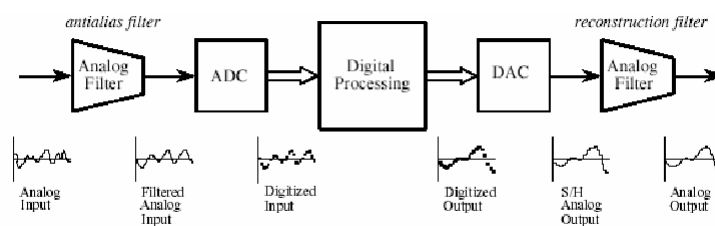


A/D, D/A átalakítók

a mikroelektronikában
Bevezető előadás

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



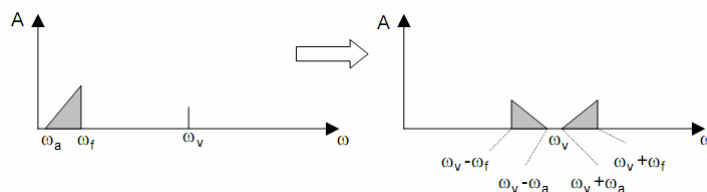
AD, DA átalakítás helye

- 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 ...

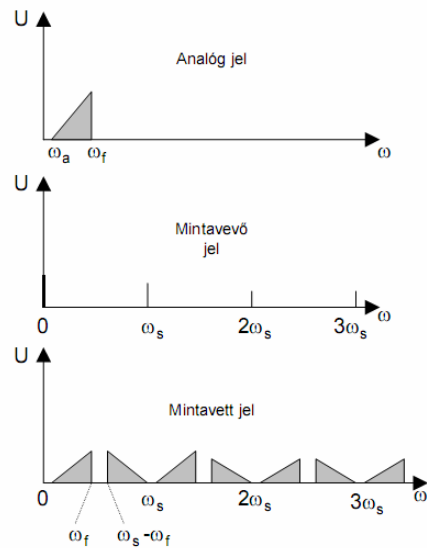
Aluláteresztő szűrő

- 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

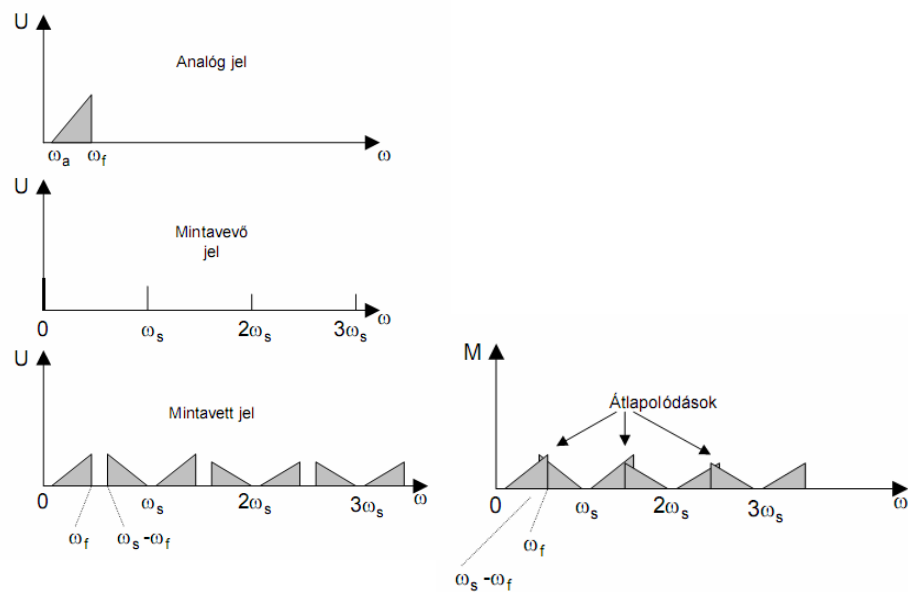
Aliasing jelensége



Aliasing jelensége



Aliasing jelensége

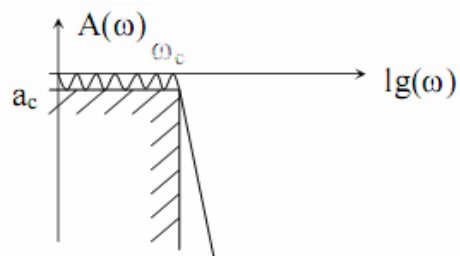


Aluláteresztő szűrő

- 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

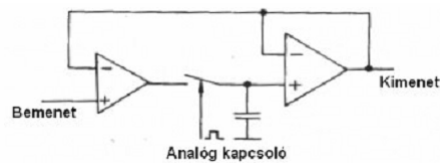
Aluláteresztő szűrő

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



Mintavevő és tartó áramkörök

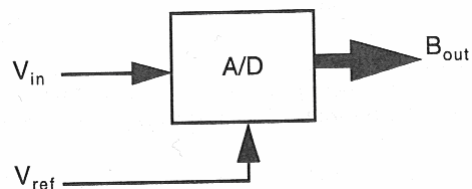
- Analóg kapcsolót a mintavevő jel vezérli
- Vannak veszteségek
 - Kapacitás nem képes pontosan követni a bejövő jelet
 - Szórt kapacitások és szórt ellenállások
 - Frekvenciamenetet is befolyásolja



A/D átalakító általános vizsgálata

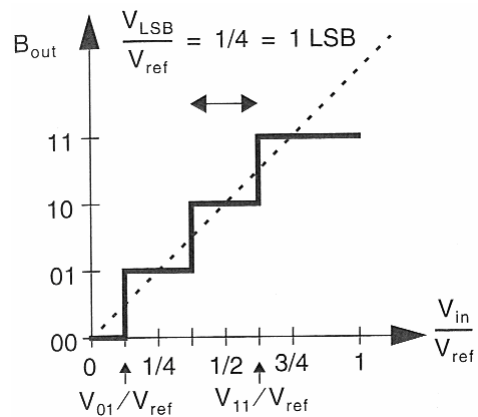
$$V_{ref} (b_1 2^{-1} + b_1 2^{-1} + \dots + b_N 2^{-N}) = V_{in} \pm V_X$$

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



A/D átalakító általános vizsgálata

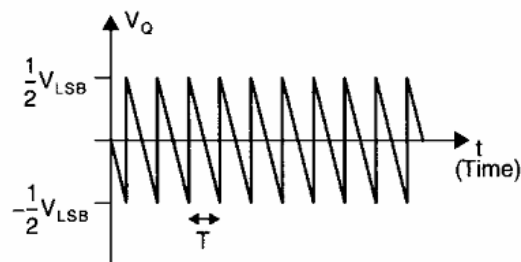
- 2 bites A/D példa
- $V_O = V_{in} + V_Q$
- V_Q a kvantálási zaj



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

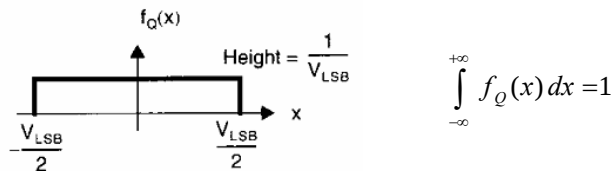
$$V_{Q(RMS)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} V_Q^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} V_{LSB}^2 \left(\frac{-t}{T}\right)^2 dt} = \frac{V_{LSB}}{\sqrt{12}}$$



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

A/D átalakító általános vizsgálata

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



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

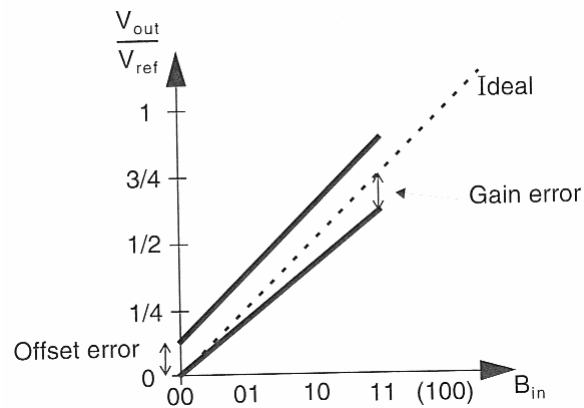
$$V_{Q(RMS)} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} x^2 f_Q(x) dx} = \sqrt{\frac{1}{V_{LSB}} \left(\int_{-V_{LSB}/2}^{+V_{LSB}/2} x^2 dx \right)} = \boxed{\frac{V_{LSB}}{\sqrt{12}}}$$

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

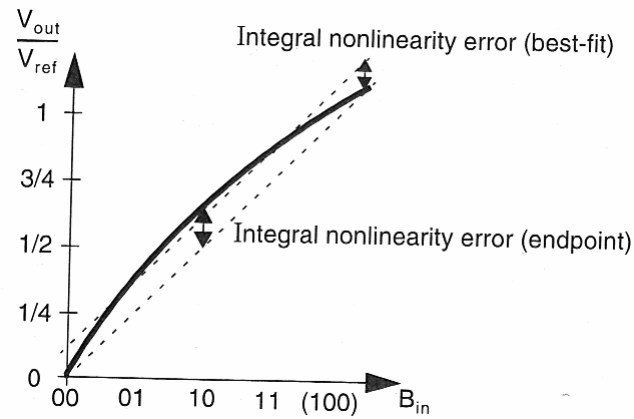


A/D átalakítók lehetséges hibái

- 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

-

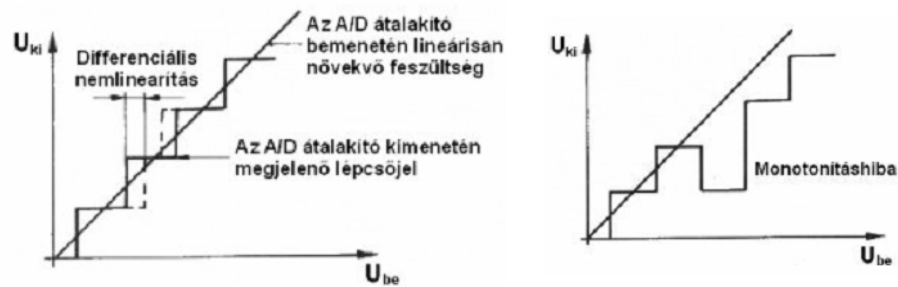


A/D átalakítók lehetséges hibái

- 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** (Sukcesszív aproximáció)
- **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>
• <i>Integrating</i> • <i>Oversampling</i>	• <i>Successive approximation</i> • <i>Algorithmic</i>	• <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 adottak
- 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, vezetéknélküli 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 Publishers, Boston, 2001
- **IEEE SOLID-STATE JOURNAL**
<http://ieeexplore.ieee.org>

Köszönöm a figyelmet !



A/D átalakítók

a mikroelektronikában

2. előadás

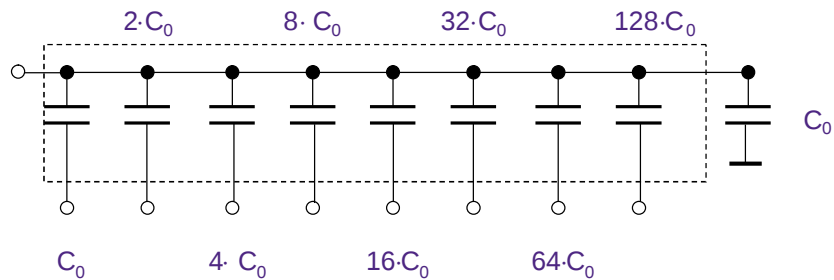


A/D átalakítók (főbb) típusai

- I. Fokozatos közelítésen alapuló A/D
(*Szukcesszív aproximációs*)
- II. Egylépéses A/D (*Flash*)
- III. SzigmaDelta átalakítók

Fokozatos közelítésű A/D

- A/D és D/A átalakítókban alkalmazott 8 bites kapacitív háló



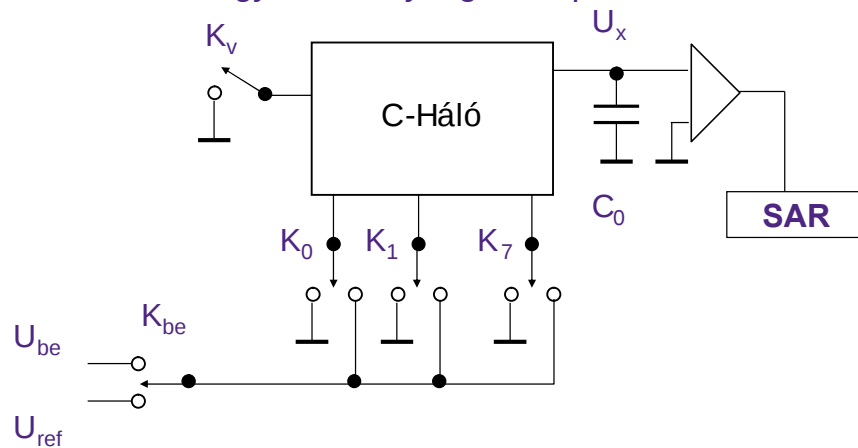
Fokozatos közelítésű A/D

- Működés alapja
 - Valamilyen egylépéses D/A átalakító jelét hasonlítjuk össze a bemeneti analóg jellel.
 - Először megállapítjuk, hogy a bemeneti jel nagyobb vagy kisebb a referencia jel felénél
 - Majd megvizsgáljuk, hogy a kapott fél-tartomány melyik felébe (azaz melyik negyedben van)
 - ... egészen addig míg meg nem határozzuk a legkisebb értéket
 - A bemeneti jel így viszonylag kevés lépéssel behatárolható
- A végrehajtott lépések száma arányos a felbontással
- Nagyon elterjedt

Fokozatos közelítésű A/D

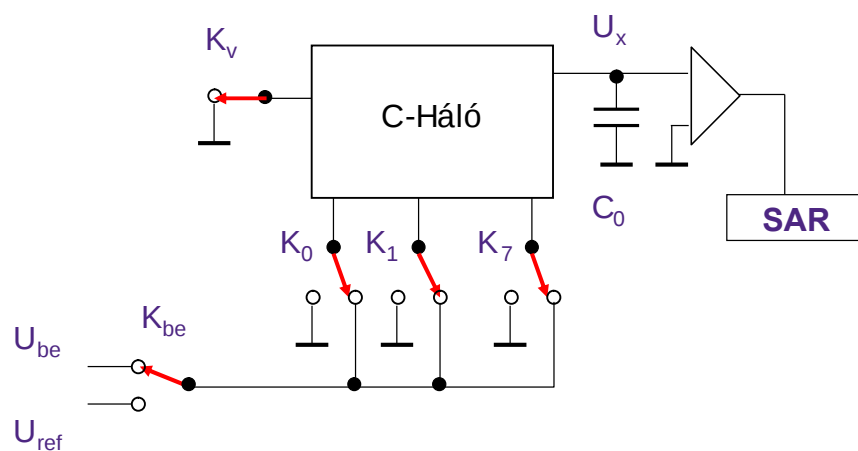
- Felépítés

- Kis offszetű, nagy érzékenységű komparátor



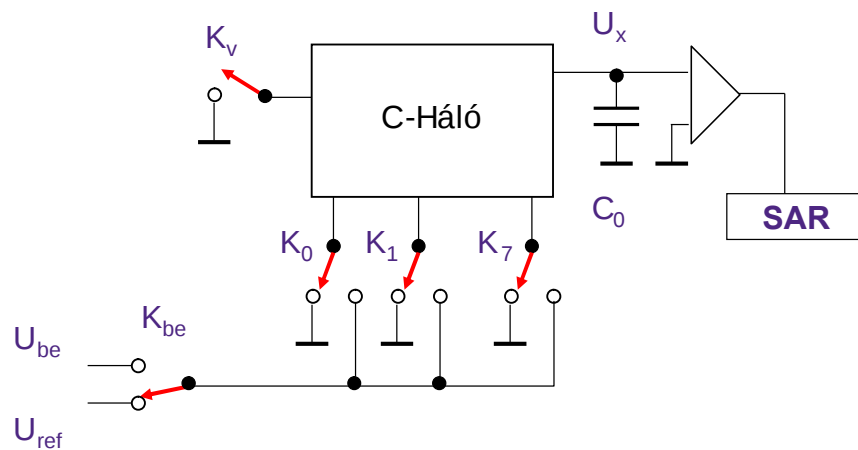
Fokozatos közelítésű A/D

- I. Mintavétel fázis



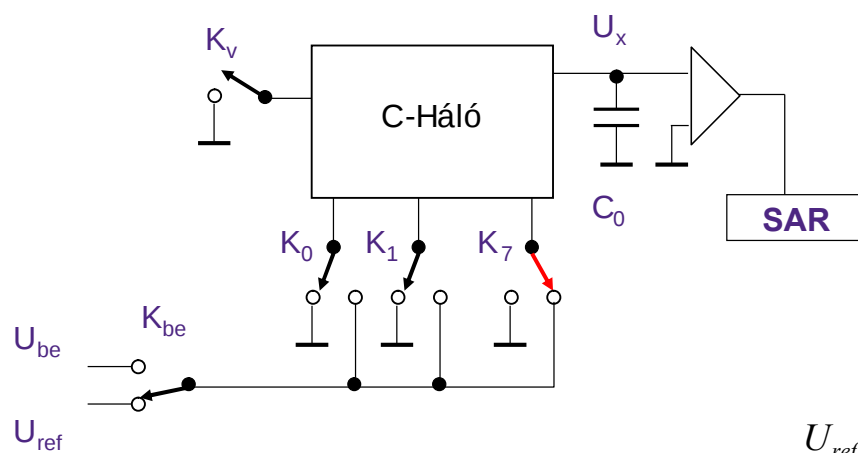
Fokozatos közelítésű A/D

- II. Tartás fázis



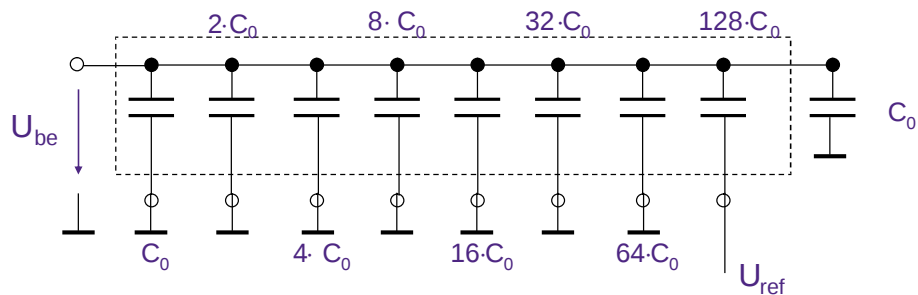
Fokozatos közelítésű A/D

- III. Újraelosztás fázis 1.



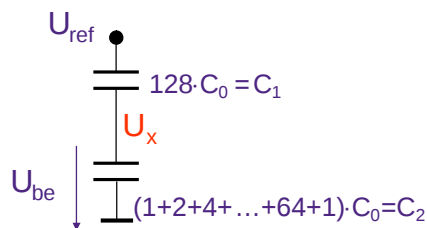
$$U_X = -U_{be} + \frac{U_{ref}}{2}$$

Kapacitív osztás



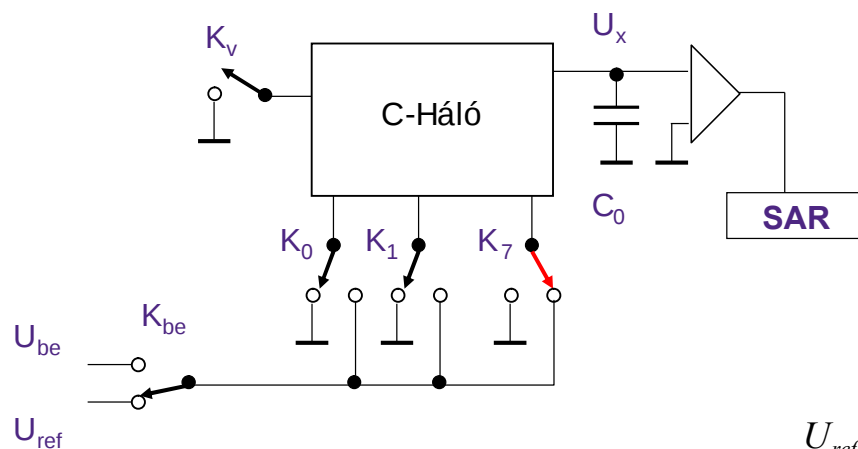
$$U_x = U_{ref} \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2}} = U_{ref} \cdot \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} =$$

$$= U_{ref} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} = U_{ref} \cdot \frac{1}{C_2} \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = U_{ref} \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$



Fokozatos közelítésű A/D

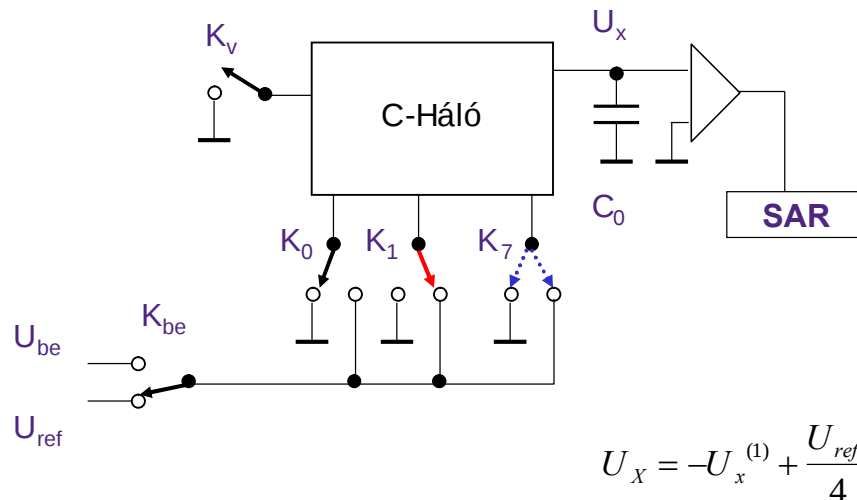
- Ha $U_x < 0$, akkor $U_{be} < U_{ref} / 2$, azaz MSB 0, K_7 vissza földre
- Ha $U_x > 0$, akkor $U_{be} > U_{ref} / 2$, azaz MSB 1, K_7 U_{ref} marad



$$U_x = -U_{be} + \frac{U_{ref}}{2}$$

Fokozatos közelítésű A/D

- III. Újraelosztás fázis 1.



Fokozatos közelítésű A/D

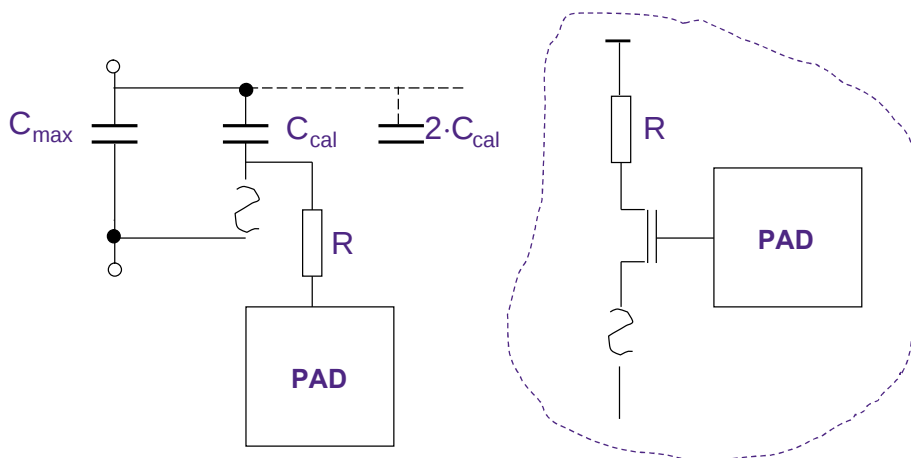
- Előnyei – fogyasztás szempontból előnyös, mert keresztirányú (statikus) áram nem folyik
- Nem kell a kapacitásokat állandóan kisütni és feltölteni, egyszer feltöltöttük és kész
- Átalakítás, azonban időigényes, ezért sebességkritikus alkalmazásoknál nem használandó (általában hangfrekvenciás eszközökben alkalmazzák)
- Integrált áramkörökben a kapacitásokat az egységnyi kapacitásból kell megvalósítani (technológiai szórások, arányok nagyon pontosan beállíthatóak)

A/D átalakítók kalibrálása / hitelesítése

- Tervezéskor egy adott technológiára tervezek
- Kérdés, a megkapott technológiai adatok mennyire pontosak, illetve mit lehet tenni a technológiai szórásokkal (*scattering*) ?
- Megoldás – Utólagos kalibráció lehetősége
- Cél: kihozatal növelése

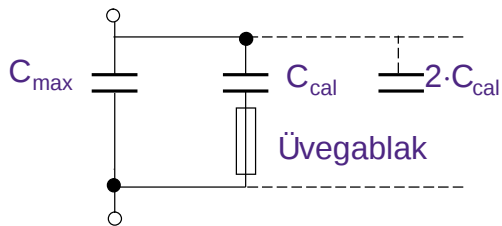
A/D átalakítók kalibrálása / hitelesítése

- Kalibrálás FUSE (biztosíték) alkalmazásával
 - Egyszer kiégetik többé nem változtatható



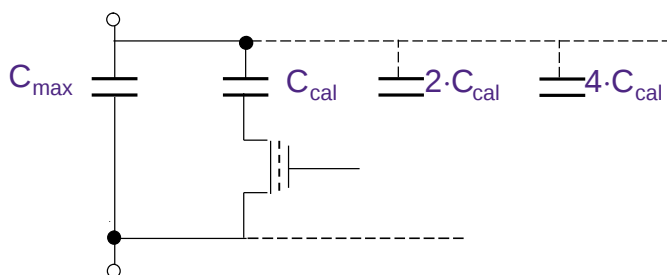
A/D átalakítók kalibrálása / hitelesítése

- Kalibrálás Lézer segítségével
 - Itt is egyszer elvágják a vezetékét, többé nem változtatható



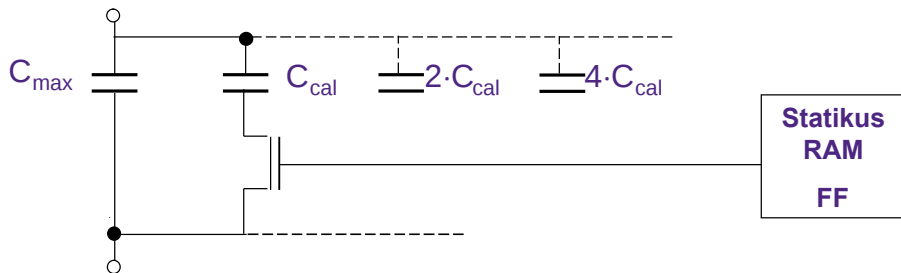
A/D átalakítók kalibrálása / hitelesítése

- Kalibrálás EPROM használatával
 - Korszerű
 - Tökozás előtt a gyárban kell felprogramozni



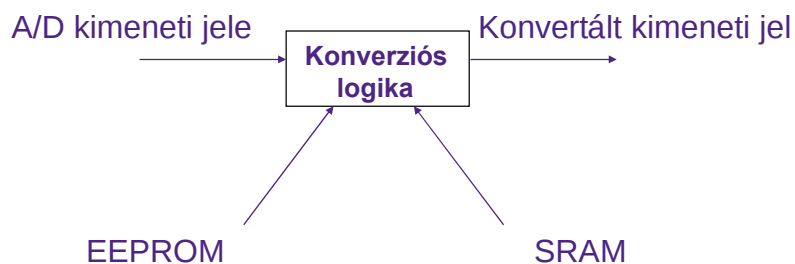
A/D átalakítók kalibrálása / hitelesítése

- Kalibrálás SRAM segítségével
 - Módosítható, dinamikus akár működésközben is átírható



A/D átalakítók kalibrálása / hitelesítése

- Kalibrálás Digitális áramkör alkalmazásával
 - A kijövő digitális jelet konverzió alá vetjük
 - EPROM-ban tárolva előzetes hitelesítésből származó adatok, de működés szüneteiben újra programozható (Error Correction Memory)

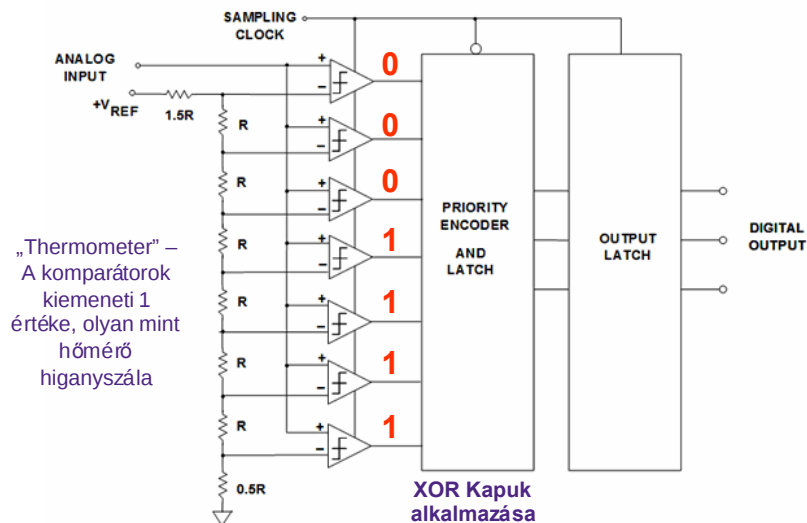


Egylépéses A/D átalakítók

- Működés alapja
 - A bemeneti feszültség összehasonlítása egy – a referenciafeszültségre kötött – ellenállás-lánc közbenső pontjaival történik
- Nagyon sok elem szükséges a felépítéséhez
 - Általános esetben N bit esetében, 2^N darab ellenállás és 2^N darab komparátor szükséges, így nagy a helyigénye
 - Inkább kislebontású változatai használatosak
- Gyors, hiszen a konverzió egy lépésben történik (GHz működési tartomány)
- Nagy statikus áramfelvétel

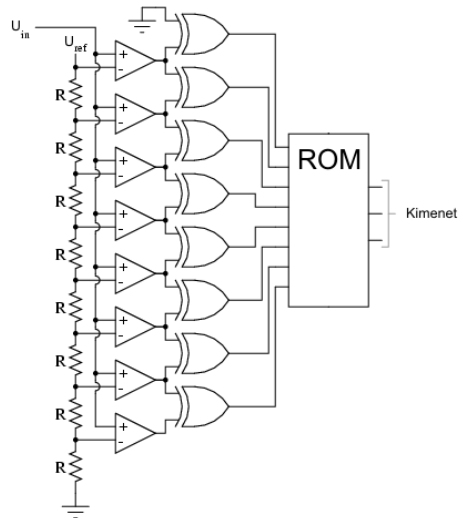
Egylépéses A/D átalakítók

- Klasszikus egylépéses Flash A/D konverter



Egylépéses A/D átalakítók

- Klasszikus egylépéses Flash A/D konverter

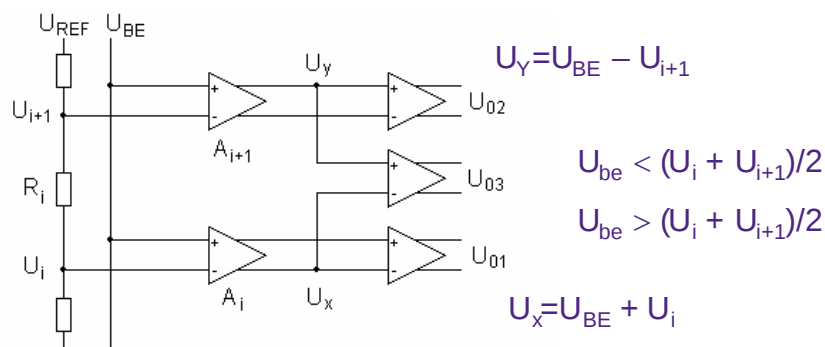


Egylépéses A/D átalakítók

- Cél: kevesebb ellenállással megvalósítani hasonló felbontást vagy
- Ellenállások számának növekedése nélkül finomítani lehet az átalakító felbontását
- Alapötlet: komparátorok helyett használjunk műveleti erősítőket, így nem csak azt tudjuk, hogy kisebb/nagyobb adott értéknél, hanem azt is, hogy kb. hol helyezkedik el a két érték között a bemeneti jel
- E módszer alkalmazásával növekszik a műveleti erősítők száma, így nő a fogyasztás is
- Megoldás lehet, ugyanazon műveleti erősítő blokkok alkalmazása, multiplexerrel...

Egylépéses A/D átalakítók

- Interpoláló Flash A/D konverter



Hibajavítás Flash átalakítóknál

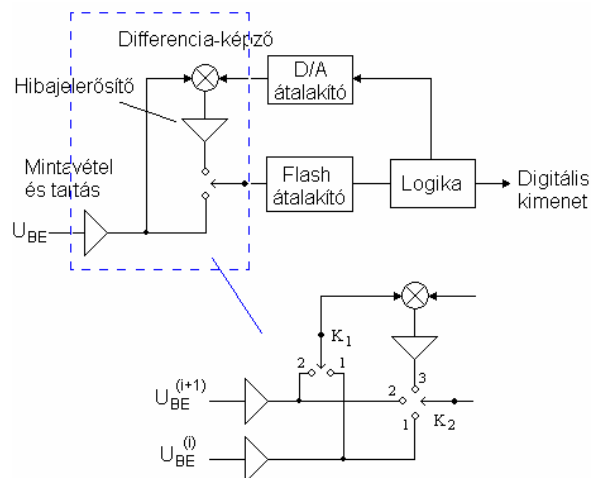
- Sebesség növekedésével (mintavételi fr. növekedése) tranziens hibák fordulnak elő
- Komparátor rövid időre ún. *metastabil* állapotba kerül
- Így előfordul, hogy nem csak egy 1-es jelenig meg a XOR kapuk kimenetén (*buborékos lesz a hőmérő*), ez értelmezhetetlen, egyszerre több memória sort aktivál a ROM-ban
- Megoldás: hibajavító eljárás alkalmazása – *Szavazás módszere*

Hibajavítás Flash átalakítóknál

- Szavazás során minden komparátor kimeneti jelénél figyelembe vesszük a szomszédos komparátorok kimeneti jeleit is
- Ennek értelmében:
 - $C_{i,\text{korrigált}} = C_{i-1}C_i + C_iC_{i+1} + C_{i-1}C_{i+1}$
- Egyéb módszerek tárgyaltak az irodalomban

Aláosztásos A/D átalakítók

- Aláosztásos átalakító (subranging)
- Legkorszerűbb

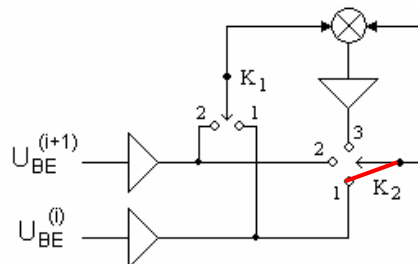


Alóosztásos A/D átalakítók

- Fontos, hogy az átalakítás alatt (tartás ideje alatt) ne változzon a bemeneti jel
- Fontos, hogy pontos, zajmentes legyen a hibajel erősítés és a különbségképzés
- Átalakítás két lépésben megoldható, így a felbontás kétszerese a felhasznált Flash típusú A/D konverternek

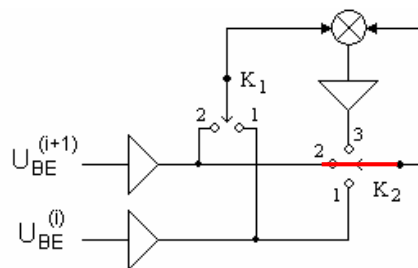
Pipeline alóosztásos A/D átalakítók

- Mivel a Flash A/D átalakítás és a D/A átalakítás sosem történik egyszerre, így adódik a pipeline lehetősége, így akár 1GHz jelek mintavételezése
- Bemenet átalakítását igényli
- I. $K_2 - 1$: $U_{be}^{(i)}$ jelet a Flash átalakítóra vezetjük, konverzió MSB bitekre



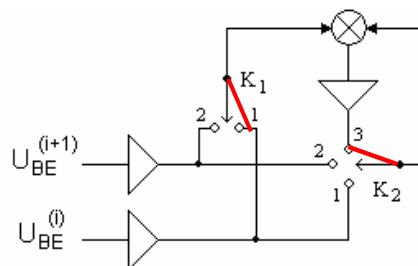
Pipeline aláosztásos A/D átalakítók

- II. MSB bitek visszakerülnek a D/A átalakítóra, közben $K_2 - 2$: $U_{be}^{(i+1)}$ továbbítva a Flash A/D felé átalakításra MSB bitekre



Pipeline aláosztásos A/D átalakítók

- III. $K_1 - 1$: $U_{be}^{(1)}$ MSB biteiből D/A átalakítással nyert jelet, kivonjuk a bemeneti jelből és a $K_2 - 3$: a maradékot visszavezetjük a FLASH A/D bemenetére LSB bitek meghatározása végett, mialatt $U_{be}^{(i+1)}$ jel D/A átalakítása zajlik



Pipeline alóosztásos A/D átalakítók

- IV. $K_1 - 2$: $U_{be}^{(i+1)}$ MSB biteiből D/A átalakítással nyert jelet, kivonjuk a bemeneti jelből és a $K_2 - 3$: a maradékot visszavezetjük a FLASH A/D bemenetére LSB bitek meghatározása végett

The diagram illustrates a two-stage pipeline A/D converter. The first stage, labeled K_1 , takes the input $U_{BE}^{(i+1)}$ and produces a residual signal. The second stage, labeled K_2 , takes the residual signal and produces the final output. Red arrows indicate the signal flow from the input of the first stage to the output of the second stage.

-

Pipeline alóosztásos A/D átalakítók

- V. $K_2 - 1$: $U_{be}^{(i+2)}$ jelet a Flash átalakítóra vezetjük, konverzió MSB bitekre

The diagram illustrates a pipeline A/D converter stage labeled V. $K_2 - 1$. It consists of two comparators and a summing junction. The first comparator has inputs $U_{BE}^{(i)}$ and $U_{BE}^{(i+1)}$. Its output is connected to a switch controlled by K_1 . The second comparator has inputs $U_{BE}^{(i)}$ and $U_{BE}^{(i+2)}$. Its output is connected to a switch controlled by K_2 . The outputs of both comparators are connected to a summing junction (represented by a circle with an 'X'). The output of the summing junction is connected to a third input of the second comparator. The output of the second comparator is the final result.

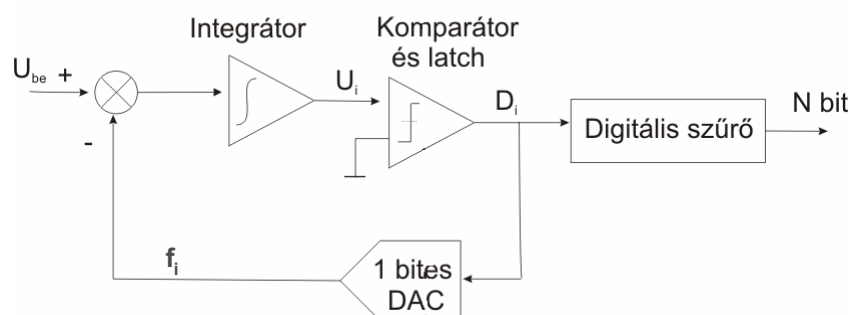
-

Szigma-Delta A/D átalakítók

- Leggyakrabban használt típus
- Nevezéktan:
 - Szigma – minden lépésben integrálást végez
 - Delta – minden lépésben a bemeneti függvényből kivon a szummázott értéktől függő értéket
- „Túl-mintavételezett” *oversampled* elnevezést is használják

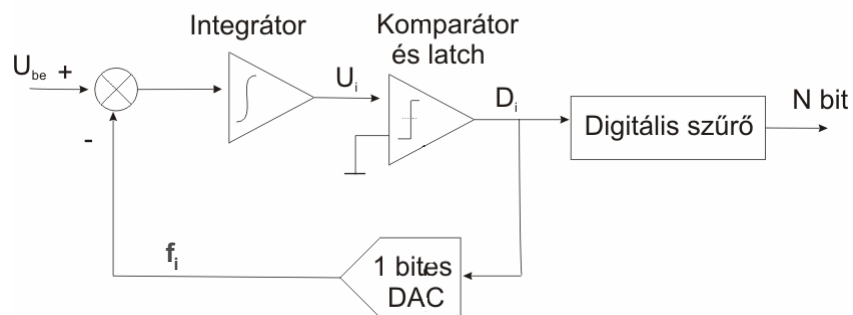
Szigma-Delta A/D átalakítók

- U_{be} jelből kivonva D/A konverter jele ($d_i=1$ esetén $f_i=U_{REF}$, $d_i=0$ esetén $f_i=0$)



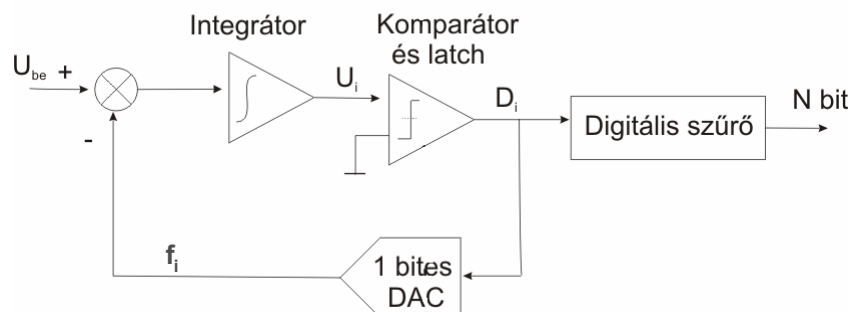
Sigma-Delta A/D átalakítók

- A kivonással kapott jelet az integrátor hozzáadja a korábbi U_i összeghez



Sigma-Delta A/D átalakítók

- Az előjeltől függően adja meg a komparátor a d_i jelet
- $U_{i+1} = U_{be} - f_i + U_i$



Szigma-Delta A/D átalakítók

- *Oversampled* elnevezéssel is illetik
- Amíg U_{be} állandó értéken tartva, addig nagyon sokszor zajlik le ez a folyamat, így hosszú d_i bitsorozat képződik
- n számú kivonást és komparálást végezve, $U_{be} = U_{ref}(n_1/n)$, ahol n_1 az egyes értékű bitek száma
- Ciklusszám növelésével fokozatosan közelíti a felvett értéket

Szigma-Delta A/D átalakítók

$$U_{i+1} = U_{be} - f_i + U_i$$

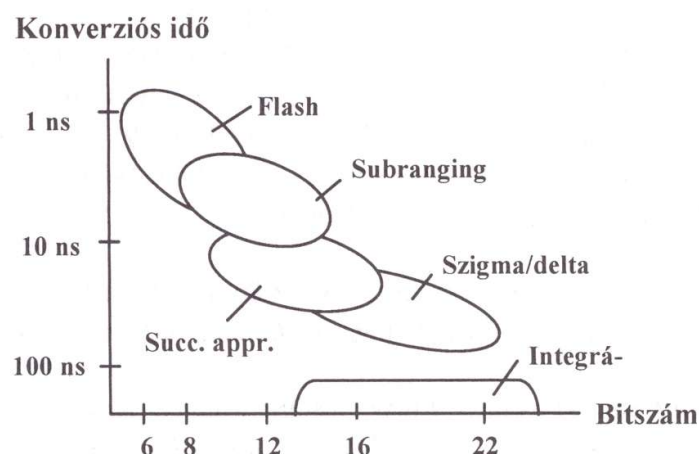
U_{be}	f_i	U_i	U_{i+1}	d_i
3,3	0 V	0 V	3,3	1
3,3	5	3,3	1,6	1
3,3	5	1,6	-0,1	0
3,3	0	-0,1	3,2	1
3,3	5	3,2	1,5	1
3,3	5	1,5	-0,2	0
3,3	0	-0,2	3,1	1
3,3	5	3,1	1,4	1
3,3	5	1,4	-0,3	0
3,3	0	-0,3	3	1

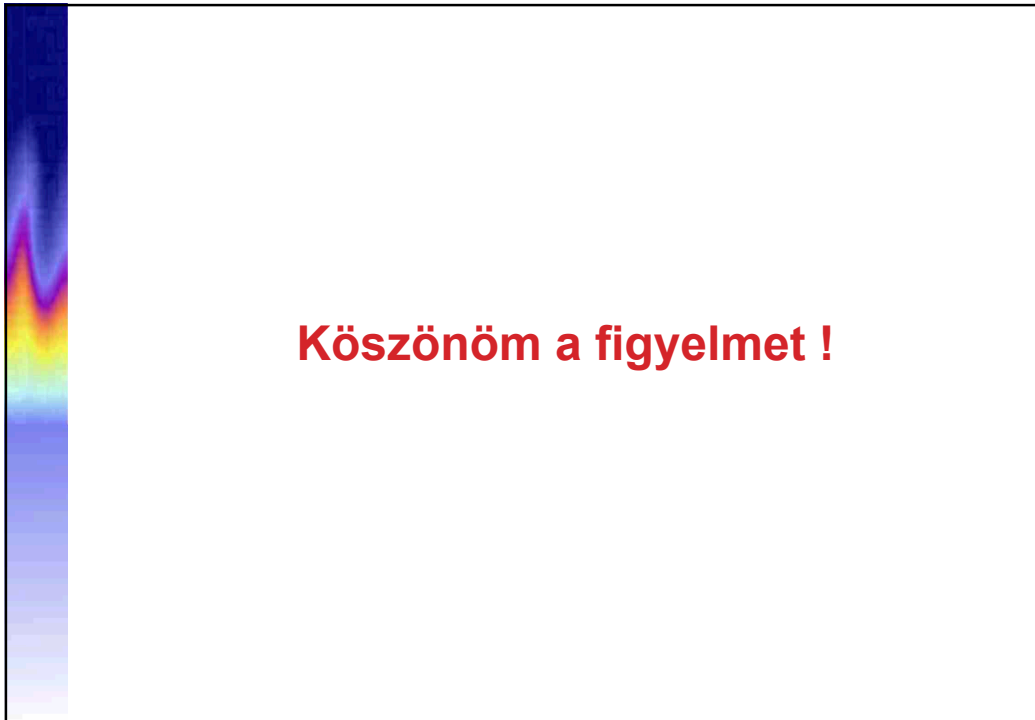
Sigma-Delta A/D átalakítók

- Kevés alaktrész szükséges a felépítéséhez
- Trade-off: pontosság vs. sebesség
- Nagyon elterjedt
- Sokkal nagyobb működési frekvencia kell, mint a bemeneti jel maximális frekvenciája (túlmintavételezés miatt)

• http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm?appnote_number=1870&CMP=WP-10

A/D átalakítók összehasonlítása







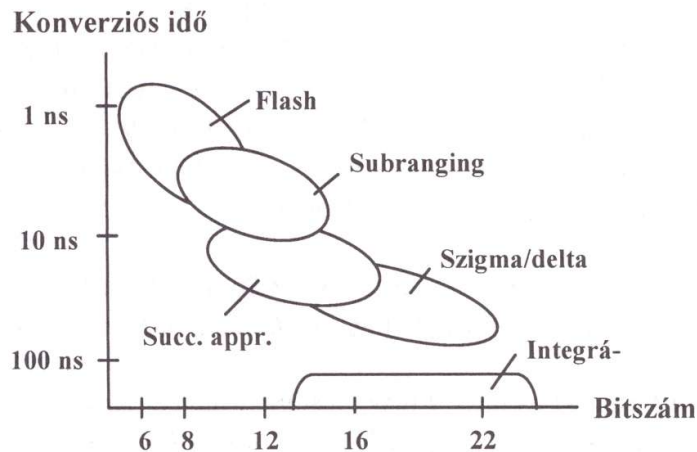
A/D, D/A átalakítók

a mikroelektronikában

3.előadás

Ismétlés

A/D átalakítók összehasonlítása



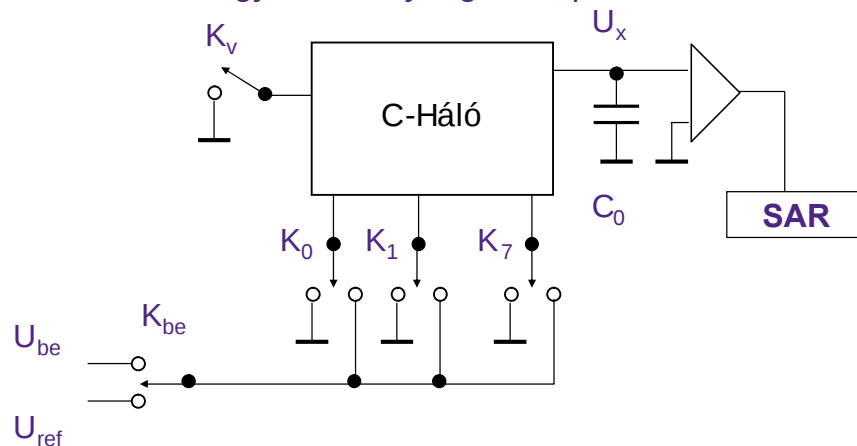
I. Fokozatos közelítésű A/D

- Működés alapja
 - Valamilyen egylépéses D/A átalakító jelét hasonlítjuk össze a bemeneti analóg jellel.
 - Először megállapítjuk, hogy a bemeneti jel nagyobb vagy kisebb a referencia jel felénél
 - Majd megvizsgáljuk, hogy a kapott fél-tartomány melyik felébe (azaz melyik negyedben van)
 - ... egészen addig míg meg nem határozzuk a legkisebb értéket
 - A bemeneti jel így viszonylag kevés lépéssel behatárolható
- A végrehajtott lépések száma arányos a felbontással
- Nagyon elterjedt

I. Fokozatos közelítésű A/D

- Felépítés

- Kis offszetű, nagy érzékenységű komparátor



II. Egylépéses A/D átalakítók

- Működés alapja

- A bemeneti feszültség összehasonlítása egy – a referenciafeszültségre kötött – ellenállás-lánc közbenső pontjaival történik

- Nagyon sok elem szükséges a felépítéséhez

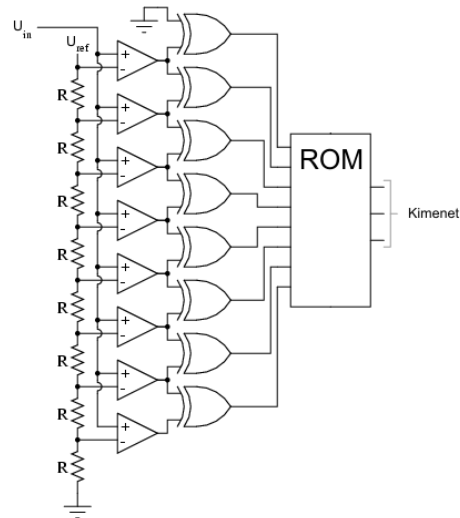
- Általános esetben N bit esetében, 2^N darab ellenállás és 2^N darab komparátor szükséges, így nagy a helyigénye
- Inkább kifelbontású változatai használatosak

- Gyors, hiszen a konverzió egy lépésben történik (GHz működési tartomány)

- Nagy statikus áramfelvétel

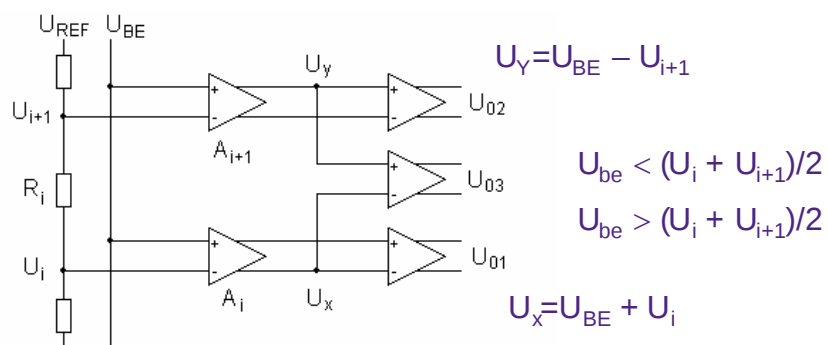
II. Egylépéses A/D átalakítók

- Klasszikus egylépéses Flash A/D konverter



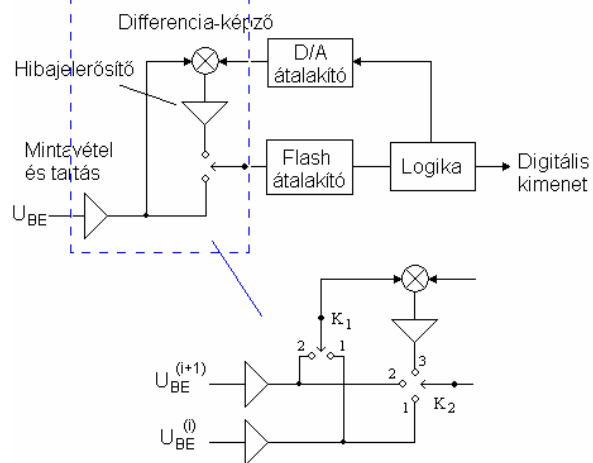
II. Egylépéses A/D átalakítók

- Interpoláló Flash A/D konverter



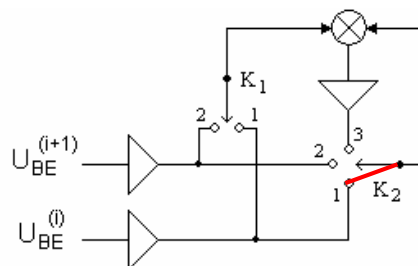
III. Alóosztásos A/D átalakítók

- Alóosztásos átalakító (subranging)



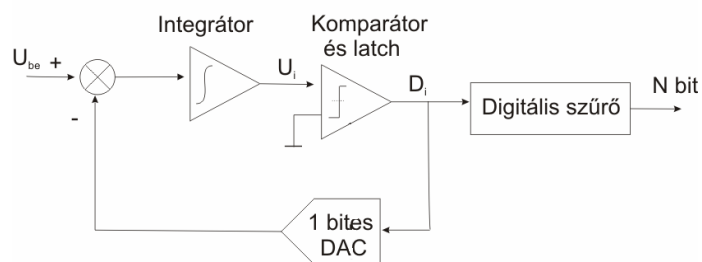
III. Pipeline alóosztásos A/D átalakítók

- Mivel a Flash A/D átalakítás és a D/A átalakítás sosem történik egyszerre, így adódik a pipeline lehetősége, így akár 1GHz jelek mintavételezése
- Bemenet átalakítását igényli



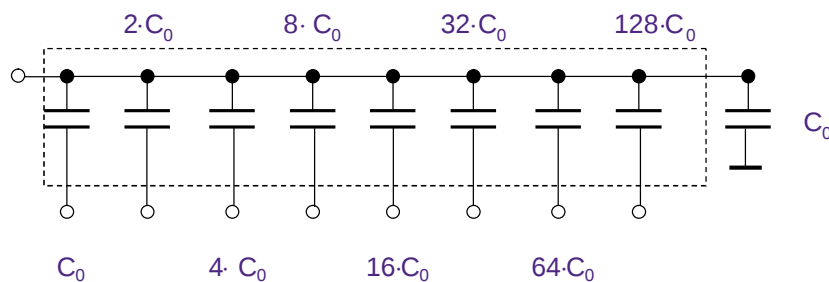
IV. Szigma-Delta A/D átalakítók

- Leggyakrabban használt típus
- Nevezéktan:
 - Szigma – minden lépésben integrálást végez
 - Delta – minden lépésben a bemeneti függvényből kivon a szummázott értéktől függő értéket
- „Túl-mintavételezett” *oversampled* elnevezést is használják



Kapacitív háló felépítése

- A/D és D/A átalakítókban alkalmazott 8 bites kapacitív háló





V. Logaritmus karakterisztikájú A/D

- Analóg jelek nagy dinamikája miatt igen nagy bit-számú átalakítókra van szükség
- Azonban az átvihető bitek számát a sávszélesség limitálja
- Egyes analóg jelek valósághű átvitele nem követeli meg a nagyon nagy felbontást. Ilyen például a beszéd.
- Telefontechnikai alkalmazás
- *(Emberi beszéd és emberi hallás tulajdonságait használják ki különböző veszteséges tömörítési eljárásoknál is)*

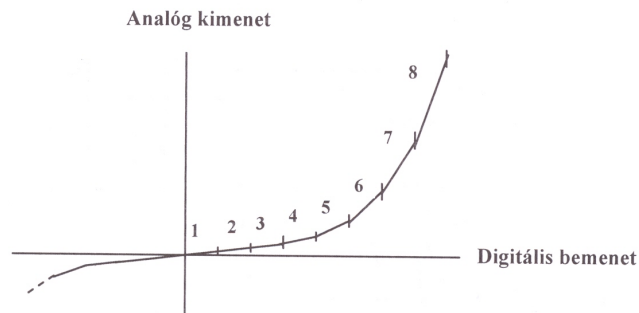


V. Logaritmus karakterisztikájú A/D

- Dinamika kompresszió
- Adó oldalon a bemeneti jelet logaritmus függvény szerint 8 bites jellé alakítják (dinamika komprimálása), a vevő oldalon exponenciális karakterisztikával dekódolják.
- Telefonálás közben ritkán kiabálunk, nagyon hangos zajokat nem kell maximális bitszámmal átalakítani, ritkán fordul elő
- A dinamika komprimálás meghatározott függvény alapján történik a telefontechnikában
 - *A-Law, μ -Law szabvány*

V. Logaritmus karakterisztikájú A/D

- Komprimált digitális jelhez alkalmazott karakterisztika

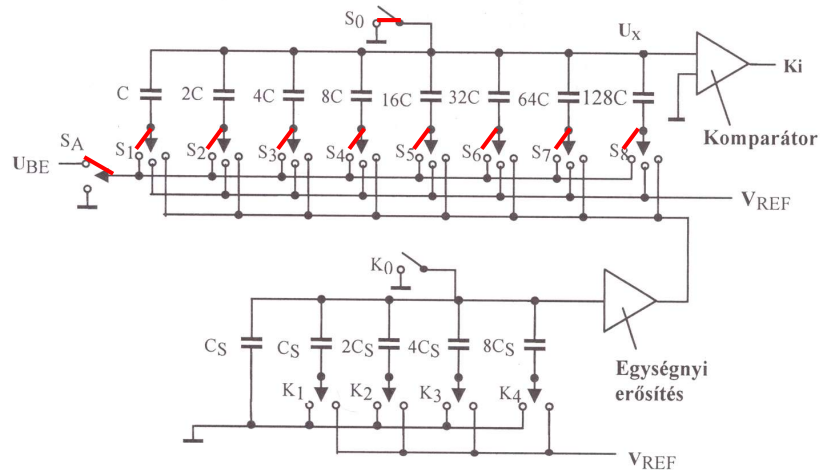


V. Logaritmus karakterisztikájú A/D

- Gyakorlatban nem egzakt logaritmus függvénnel történik a komprimálás
- Hanem szegmensekkel (húrokkal) közelítjük a görbét.
- Telefontechnika: 8 húr (3 bit információ), húron belül 16 szint különböztetve meg (lineáris 4 bit) + előjel 1 bit.

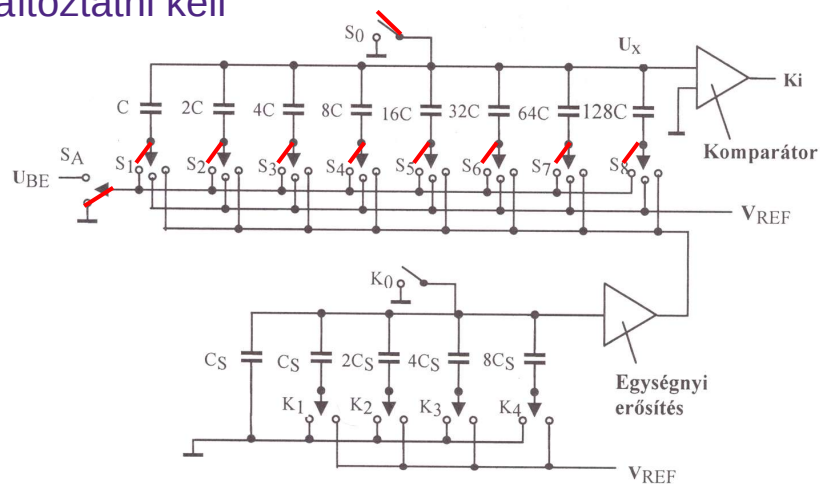
V. Logaritmikus karakterisztikájú A/D

- I. Mintavétel és előjel meghatározása



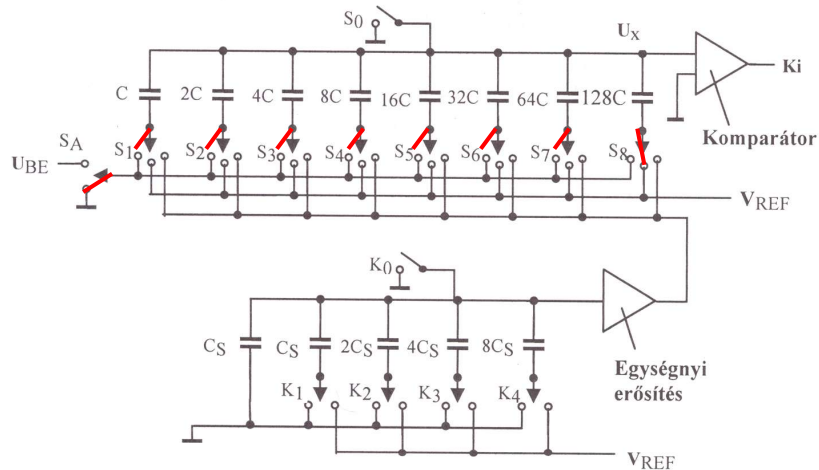
V. Logaritmikus karakterisztikájú A/D

- Ha komparátor kimenete pozitív, úgy U_{REF} előjelét változtatni kell



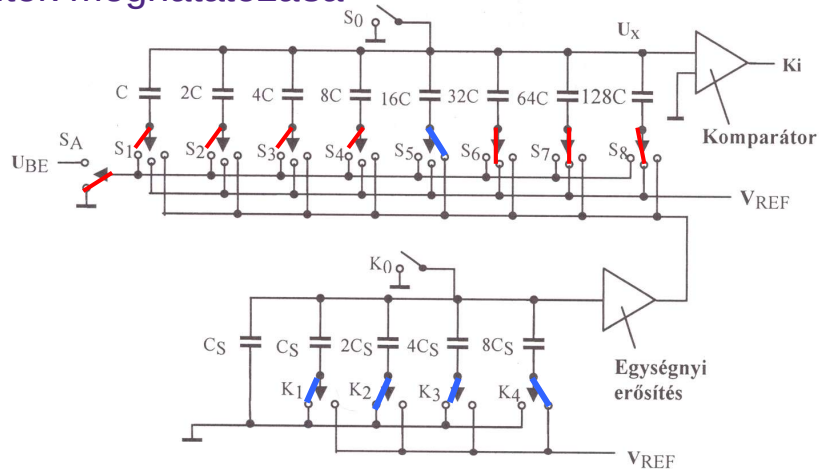
V. Logaritmikus karakterisztikájú A/D

- II. Szegmens meghatározása S_i kapcsolók V_{ref} -re
(lényegében U_x növelve, míg szegmens felső határa elérve) $d_6 \dots d_4$ bitek

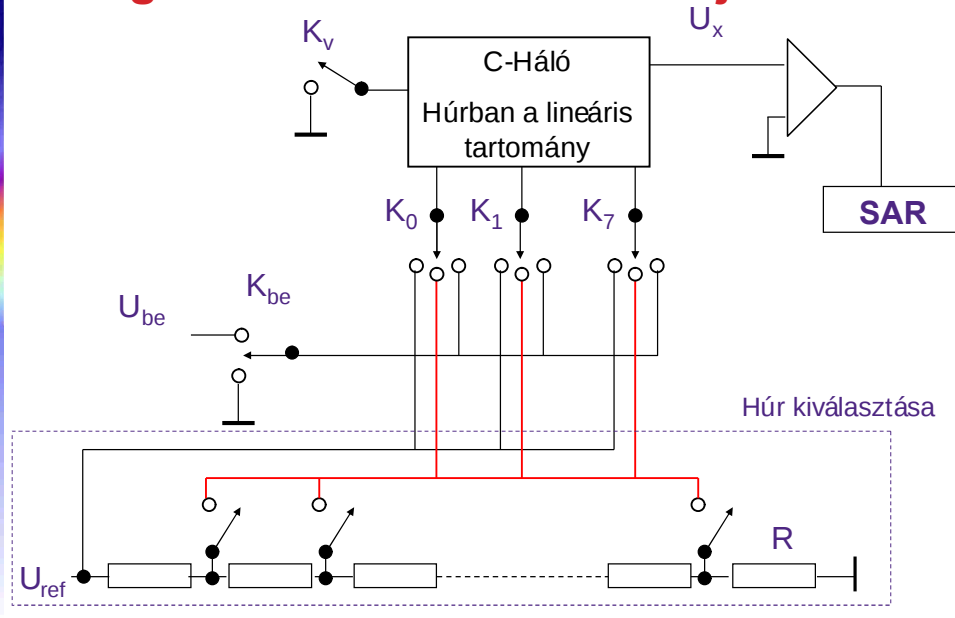


V. Logaritmikus karakterisztikájú A/D

- III. Szegmensen belüli rész meghatározása LSB bitek meghatározása



V. Logaritmikus karakterisztikájú A/D

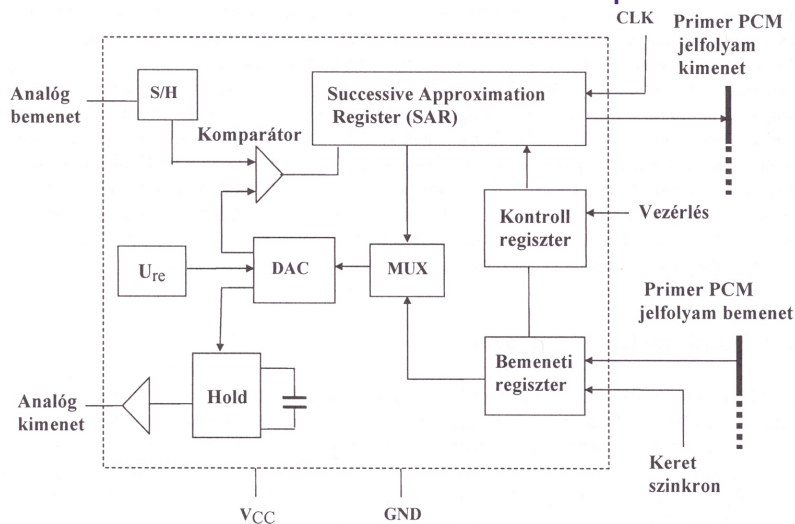


V. Digitális távbeszélő hálózat

- Beszédjel 300...3400Hz közötti átvitele elegendő
- Előfizetői hurkot fogadó egység lényeges eleme a *Codec* áramkör
- Átalakítja a bejövő analóg jelet digitálissá és beilleszti a megfelelő időzésbe
 - 2048 Mbit/sec átvitel, 30 beszéd és 2 jezlés csatorna
 - Minden beszéd-csatorna 8Khz frekvenciával mintavett, logaritmikus karakterisztikával komprimált 8 bitre digitalizált jel
- DAC kapacitív hálós
- Első nagytömegben gyártott, professzionális analóg CMOS áramkör volt

V. Digitális távbeszélő hálózat

- Coder/Decoder CMOS VLSI IC felépítése



V. Digitális távbeszélő hálózat

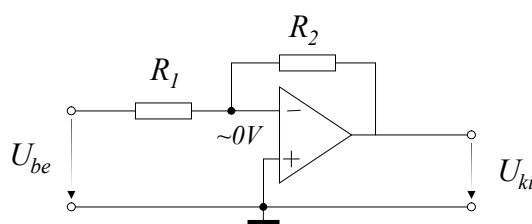
- Subscriber Line interface Circuits (SLIC) áramkörök tartalmazzák:
 - Kapcsolt kapacitású szűrőkkel megvalósított bemeneti jelformáló (300 Hz, 3400 Hz)
 - Codec IC
 - Csengetés jel generátor, érzékelő
 - Túlfeszültség védelem, ESD problémák
 - Telepfeszültség
 - Adás/vétel irányú beszédjel szétválasztás
- Ma már teljesen integrálva egy áramkörbe, de régen hibrid IC-s (kerámiahordozós) megvalósítás

D/A átalakítók

- Fajtái
 - Integráló típusú (2^n lépésben átalakítók)
 - Bit-soros (n lépésben átalakítók)
 - Párhuzamos (1 lépésben átalakítók)

Egylépéses áramösszegző D/A

- Fázisfordító erősítő

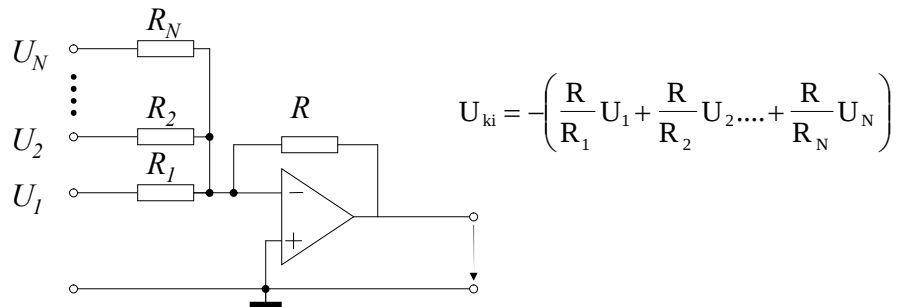


$$\frac{U_{be}}{R_1} + \frac{U_{ki}}{R_2} = 0$$

$$A_v = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Egylépéses áramösszegző D/A

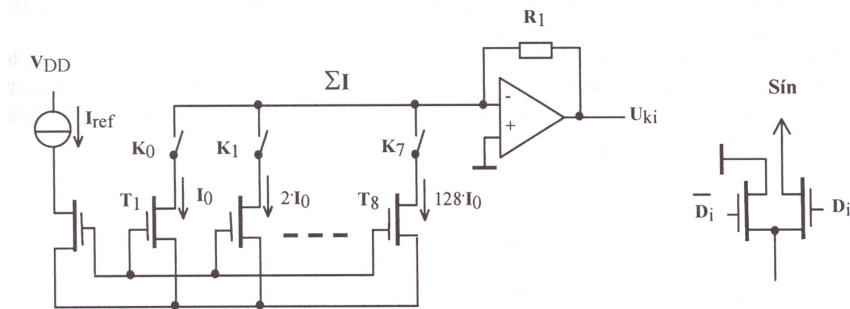
- Összeadó erősítő kapcsolás (szuperpozíció elve)



Egylépéses áramösszegző D/A

- Áramösszegzés, áram-kvantálás elvén alapul
- Áramtükörben több binárisan növekvő áramú, így növekvő W tranzisztor (több darab tranzisztorból összerakva)
- Tranzisztorok áramát I_{ref} és a geometriájuk határozza meg
- Áramok összegzése nem invertáló műveleti erősítővel
- PONTOSÁG !!!

Egylépéses áramösszegző D/A

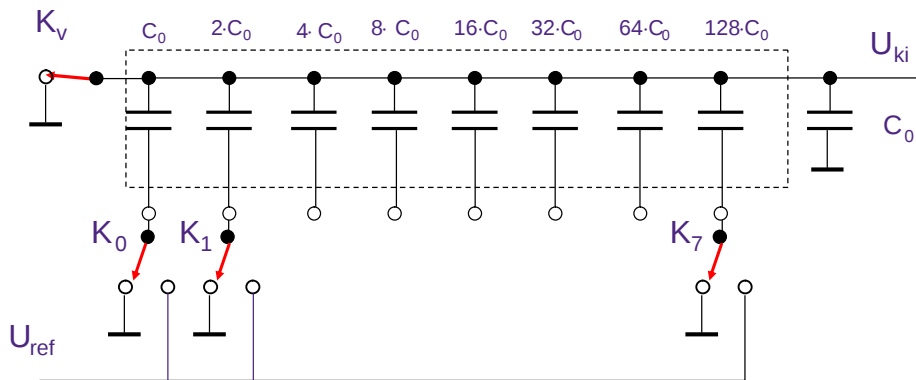


Tervezési megfontolások

- Hogy biztosíthatjuk az átalakítás pontosságát?
 1. Nem a W növekszik, hanem egységnyi w csatornaszélességű (I_0 -hoz tartozó) tranzisztorok párhuzamos kapcsolásával
 2. Egységnyi tranzisztor mérete a megvalósítható minimális méret többszöröse (méretszórások)
 3. Szimmetrikus elrendezésre való törekvés. Nagy áramú elemek összetevői a többi körül egyenletesen elosztva.

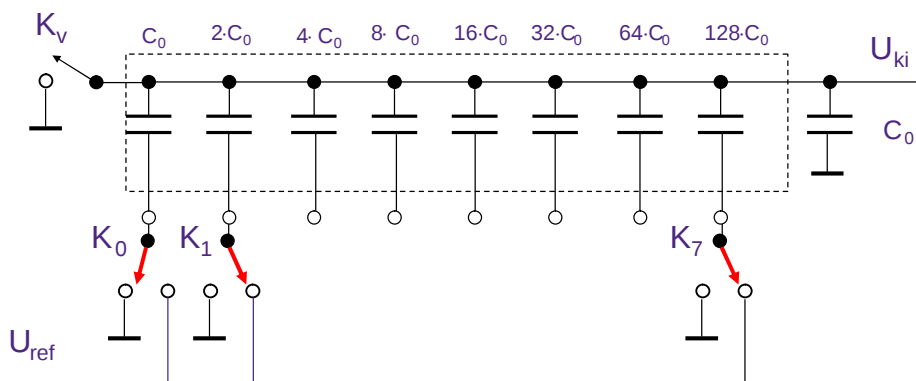
Egylépéses kapacitív D/A

- Kapacitás háló kisütése, U_{ki} kimenet nullázása



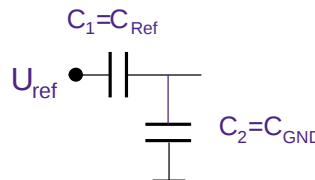
Egylépéses kapacitív D/A

- $D_i=0$ esetén K_i U_{ref} -re kapcsolva
- $D_i=1$ esetén K_i földre kapcsolva



Egylépéses kapacitív D/A

•



$$U_{Ki} = U_{ref} \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2}} = U_{ref} \cdot \frac{1}{j\omega} \cdot \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} =$$

$$= U_{ref} \cdot \frac{1}{\frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2}} = U_{ref} \cdot \frac{1}{C_2} \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = U_{ref} \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

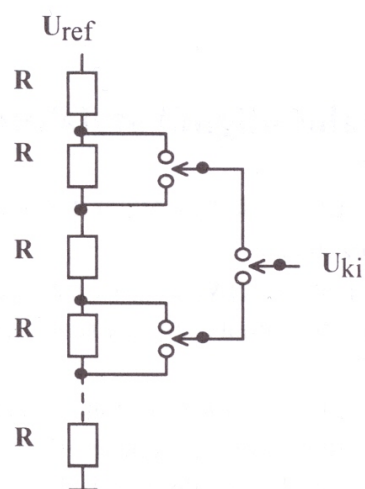
Egylépéses kapacitív D/A

- Előnyös, mert statikus áramfelvétele 0
- Kapacitások pontossága jobban kézben tartható (utólagos kalibráció lehetősége, hőmérséklet-érzékenysége kisebb)
- Tervezési megfontolásokat figyelembe kell venni!!!
- Nagyfelbontású D/A esetén nagyon pontosan kell megvalósítani a kapacitásokat, de technológiai szórások !!! SZÜKSÉGES utólagos trimmelhetőség...

Ellenállás-osztásos D/A

- Elvi működése:
 - Minden lehetséges kimeneti Analóg értéket előállítunk
 - Nagyméretű, digitális kapcsolómátrix segítségével választjuk ki a bemenetnek megfelelő analóg értéket ezen jelek közül
 - Lényegében egy bináris fa, ahol az ellenállások egyforma értéke rendkívül fontos (IC)
- Nagyon nagy a helyigénye a sok ellenállás (8 bit esetén legalább 256 darab) és a sok kapcsoló tranzisztor miatt.
- Állandó statikus áram, disszipáció

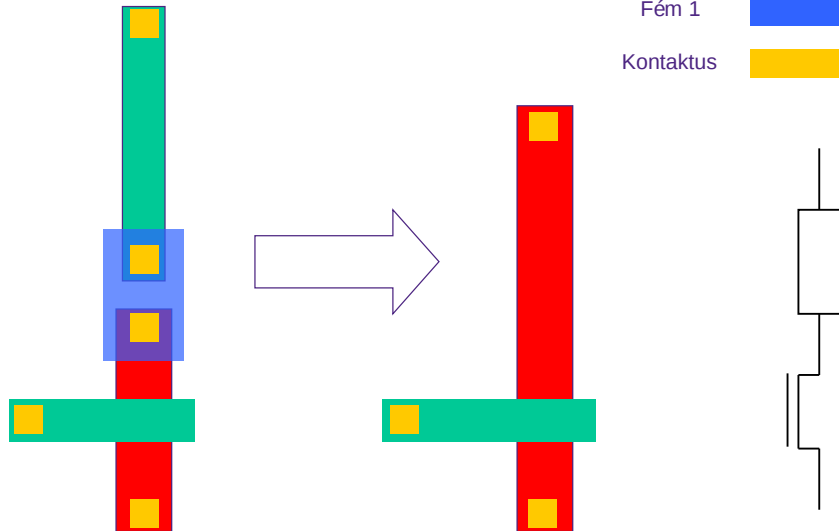
Ellenállás-osztásos D/A



Ellenállás-osztásos D/A

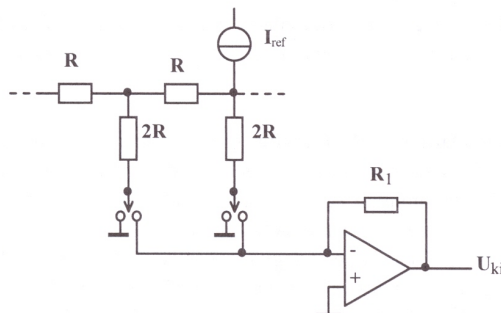
- Tervezési trükk a layout-on

Poliszilícium	
Diffúzió	
Fém 1	
Kontaktus	



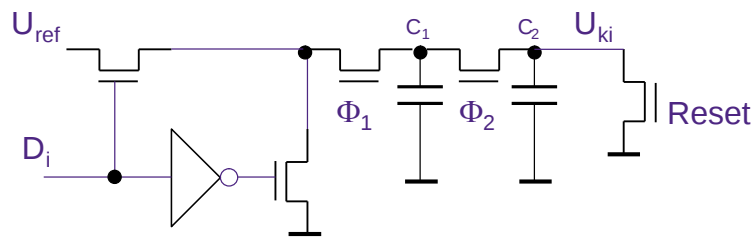
Ellenállás-létrás, áramösszegző D/A

- $R/2R$ létre bináris feszültségosztás
- Összesen 8 bites átalakító esetén 8 darab $R/2R$ fokozatra van szükség
- Ellenállások méretének egyformasága fontos
- Hátrányos a folyamatos áramfelvétel



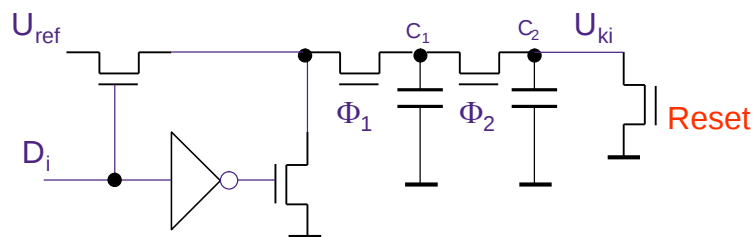
Töltésfelezős, n-lépéses D/A átalakító

- Maximum 8..10 bites megoldások
- Nagyon fontos, hogy C_1 és C_2 kapacitás értéke egyenlő legyen



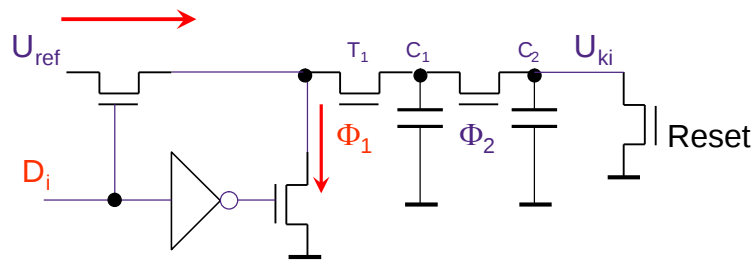
Töltésfelezős, n-lépéses D/A átalakító

- I. Kimeneti kapacitás kisütése



Töltésfelezős, n-lépéses D/A átalakító

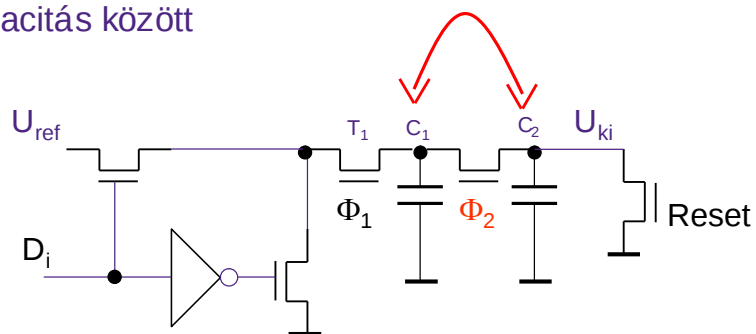
- II. LSB bit értékének megfelelően, T_1 tranzisztor bemenetére kapcsolva föld vagy U_{ref} kapcsolva



Töltésfelezős, n-lépéses D/A átalakító

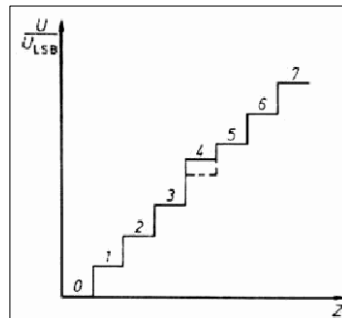
- III. T_2 tranzisztor bekapcsolásával töltésmegosztás jön létre a két kapacitás között

$$U_{ki} = \frac{U_{ref}}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} D_i \cdot 2^i$$



D/A átalakítók hibái

- Statikus hiba: Linearitás-hiba. Ha a linearitás hibája az $1/2 U_{\text{LSB}}$ -t túllépi, akkor a szolgáltatott függvény nem lesz monoton



D/A átalakítók hibái

- Dinamikus hiba: nagyszámú kapcsoló elem van a D/A átalakítókban. Amikor a kódban sok bit változik egyszerre, pl. $2^n - 2^{n-1}$ váltás, tüskék (glitch) kerülnek a kimenetre.
- A tüskék hatását a kimeneten egy mintavevő és tartó áramkörrel lehet kiküszöbölni

