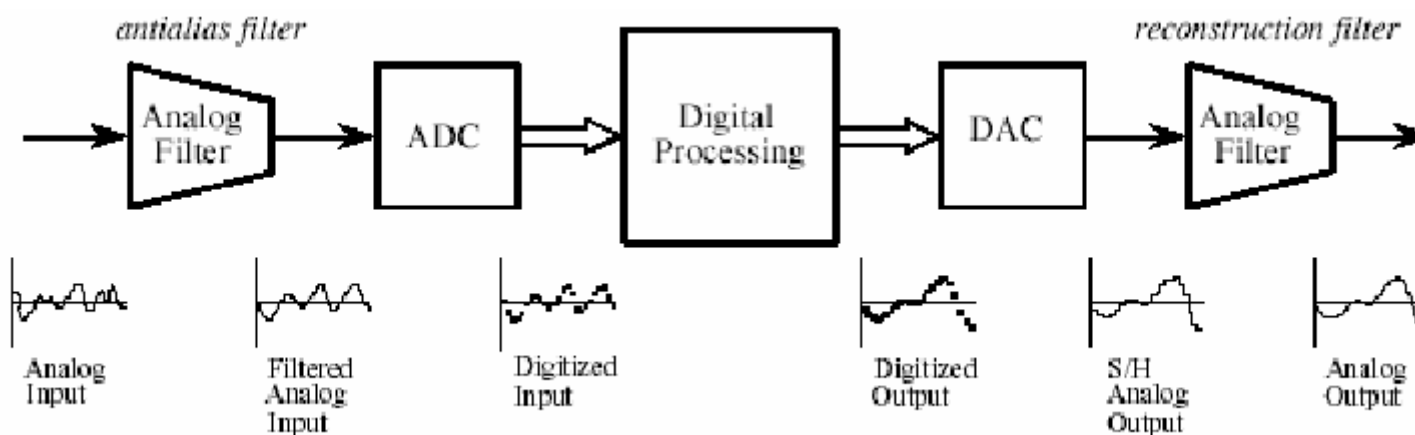
Bevezető előadás

Bognár György

bognar@eet.bme.hu

AD, DA átalakítás helye

- Digitális jelfeldolgozás lépései





AD, DA átalakítás helye

- Miért digitális?
- Analóg jeleket analóg csatornán továbbítva – csatornazaj adódik hozzá
- A hozzáadott zaj, már nem távolítható el
- Az analóg erősítő többnyire a hozzáadott zajt is erősíti, nem csak a jelet



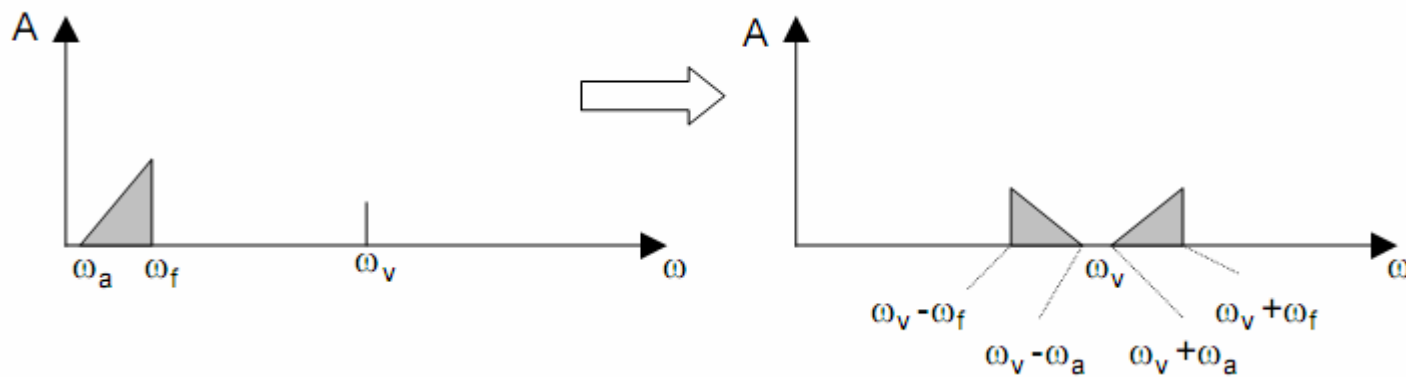
AD, DA átalakítás helye

- Miért digitális?
- Digitális jeleket nem erősíteni, hanem regenerálni kell, amivel az eredeti jel tökéletesen helyreáll
- Lehetőség van a hibaérzékelésre / javítására (paritás, CRC)
- Tömörítési lehetőség, mely az információ átvitelt hatékonyabbá teszi
- Digitális jelfeldolgozás előnyei ...

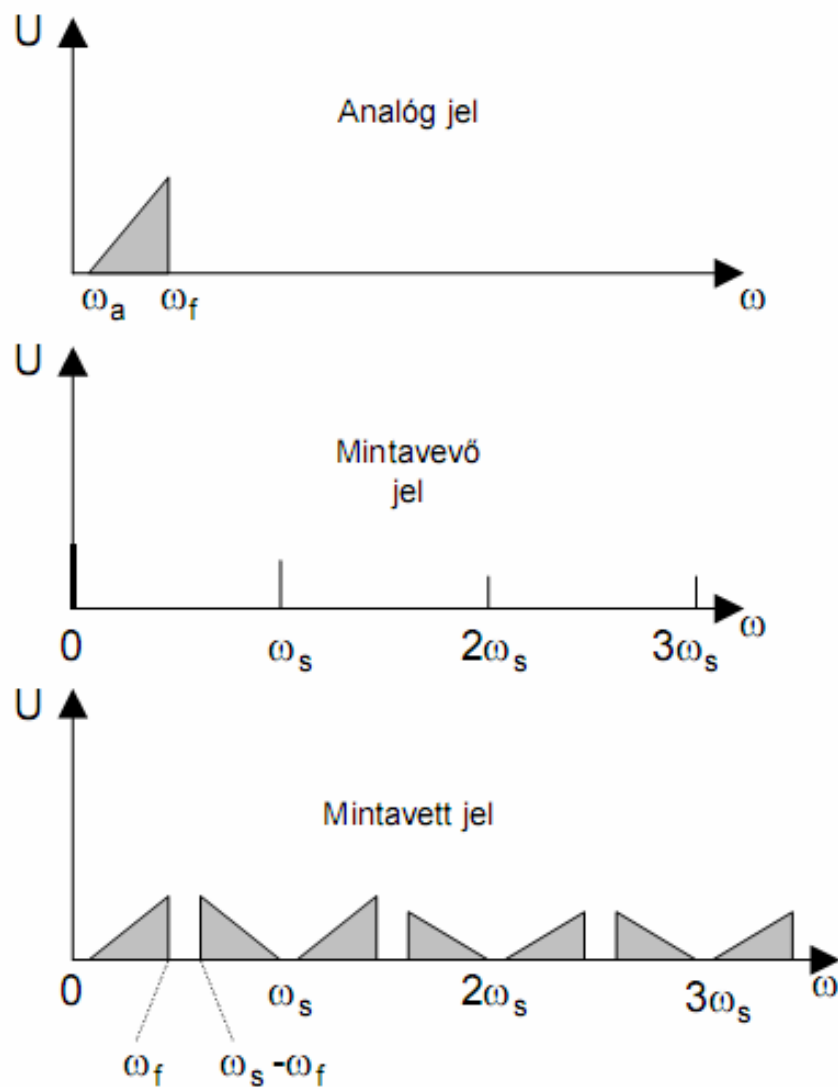
Aluláteresztő szűrő

- Shannon mintavételi tétel
- A mintavételezett jelből akkor állítható elő információvesztés nélkül az eredeti analógjel, ha a mintavételi frekvencia legalább kétszerese az analógjelben előforduló legmagasabb frekvenciának, azaz
- $f_m \geq 2 \cdot f_{\max}$
- Aliasing jelensége
- Ha a mintavételi frekvenciánál nagyobb frekvenciájú komponensek a mintavett jelben, akkor a spektrumban átlapolódás tapasztalható

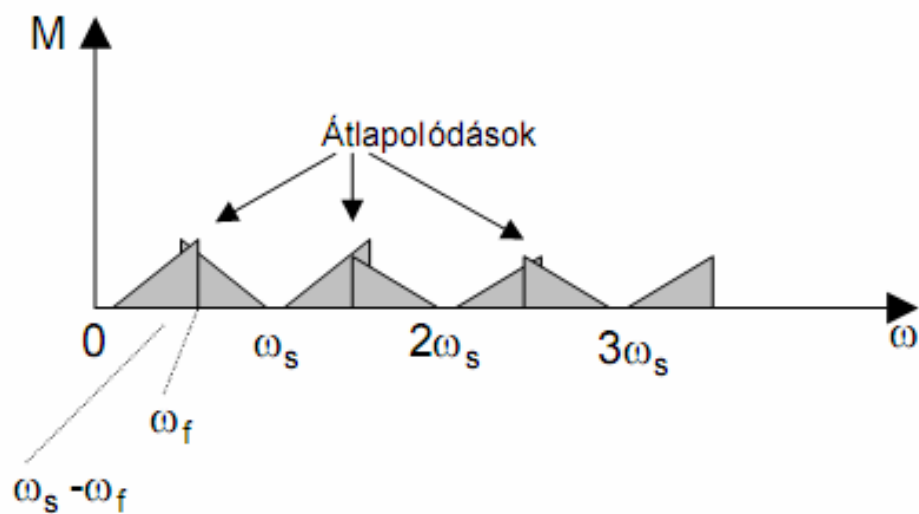
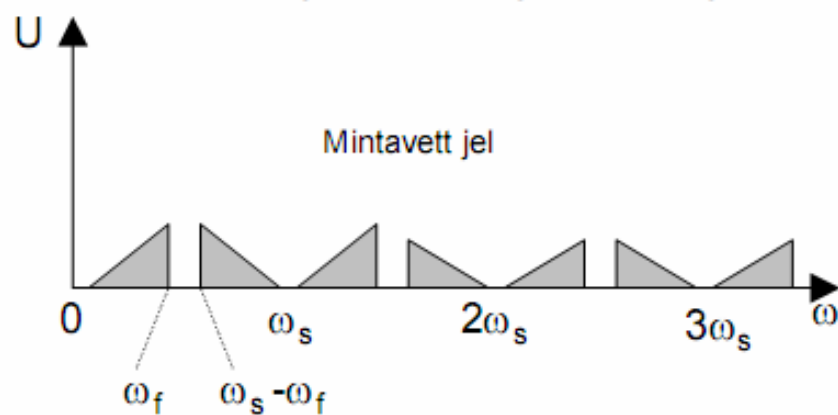
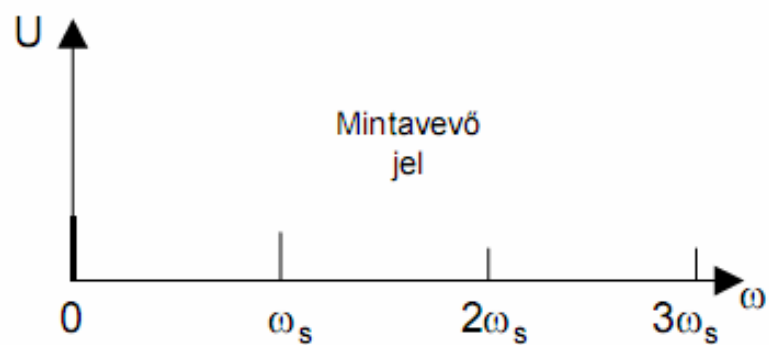
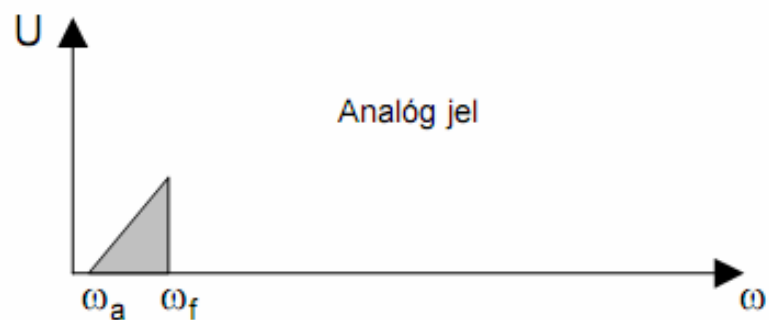
Aliasing jelensége



Aliasing jelensége



Aliasing jelensége



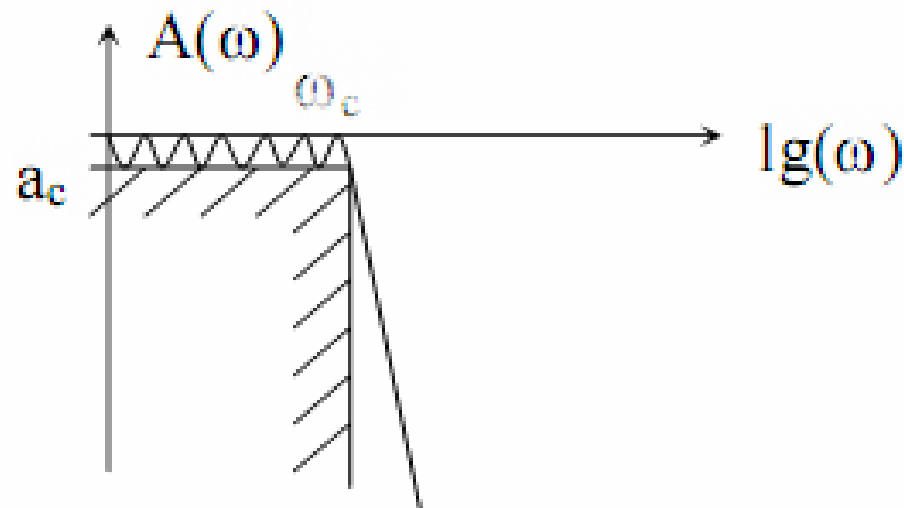


Aluláteresztő szűrő

- Bemeneti aluláteresztő szűrő
- Megfeleljen a mintavételi tételben megfogalmazott követelménynek
- Közel vízszintes átviteli karakterisztika felső határfrekvenciáig
- Meredek átmenet az áteresztő tartományból a záró tartományba
- Zárótartományban legalább 80 dB csillapítás
- Kis fázistorzítás
- Csebisev, Butterworth

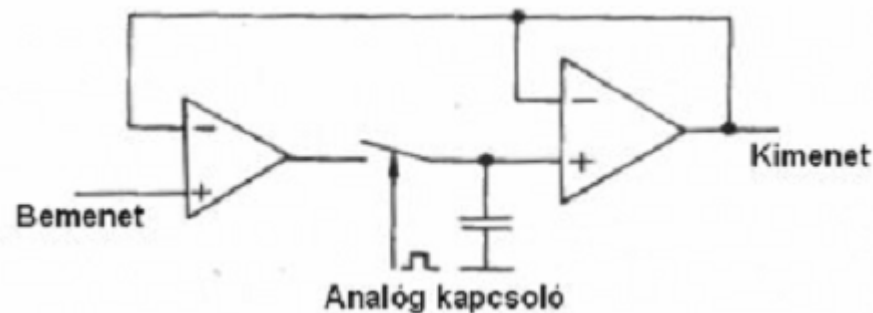
Aluláteresztő szűrő

- Példa Csebisev szűrő átviteli karakterisztikája
- a_c – áteresztő sávi csillapítás (sajnos nem 0, és sokszor nem állandó)



Mintavevő és tartó áramkörök

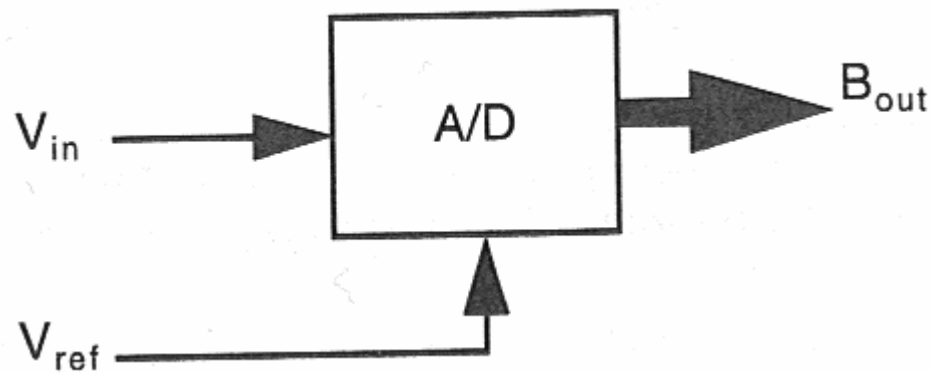
- Analóg kapcsolót a mintavevő jel vezérli
- Vannak veszteségek
 - Kapacitás nem képes pontosan követni a bejövő jelet
 - Szórt kapacitások és szórt ellenállások
 - Frekvenciamenetet is befolyásolja



A/D átalakító általános vizsgálata

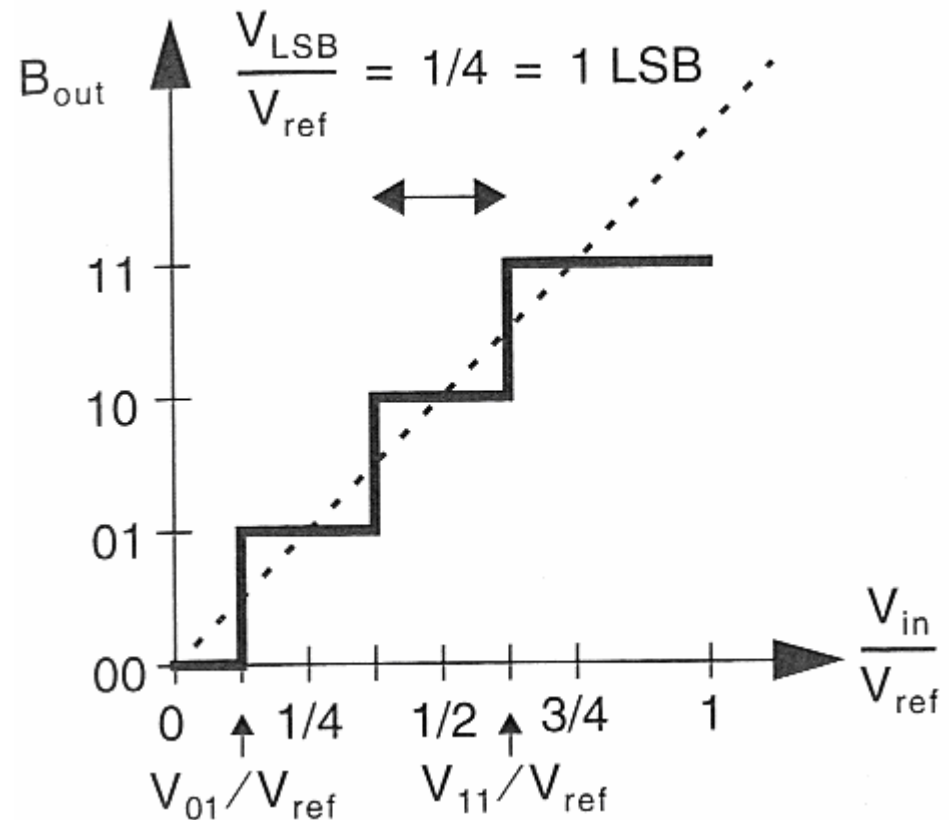
$$V_{ref} \left(b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_N 2^{-N} \right) = V_{in} \pm V_X$$

$$-\frac{1}{2} V_{LSB} \leq V_X \leq \frac{1}{2} V_{LSB} \qquad V_{LSB} = \frac{V_{ref}}{2^N}$$



A/D átalakító általános vizsgálata

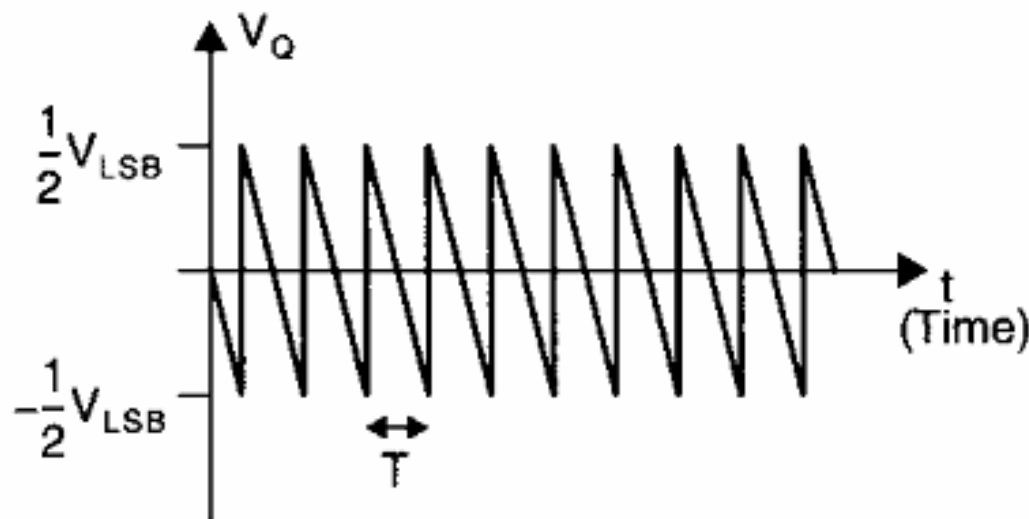
- 2 bites A/D példa
- $V_O = V_{in} + V_Q$
- V_Q a kvantálási zaj



A/D átalakító általános vizsgálata

- $V_Q \pm V_{LSB}/2$ által határolt
- Meghatározható V_Q négyzetes középértéke (RMS)
 - Determinisztikus rámpa alakú bemeneti jel esetén

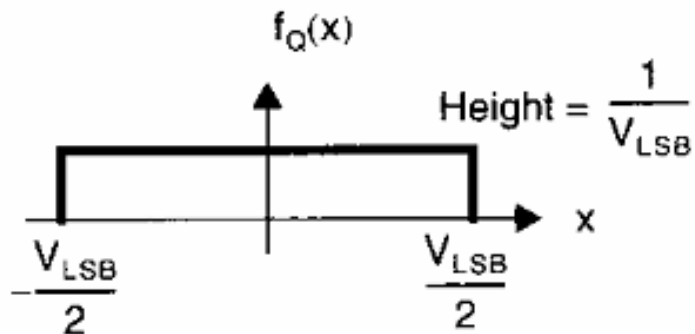
$$V_{Q(RMS)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} V_Q^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} V_{LSB}^2 \left(\frac{-t}{T}\right)^2 dt} = \frac{V_{LSB}}{\sqrt{12}}$$



$$V_{LSB} = \frac{V_{ref}}{2^N}$$

A/D átalakító általános vizsgálata

- Sztochasztikus, véletlenszerű bemenet esetén, a kvantálási zai értéke egyenletes eloszlást követ



$$\int_{-\infty}^{+\infty} f_Q(x) dx = 1$$

$$V_{Q(avg)} = \int_{-\infty}^{+\infty} x f_Q(x) dx = \left(\frac{1}{V_{LSB}} \int_{-V_{LSB}/2}^{+V_{LSB}/2} x dx \right) = 0$$

$$V_{Q(RMS)} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} x^2 f_Q(x) dx} = \sqrt{\frac{1}{V_{LSB}} \left(\int_{-V_{LSB}/2}^{+V_{LSB}/2} x^2 dx \right)} = \boxed{\frac{V_{LSB}}{\sqrt{12}}}$$

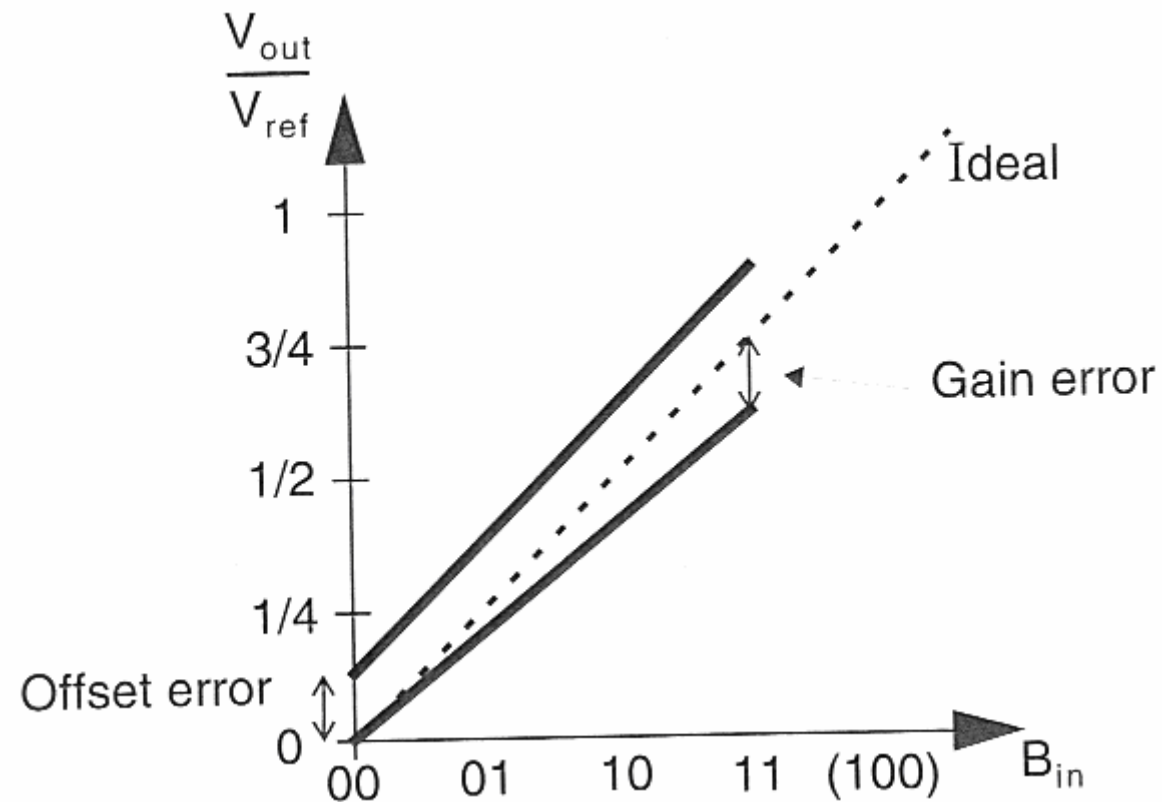
A/D átalakító általános vizsgálata

- A legjobb elérhető SNR (jel-zaj viszony megállapítása)

$$SNR = 20 \log \left(\frac{V_{in(RMS)}}{V_{Q(RMS)}} \right) = 20 \log \left(\frac{V_{ref} / \sqrt{12}}{V_{LSB} / \sqrt{12}} \right) = 20 \log(2^N) = 6.02 \cdot N \text{ dB}$$

A/D átalakítók lehetséges hibái

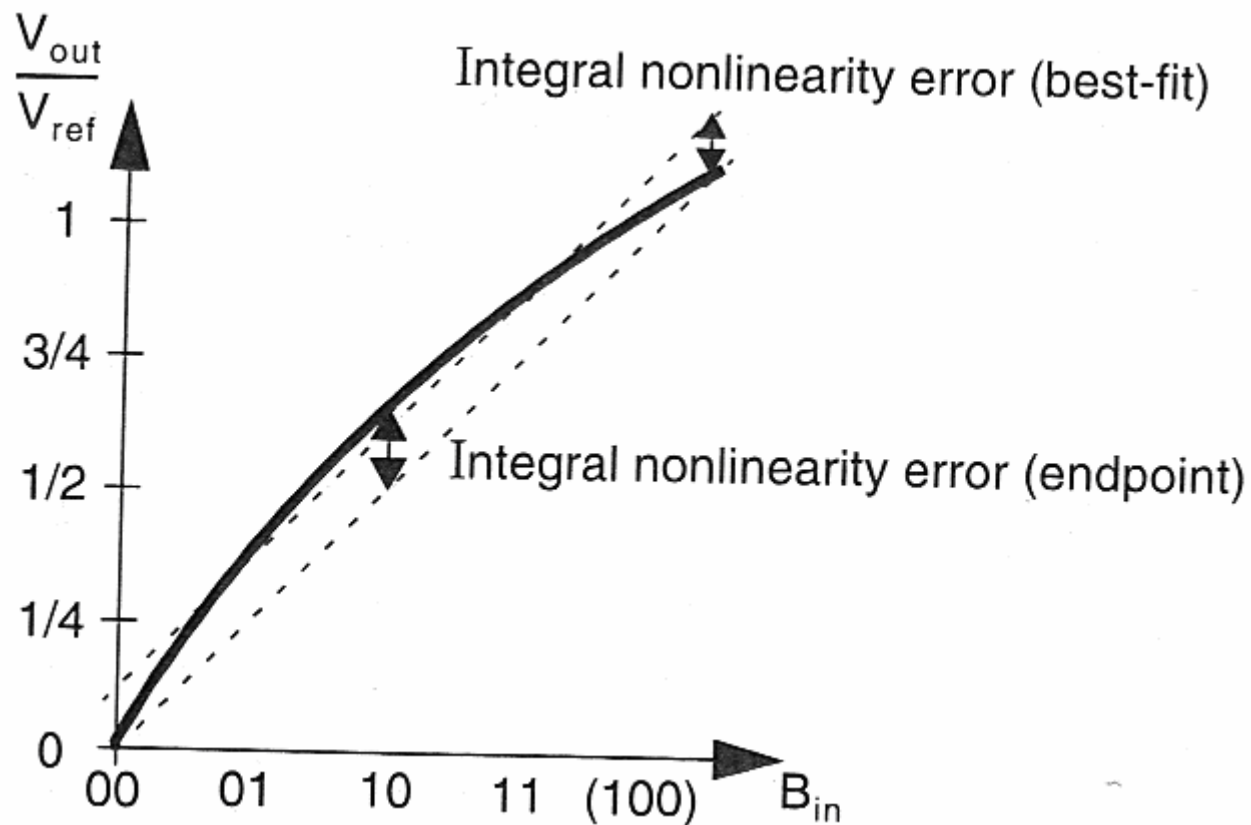
-



A/D átalakítók lehetséges hibái

- Linearitási hiba: ideális esetben az A/D átalakítók karakterisztikája lineáris, azaz lineárisan növekvő bemeneti feszültség esetén az A/D átalakítóhoz csatlakoztatott D/A átalakító kimenetén egyenletes lépcsőzésű jel jelenik meg.

A/D átalakítók lehetséges hibái

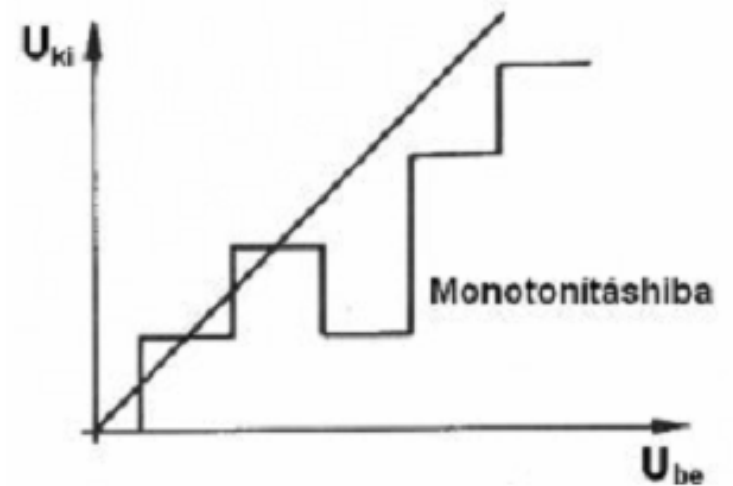


A/D átalakítók lehetséges hibái

- Az egyenletes lépcsőzéstől való eltérés az abszolút nemlinearitás, az ideális karakterisztikától való két mintavételi érték közötti eltérés pedig a differenciális nem linearitás.

A/D átalakítók lehetséges hibái

-



A/D átalakítók típusai

- Leginkább az integrált áramköri technikában alkalmazott megvalósításokkal foglalkozunk
- **I. Fokozatos közelítésen alapuló A/D**
(*Szukcesszív aproximációs*)
- **II. Egylépéses A/D** (*Flash*)
- **III. SigmaDelta átalakítók** (*Nem összetévesztendő a DeltaSigma modulátor egységekkel a szintézer áramkörökben !!!*)

A/D átalakítók csoportosítása

<i>Low Speed, High Accuracy</i>	<i>Medium Speed, Medium Accuracy</i>	<i>High speed, Low Accuracy</i>
<ul style="list-style-type: none">• <i>Integrating</i>• <i>Oversampling</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Successive approximation</i>• <i>Algorithmic</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Flash</i>• <i>Two-step flash</i>• <i>Interpolating</i>• <i>Folding</i>• <i>Pipelined</i>• <i>Time-interleaved</i>



Vezetéknélküli szenzorok A/D átalakítói

- Szükséges az alacsony fogyasztás, alacsony tápfeszültségről való működés (környezeti energia hasznosítása)
 - Napenergia, szélenergia, elemes működés,
 - Peltier elemes megoldások
 - RF tápellátás kérdése
- Emiatt, nagysebességű áramkörök alkalmazása kerülendő
- Szakaszos működés



Vezetéknélküli szenzorok A/D átalakítói

- Alacsony tápfeszültség miatt az áramkörben lévő feszültség szintek illetve maximális feszültség értékek adóttak
- Ez behatárolja az érzékelhető tartományt
- Általában azonban kis amplitudójú de zajjal terhelt jelek érzékelése és mintavételezése, ezért fontos a jó felbontás (0.5...1mV közötti a legkisebb érzékelhető változás)



Kutatási téma az EET-n

- Bőr alá ültethető érzékelő chip kialakítása, mely különböző fiziológiai jel érzékelésére képes
- Mért adatok digitálisan, vezeték-nélküli kommunikációval juttatva el a központi egységhez
- Rendkívül alacsony tápfeszültségről működés (maximum 1.12V ~ Band-Gap)
- Alacsony működési sebesség (Adiabatikus töltés...)
- Nagy meredekségű Csebisev szűrők tervezése, SH áramkörök, A/D, OpAmp, ...



Ajánlott irodalom

- Dr. Kovács Ferenc, “Az informatika VLSI áramkörei”, 2004
- Analog Devices, “*Analog-Digital Conversion Handbook*”, Prentice Hall, 1986
- David A. Johns, Ken Martin, “Analog Integrated Circuit Design”, Wiley Inc, pp. 445-531, 1997
- Wai-Kai Chen, “*The VLSI Handbook*”, CRC Press LLC, 2000
- F. Maloberti, “*Analog Design for CMOS VLSI Systems*”, Kluwer Academic Publishes, Boston, 2001
- **IEEE SOLID-STATE JOURNAL**
<http://ieeexplore.ieee.org>



Köszönöm a figyelmet !