

**Digitálisan kalibrálható
ciklikus A/D átalakítók
monotonitása**
(Monotonicity of Digitally Calibrated
Cyclic A/D Converters)

Márkus János

Konzulens: Kollár István

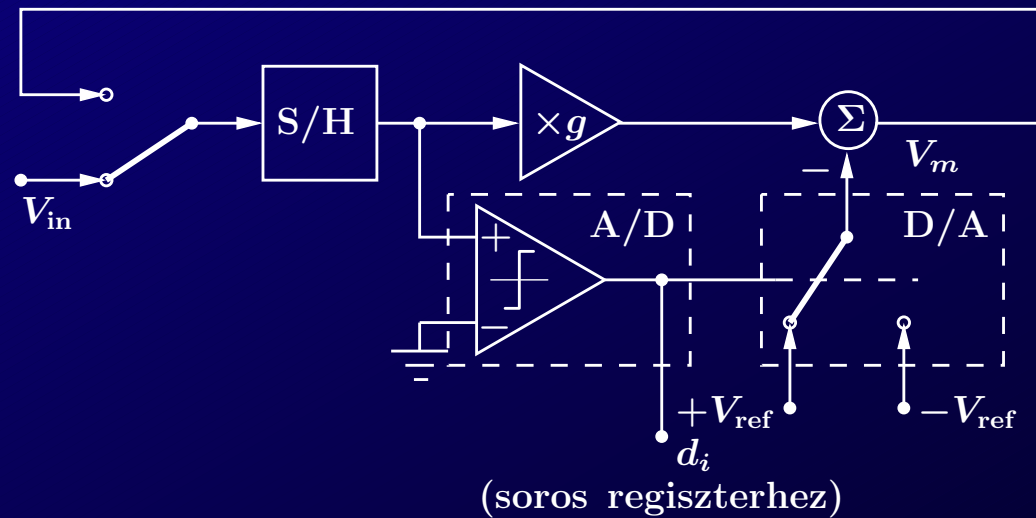
**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék**



A/D átalakítók

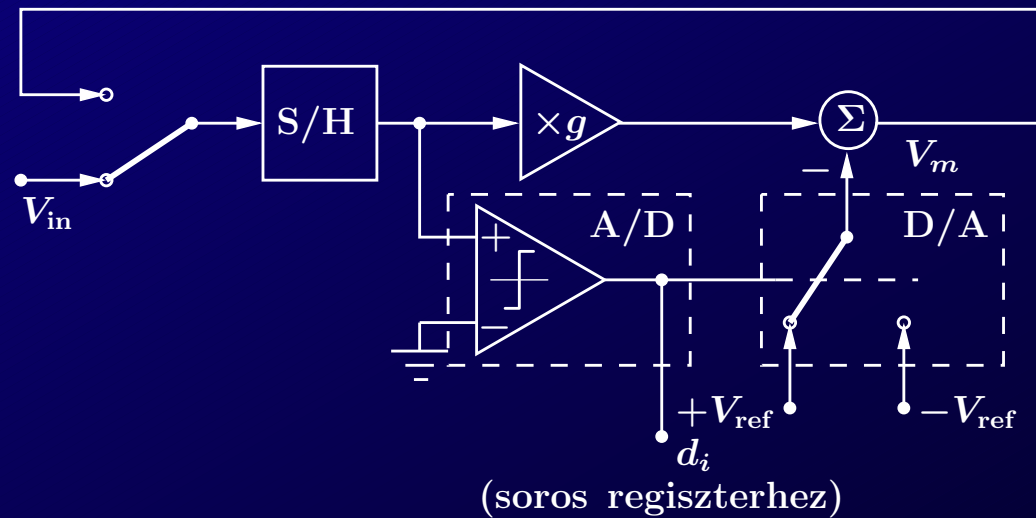
- Nyquist-frekvenciás átalakítók
 - sorozatos közelítéses (successive approximation)
 - párhuzamos (flash)
 - soros-párhuzamos (sub-ranging)
 - több-bit/egység, 1-bit/egység
 - egyszerű, pipeline, ciklikus
 - integráló (pl. dual-slope)
- Túlmintavételező átalakítók
 - Egyszerű túlmintavételezés
 - Zajformálás ($\Delta\Sigma$ vagy $\Sigma\Delta$ átalakítók)

Ciklikus A/D átalakító



Ideális esetben $g = 2$.

Ciklikus A/D átalakító

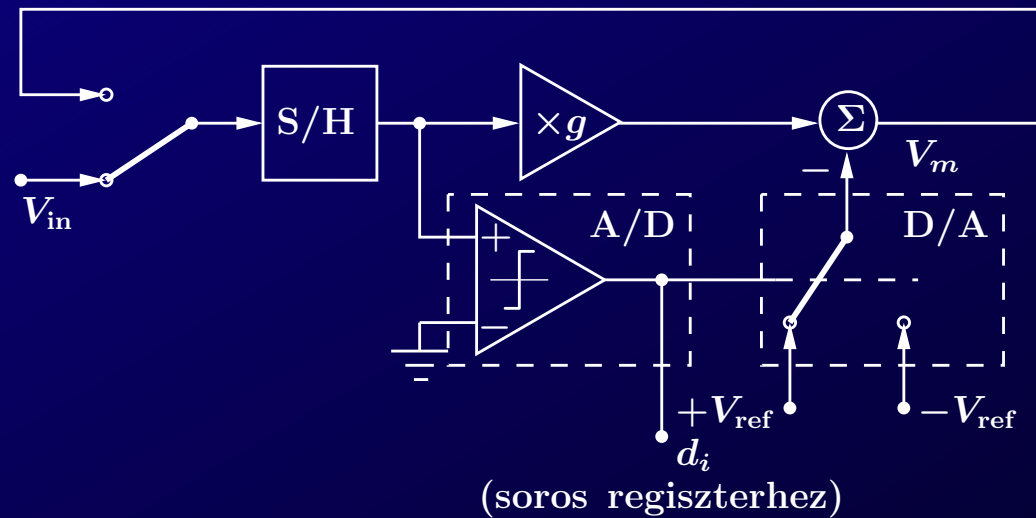


Ideális esetben $g = 2$.

$$V_m[1] = gV_{in} - d_1 V_{ref}$$

$$\begin{aligned} V_m[2] &= gV_m[1] - d_2 V_{ref} = \\ &= g^2 V_{in} - g d_1 V_{ref} - d_2 V_{ref} \end{aligned}$$

Ciklikus A/D átalakító



⋮

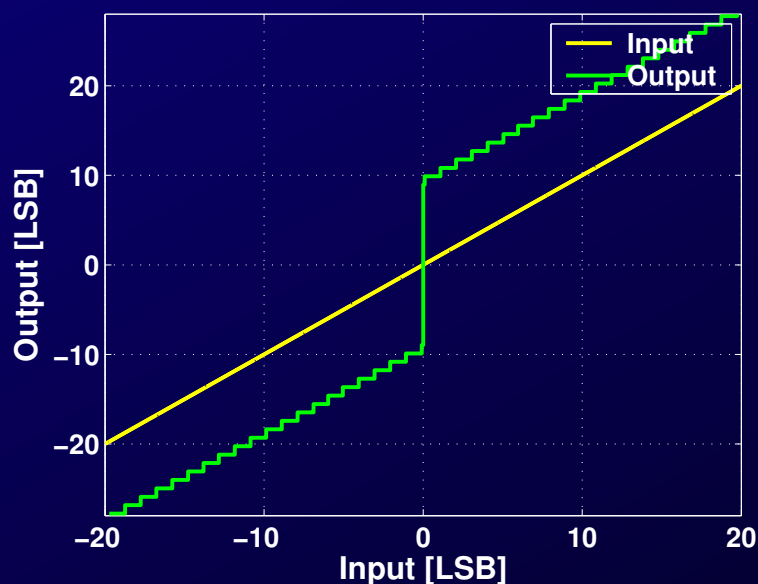
$$\begin{aligned}
 V_m[n] &= g^n V_{\text{in}} - g^{n-1} d_1 V_{\text{ref}} - \dots - d_n V_{\text{ref}} = \\
 &= g^n \left(V_{\text{in}} - \sum_{i=1}^n g^{-i} d_i V_{\text{ref}} \right).
 \end{aligned}$$

A ciklikus A/D átalakító hibái

$$g < 2$$

hiányzó kódok
(missing codes)

$$g=1.99$$



$$g > 2$$

hiányzó döntési küszöbök
(missing decision levels)

$$g=2.01$$

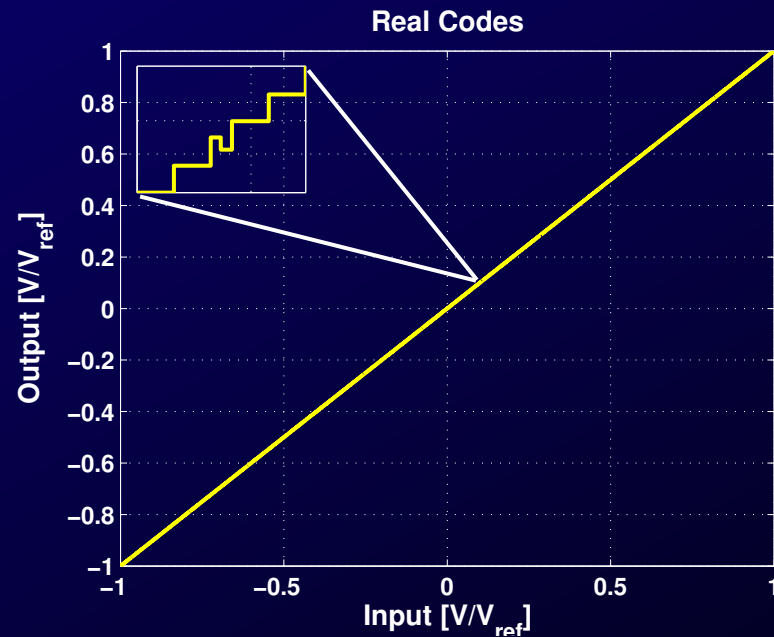


A kimenet számítása

- Digitális kalibráció [2]:

$$\sum_{i=1}^n \hat{g}^{-i} d_i$$

- Elvileg nem egyértelmű leképezés ($\hat{g} < 2$), de hiányzó kódok is vannak, hiszen $g < 2$
- $g = \hat{g} = 1.95$
- Nem-monoton ugrások a kimenetben! (Nem szeretjük.)



Kérdések

- Miért vannak ilyen nem-monoton ugrások?
- Mekkora?
- Mennyi ilyen van?
- Hogyan lehetne ezeket eltüntetni?

Nem-monoton ugrások

- Működés miatt (vö. 2. fólia):

$$\left| V_{\text{in}} - \sum_{i=1}^n g^{-i} d_i V_{\text{ref}} \right| = \frac{|V_m[n]|}{g^n} \leq \frac{V_{\text{ref}}}{g^n}.$$

- Így 2 egymást követő kód különbsége is limitált

- Pl. MSB-váltások ($0 \underbrace{111 \dots 1}_k \Rightarrow 1 \underbrace{000 \dots 0}_k$)

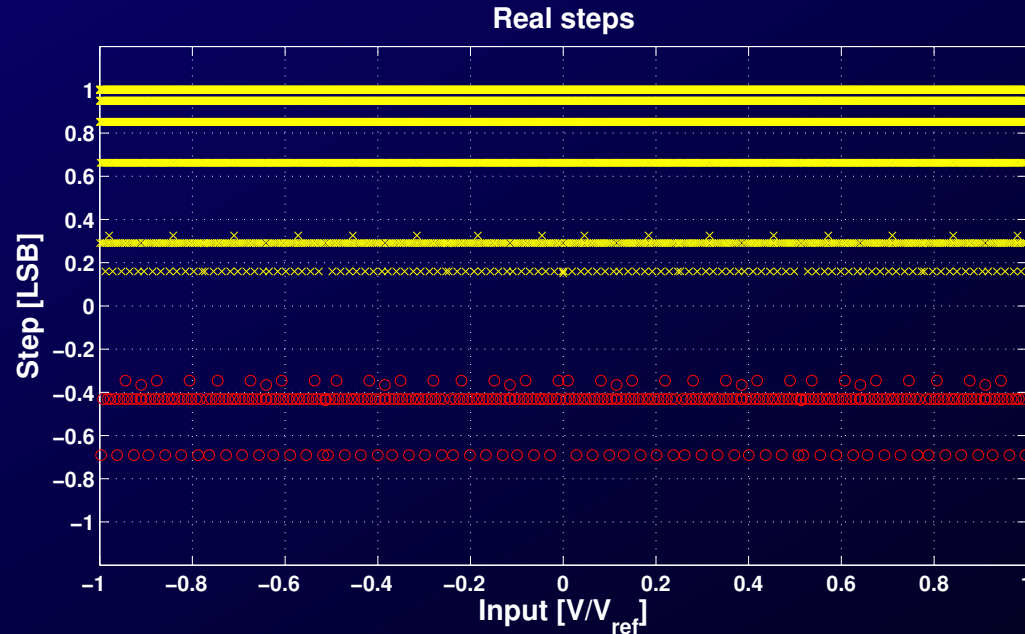
- megoldandó k -ra: $-1 < g^k - \sum_{i=0}^{k-1} g^i < 0$

- pl. $g = 1.95$ esetén $k = 5$ (-0.431 LSB)

- $g \in (1, 2)$ esetén mindig van egy ilyen k

Hibagyakoriság I.

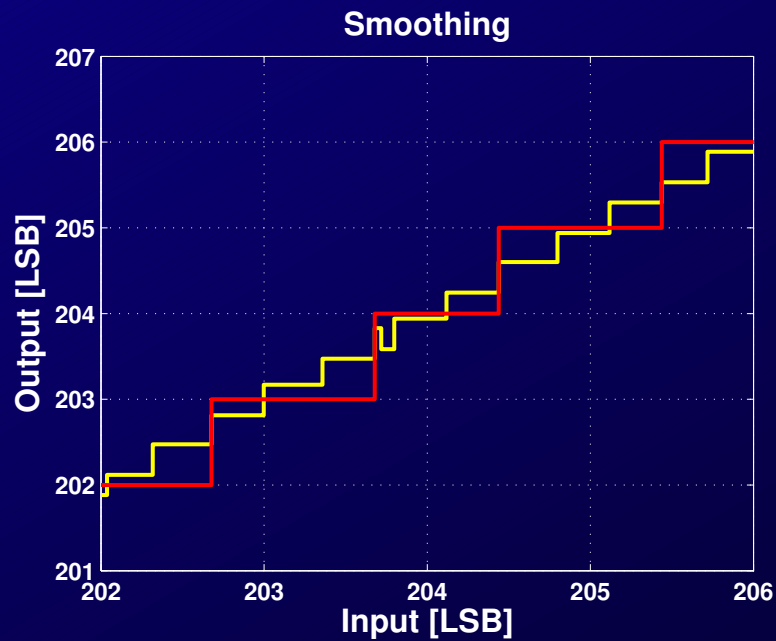
- $g = 1.95$, $n = 14$ esetén a negatív lépések száma: 326 (5.6%).



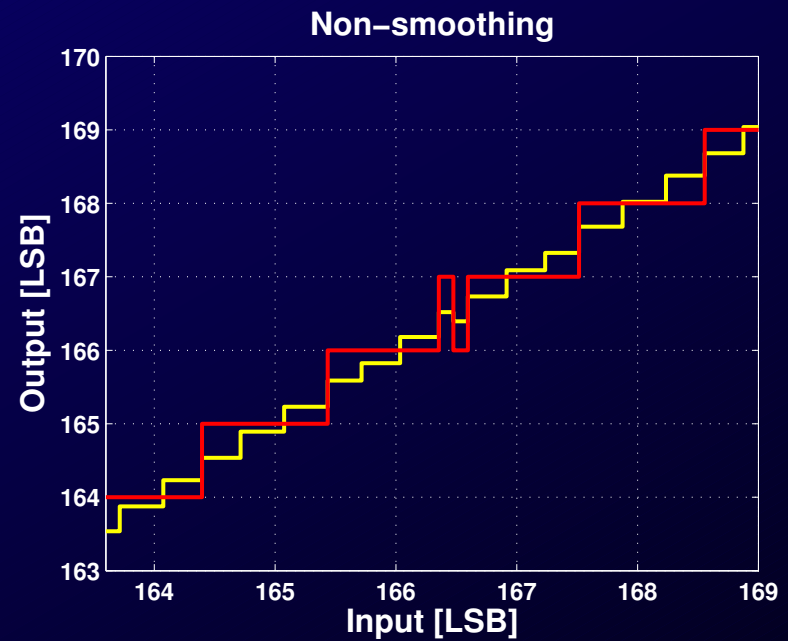
- De: kisebb felbontás ($g^n < 2^n$, $11494 < 16384$) miatt újrakvantálás ($n_{\text{bit}} \leq n - 2$), ami simít

Újrakvantálás

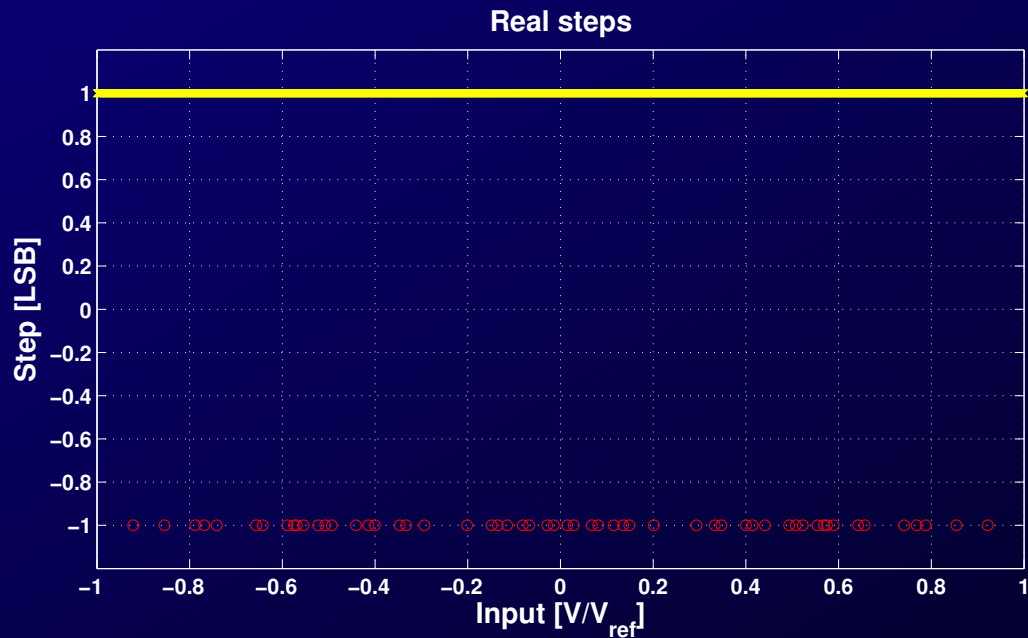
Simított ugrás



Nem simított ugrás



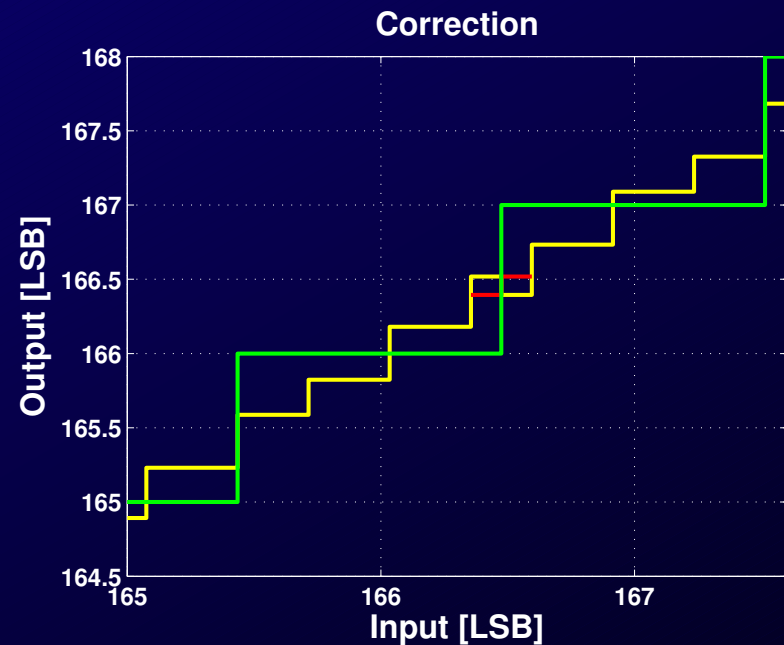
Hibagyakoriság II.



- $g = 1.95$, $n = 14$, $n_{bit} = 12$
- Megmaradó nem-monoton ugrások: 56 (2.7%)

Monotonitás biztosítása

- g -függő k
- $\dots 0 \underbrace{111 \dots 1}_k$ kód: $+1$
hozzáadása
- $\dots 1 \underbrace{000 \dots 0}_k$ kód: -1
hozzáadása
- A két kód felcserélődik



További feladatok

- **Egyéb nem-monoton kódok kiszűrése**
 - pl. $xxxx\ 0111\ 1101 \Rightarrow xxxx\ 1000\ 0010$
- **Zajos eset számítása, a komparátor offszetjének figyelembevétele**
- **Kiterjesztés más 1-bit/egység átalakítókra (pl. pipeline: minden g más)**
- **Az átalakító nemlinearitásának számítása**



Elfogadott IMTC'2004 konferencia-cikk [3]

Összefoglalás

- **A/D átalakítók**
- **Ciklikus A/D átalakító**
 - működése
 - hibái
- **Digitális kalibráció és nem-monoton viselkedése**
- **A monotonitás biztosítása**
- **További feladatok**

Áttekintés

- A/D átalakítók
- Ciklikus A/D átalakító
 - működése
 - hibái
- Digitális kalibráció és nem-monoton viselkedése
- A monotonitás biztosítása
- További feladatok

A ciklikus A/D átalakító hibái I.

- **Analóg eszközök pontatlanok**
 - Maximum pontosság $\sim 0.1\%$
 - $\Rightarrow 10-11$ bit felbontás
- **Legfontosabb hibaforrás: g pontatlan**
 - $g < 2$ vagy $g > 2$
 - Analóg vagy **digitális kalibráció**

Digitális kalibráció

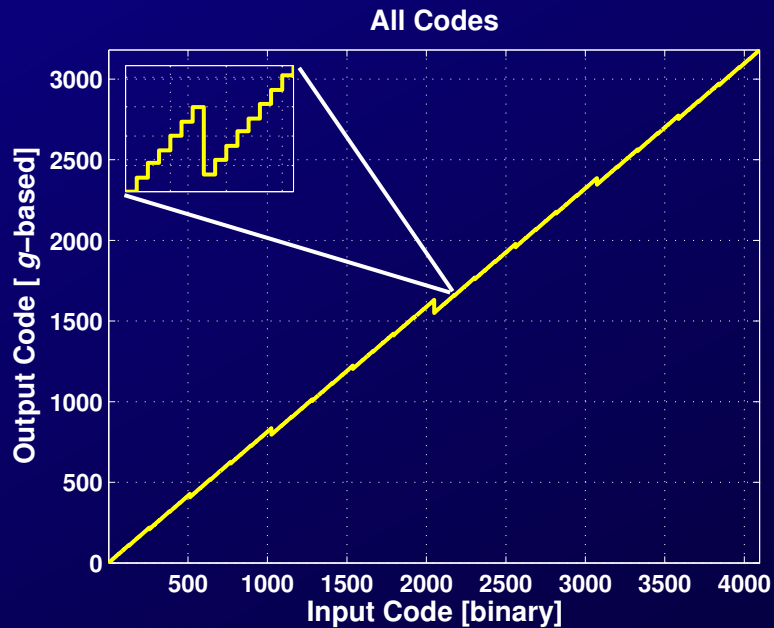
- A digitális kódok újraszámítása (remapping)
- Hiányzó döntési küszöb **nem engedhető meg**



- névleges $g < 2$ használata
- A digitális tartományban **\hat{g} -alapú számítás**

$$\left(\sum_{i=1}^n \hat{g}^{-i} d_i \right), \text{ ahol } \hat{g} \text{ } g \text{ becslése [2]}$$

A kimenet számítása I.



- Elvi példa
- Minden lehetséges kód számítása
(0000 0000 0000 \Rightarrow 1111 1111 1111)
- $\hat{g} = 1.95$
- Nem-monoton ugrások (akár 80 LSB)
- De: hiányzó kódok!