

**Számláló típusú $\Delta\Sigma$ A/D
átalakítók felbontásának
javítása ditherrel
(Enhancing the Resolution of Incremental
Converters with Dither)**

János Márkus

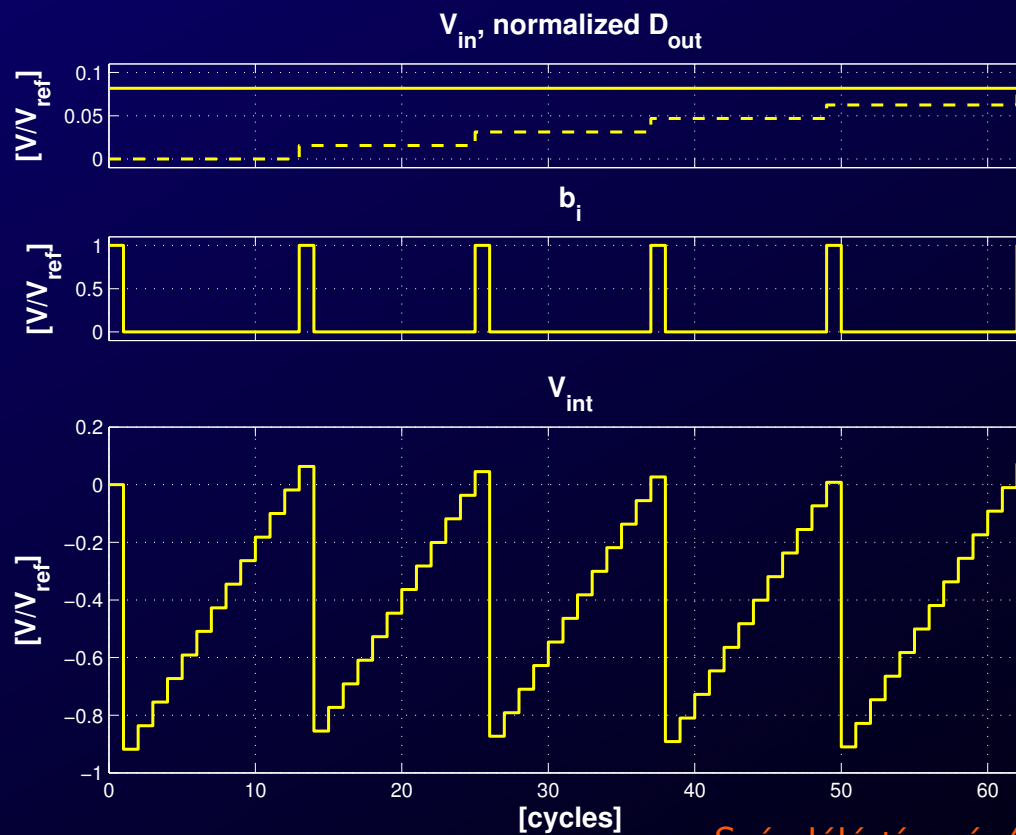
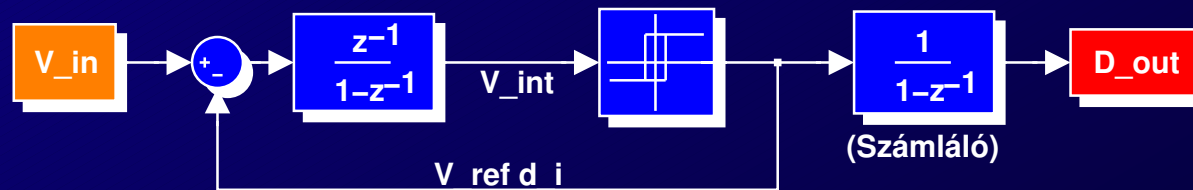
Konzulensek: Kollár István és Temes Gábor

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék**

Bevezetés

- Számláló típusú $\Delta\Sigma$ A/D átalakító
 - felépítése;
 - működése;
- Digitális szűrés megvalósítása;
- Dither alkalmazása;

A számláló típusú átalakító működése I.



A számláló típusú átalakító működése II.

- Kapcsolt-kapacitású áramkör;
- Diszkrét-idejű rendszer;
- Működése:

$$V_{\text{int}} = 2^n V_{\text{in}} - NV_{\text{ref}}$$

$$N = 2^n (V_{\text{in}}/V_{\text{ref}}) - V_{\text{int}}/V_{\text{ref}}$$

$$V_{\text{int}} = 2^n q V_{\text{ref}};$$

- Egyszerű hardver, paraméter-érzékenlen megvalósítás;
- Kis helyigény, alacsony fogyasztás.

A számláló típusú átalakító működése III.

- Strukturális hasonlóság a $\Delta\Sigma$ modulátorhoz;
- Különbségek:
 - Szakaszos működés;
 - Analóg, digitális integrátor (memóriaelem) lenullázandó;
 - A digitális (átlagoló/decimáló) szűrő egyszerűbb, gyorsabb.
- \Rightarrow Tranziens üzemmód;
- Elnevezések: one-shot $\Delta\Sigma$, one-cycle $\Delta\Sigma$, no-latency $\Delta\Sigma$.

Az átalakító alkalmazási területei

- Alternatíva a Dual-Slope alkalmazásoknál;
- Jó linearitás (nem-vonalas spektrum), nagy pontosság, kis ofszet-hiba;
- Szakaszos működés, multiplexálható;
- Hálózati frekvencia elnyomható;
- Mintavevő-tartó nélkül: műszerek, DC mérés, érzékelők;
- Mintavevő-tartóval: szabályozó hurkok, érzékelők, ipari folyamatok monitorozása.
- Kis méret, fogyasztás: vektor-, mátrixkvantálók.

Digitális szűrés

$\Delta\Sigma$ modulátoroknál

- Modulátor bináris kimenete \Rightarrow kódszó;
- $\Delta\Sigma$ modulátoroknál az alkalmazott szűrő

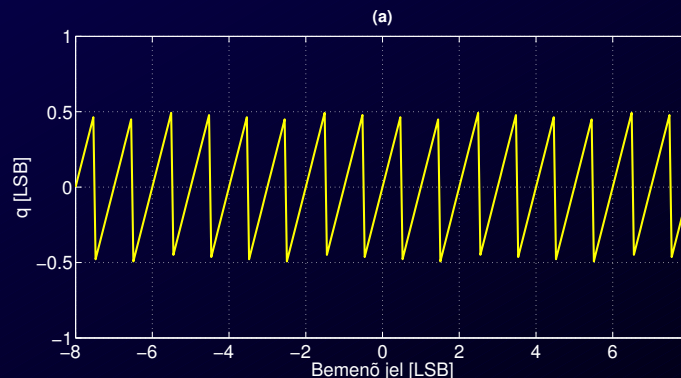
$$NTF_D(z) = (1 - z^{-1})^M$$

$$H_{\text{dec}}(z) = \frac{1}{N^{M'}} \frac{(1 - z^{-N})^{M'}}{(1 - z^{-1})^{M'}}$$

- Legtöbbször $M' = M + 1$;
- Zajformálás;
- Tranziens átmenet (késleltetés): $M - 1$ ciklus.

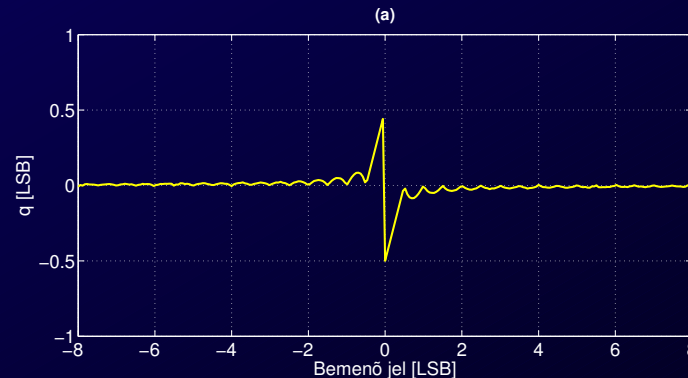
Digitális szűrés számláló típusú átalakítóknál

- Kaszkádosított integrátorok;
- A modulátor és a szűrő rendje ugyanaz;
- Következmények:
 - Kvantálási hiba ugyanolyan jellegű, mint a hagyományos átalakítóké;
 - $V_{\text{int}} = 2^n q V_{\text{ref}}$.



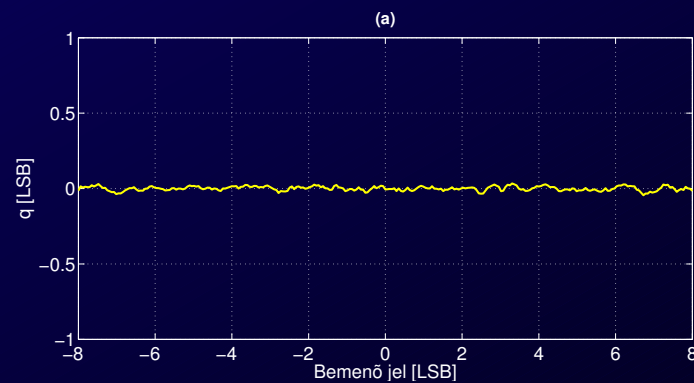
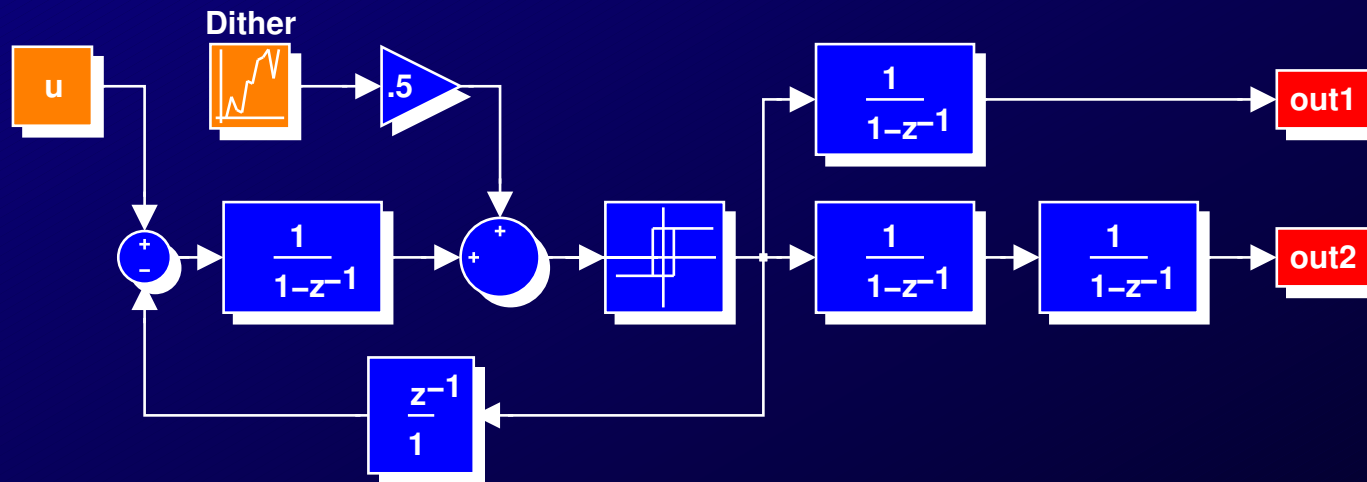
Magasabb rendű szűrők alkalmazása

- Alkalmazzunk itt is magasabb rendű szűrést;
- Előnyei: több kódszó, jobb felbontás vagy rövidebb idő;
- Probléma: Kis bemeneteknél nagy hiba.



- Oka: a hurok nem működik, nem triggerel a komparátor.

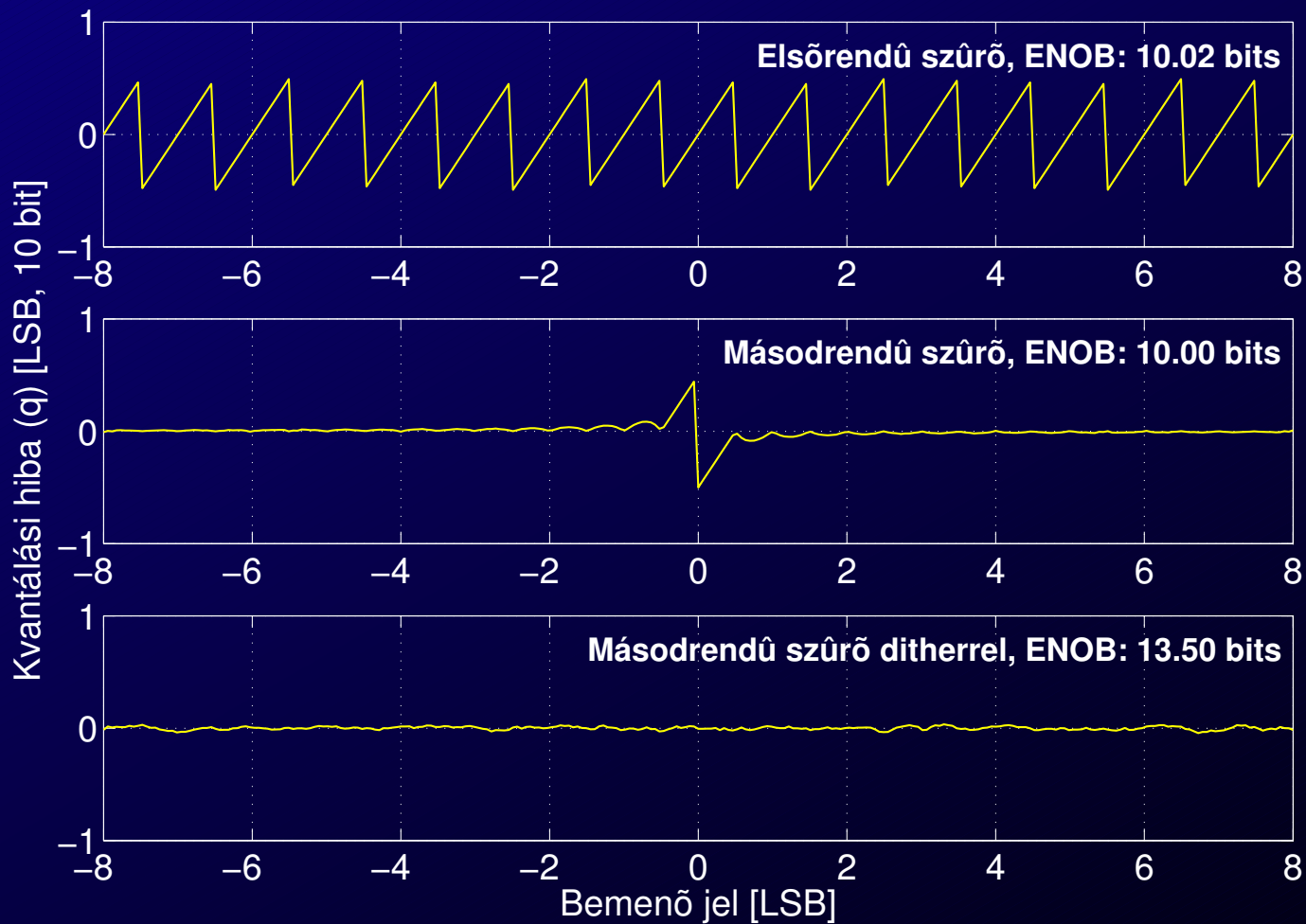
Javítás ditherrel I.



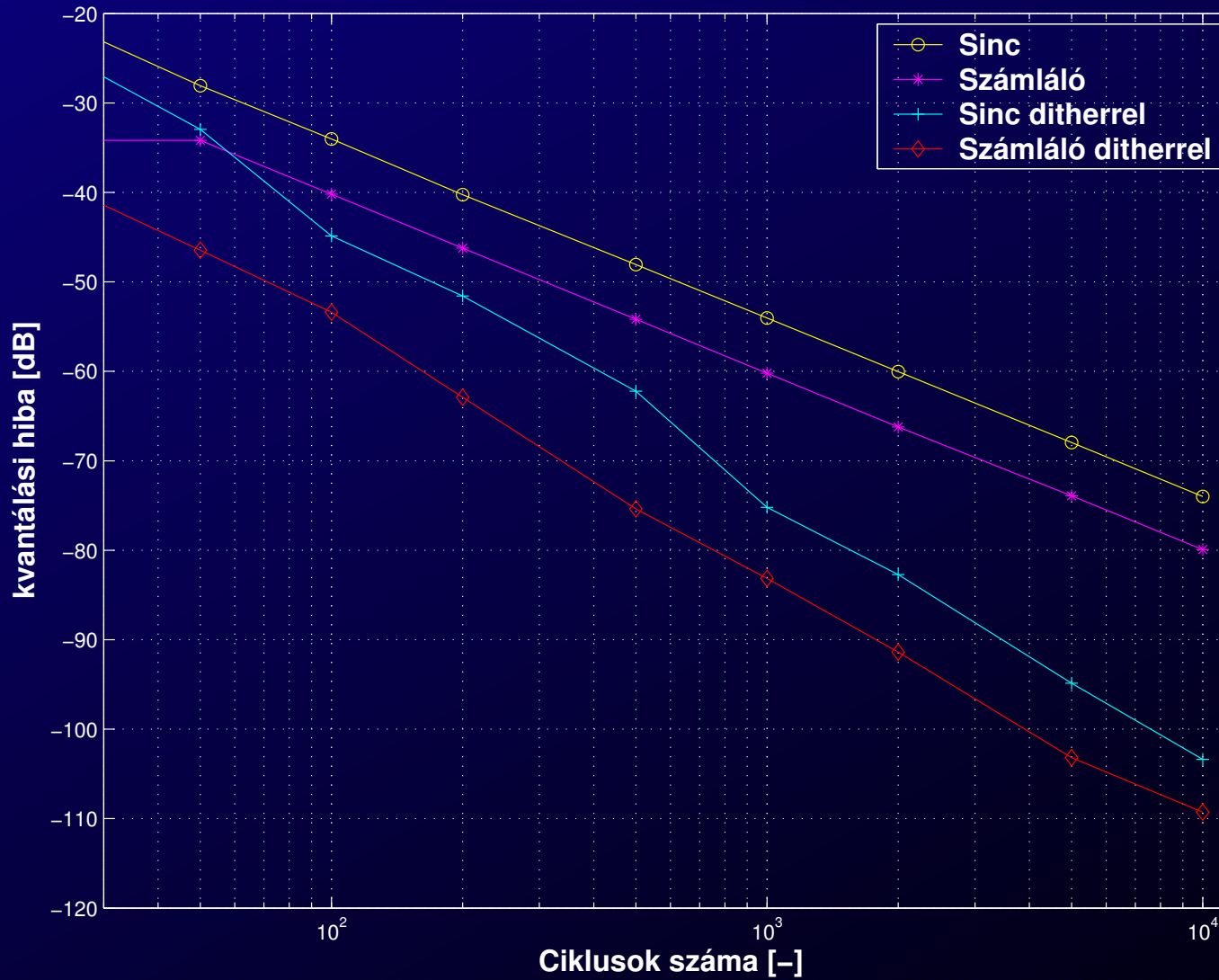
Javítás ditherrel II.

- Egyenletes eloszlású dither, viszonylag nagy amplitúdó;
- A dither a zajátviteli függvénnel formált;
- Lehet álvéletlen – periódusa az átalakító ciklusszámával egyező;
- Digitális megvalósítás: néhány bit felbontás;
- Alternatívák:
 - bemeneti dither (nagy amplitúdó, IM torzítások);
 - szinuszos dither (nagy amplitúdó, szinkron).

Eredmény



Szűrők hatékonysága I.



Szűrők hatékonysága II.

Szűrőtípus	felbontás	Ciklus	An. hv.	Digit. hv.
sinc-filter	10 bit	2500	1 int,	2 int,
	8.6 bit	1024	1 comp.	2 diff.
számláló	10 bit	1200	ua.	számláló
	9.7 bit	1024		
sinc-filter ditherrel	10 bit	500	ua. +	2 int, 2 diff
	12.2 bit	1024	dither	dither gen.
számláló ditherrel	10 bit	180	ua. +	számláló, int.
	13.5 bit	1024	dither	dither gen.

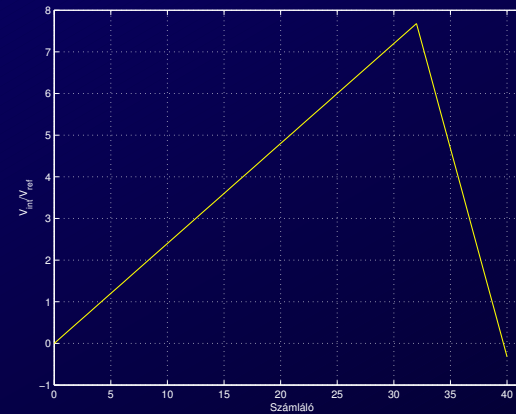
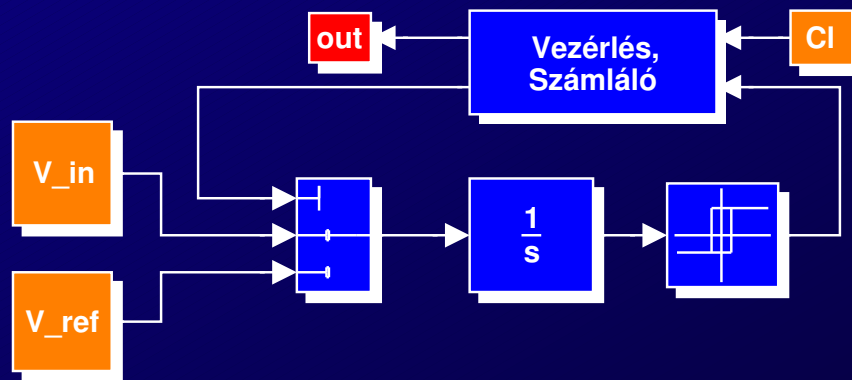
Korlátozások

- **Ofszet és aszimmetria (kompenzálható kétciklusú konverzióval);**
- **Erősítéshiba (kétpontos kalibráció);**
- **kT/C zaj (méretezés, sebesség);**
- **Mintavevő kondenzátor nemlinearitása (áramköri megoldások, több-bites visszacsatolás);**

Összefoglalás

- Számláló típusú $\Delta\Sigma$ A/D átalakító
 - felépítése;
 - működése;
- Digitális szűrés megvalósítása;
- Dither alkalmazása;
- Magasabb rendű átalakítók: másodrendű modulátorral 15-bites felbontás eléréséhez 256 órajel elegendő, dither nélkül.

A Dual-Slope átalakító működése



$$V_{in}T_0 = V_{ref}T_1 - \epsilon$$

$$V_{in}/V_{ref} = T_1/T_0 + q/2^n = N/2^n + q/2^n$$

- Nagy, külső lineáris kapacitás, valamint zajmentes és lineáris műveleti erősítő szükséges az integrátorhoz;
- Nehezen ágyazható be CMOS digitális környezetbe.

Néhány átalakító-család

- Analog Devices AD77xx család;
- Linear Technology LTC24xx család;
- Cirrus Logic CS55xx család;
- Burr-Brown (TI) ADS1210.

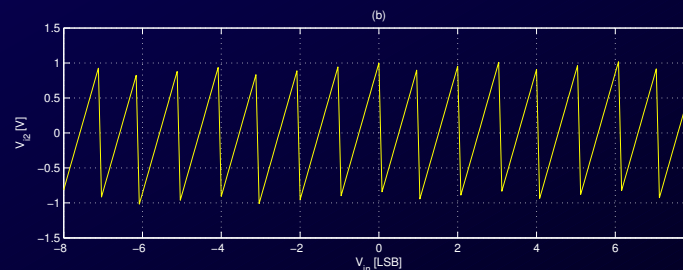
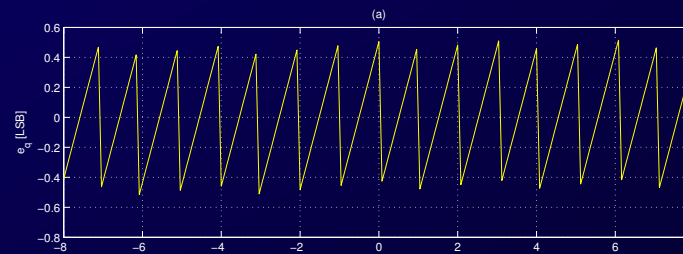
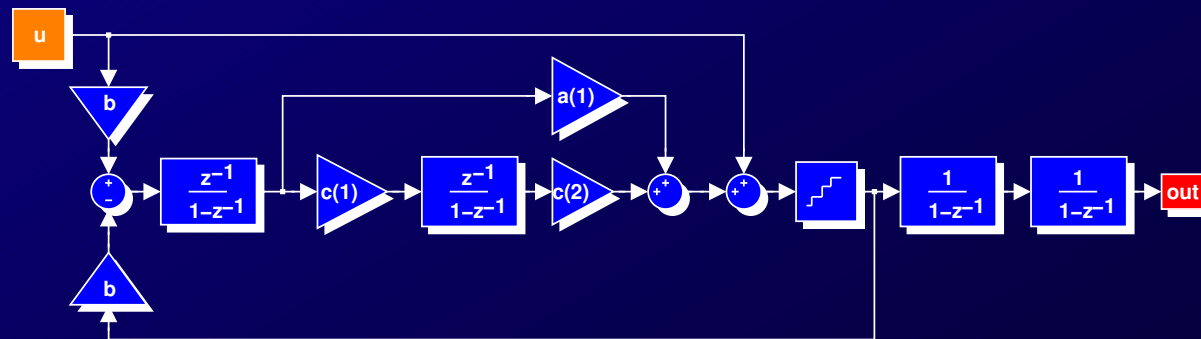
Magasabb rendű átalakítók

- Magasabb rendű $\Delta\Sigma$ struktúrák alkalmazhatók;
- Jelentősen csökkenhet a szükséges ciklusok száma:

$$\frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{ref}}} = \frac{1}{\binom{n+M-1}{M}} \underbrace{\sum_{m=0}^{n-M} \sum_{l=0}^{n-M} \cdots \sum_{k=0}^{n-M}}_M d_k.$$

- Alkalmazható mind klasszikus sinc-szűrővel ill. az imént ismerttetett módszerekkel (sebesség \Leftrightarrow hálózati frekvencia elnyomása).

Másodrendű példa



15-bites felbontás eléréséhez 256 órajel elegendő, dither nélkül.