

*Méréstechnika*  
**KULCS\*SZÓ\*TÁR**

*dr. Pápay Zsolt*

**FREKVENCIA ÉS IDŐTARTAM**

**DIGITÁLIS MÉRÉSE**

**OKTATÁSI SEGÉDLET**

## "A SZÁMLÁLÁS A MÉRÉS PARADIGMÁJA"

A FREKVENCIA, IDŐTARTAM MÉRÉSEK EGYIK ALAPVETŐ, PONTOS ÉS GYORS MÓDSZERE AZ ESEMÉNY-SZÁMLÁLÁSRA ALAPOZOTT ELJÁRÁS (COUNTER/TIMER). ENNEK KULCSSZAVAIT, STRUKTÚRÁIT ÉS METRIKAI JELLEMZŐIT VÁZOLJA TÖMÖREN EZ AZ ÖSSZEFOGLALÓ.

A FÜGGELEK A HIBA-STATISZTIKA ELEMZÉSÉHEZ AD ÚTMUTATÓT.

### TARTALOM:

DEFINIÓK (MIÉRT ÁTLAGÉRTÉK A FREKVENCIA ADAT)  
ESEMÉNY-SZÁMLÁLÁS, ÉS AZ ELJÁRÁS UNIVERZALITÁSA  
MÉRÉSI HIBA

FREKVENCIAMÉRŐ ALGORITMUSOK:

- KÖZVETLEN MÓDSZER
- RECIPROK MÓDSZER, ÉS OPTIMÁLIS VÁLTOZATA:  
KÉT-REGISZTERES STRUKTÚRA

IDŐTARTAM MÉRÉS; NAGY FELBONTÁSÚ MÓDSZEREK:

- IDŐHIBA-KORREKCIÓ (EGY MÉRÉS)
- STATISZTIKUS ÁTLAG

### FELADATOK

"INSTRUMENT-ON-A-CHIP":

1cm7226 UNIVERZÁLIS SZÁMLÁLÓ, ÉS  $\mu$ P INTERFÉSZ  
cms1010 RECIPROK-MÓDSZERŐ FREKVENCIAMÉRŐ

FÜGGELEK:

CSATORNA PROFIL ÉS HIBA-ELOSZLÁS  
ADDITÍV-ZAJ MODELL, DITHER  
AZ ESEMÉNY-SZÁMLÁLÁS CSATORNA PROFILJA  
SZINKRONIZÁLT KAPUZÁS (A MATEMATIKAI MODELL FELTÉTELE)  
TRIGGER HIBA  
EXPONENCIÁLIS ÁTLAGOLÁS

ANGOL KULCSSZAVAK

© Pápay

# ICM7226A/B

## 10 MHz Universal Counter System

ICM7226A Drives Common Anode LED's  
ICM7226B Drives Common Cathode LED's

### FEATURES

- Functions as a frequency counter, period counter, unit counter, frequency ratio counter or time interval counter
- Output drivers directly drive both digits and segments of large 8 digit LED displays. Both common anode and common cathode versions are available
- Measures frequencies from DC to 10 MHz
- Measures period from 0.5 $\mu$  sec to 10 sec
- Stable high frequency oscillator, uses either 1MHz or 10MHz crystal
- Control signals available for gating of prescalers and prescaler display logic
- Multiplexed BCD outputs
- All terminals protected against static discharge; no special handling precautions required
- CMOS

CURRENT (@5V, DISPLAY OFF) : 2(5) mA

### GENERAL DESCRIPTION

The ICM7226 is a fully integrated Universal Counter and LED display driver. It combines a high frequency oscillator, a decade timebase counter, an 8 decade data counter and latches, a 7 segment decoder, digit multiplexer and 8 segment and 8 digit drivers which can directly drive large LED displays. The counter inputs accept a maximum frequency of 10MHz in frequency and unit counter modes and 2MHz in the other modes. Both inputs are digital inputs. In many applications, amplification and level shifting will be required to obtain proper digital signals for these inputs.

The ICM7226 can function as a frequency counter, period counter, frequency ratio ( $f_A/f_B$ ) counter, time interval counter or as a totalizing counter. The counter uses either a 10MHz or 1MHz crystal timebase. An external timebase input is also provided. For period and time interval, the 10MHz timebase gives a 0.1 $\mu$ sec resolution. In period average and time interval average, the resolution can be in the nanosecond range. In the frequency mode, the user can select accumulation time of .01 sec, .1 sec, 1 sec and 10 sec. With a 10 sec accumulation time, the frequency can be displayed to a resolution of .1 Hz in the least significant digit. There is 0.2 second interval between measurements in all ranges. Control signals are provided to enable gating and storing of prescaler data.

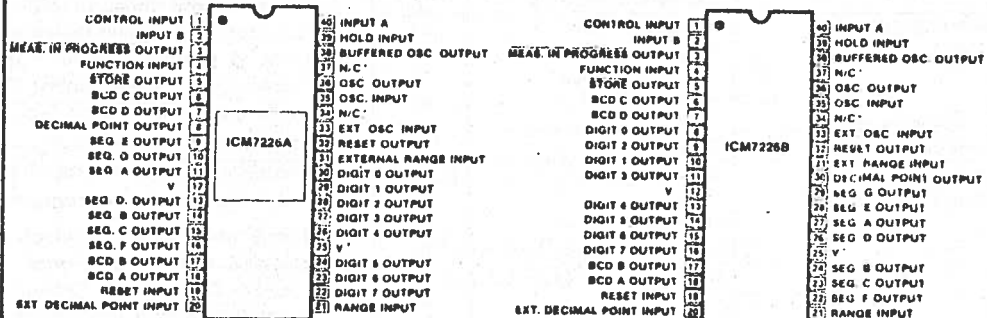
Leading zero blanking has been incorporated with frequency displayed in KHz and time in usec. The display is multiplexed at a 500Hz rate with a 12.5% duty cycle for each digit. The ICM7226A is designed for common anode display with typical peak segment currents of 25mA. The ICM7226B is designed for common cathode displays with typical segment currents of 12mA. In the display off mode both digit drivers & segment drivers are turned off allowing the display to be used for other functions.

### ORDERING INFORMATION

#### Component:

- ICM7226A IDL (Common anode driver, -20°C to +70°C Operating temperature range, 40 pin ceramic DIP)
- ICM7226B IPL (Common cathode driver, -20°C to +70°C Operating temperature range, 40 pin plastic DIP)

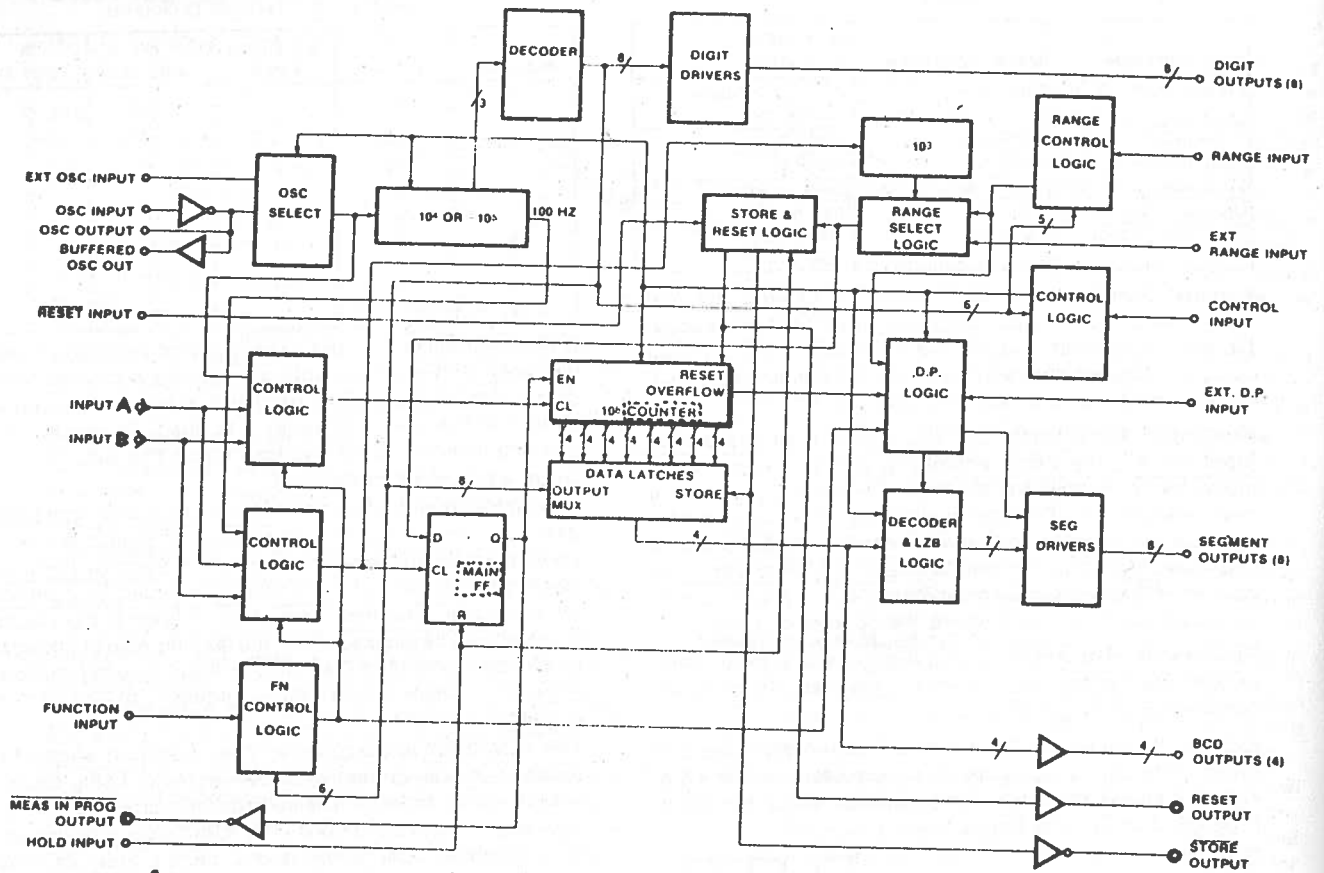
### PIN CONFIGURATION



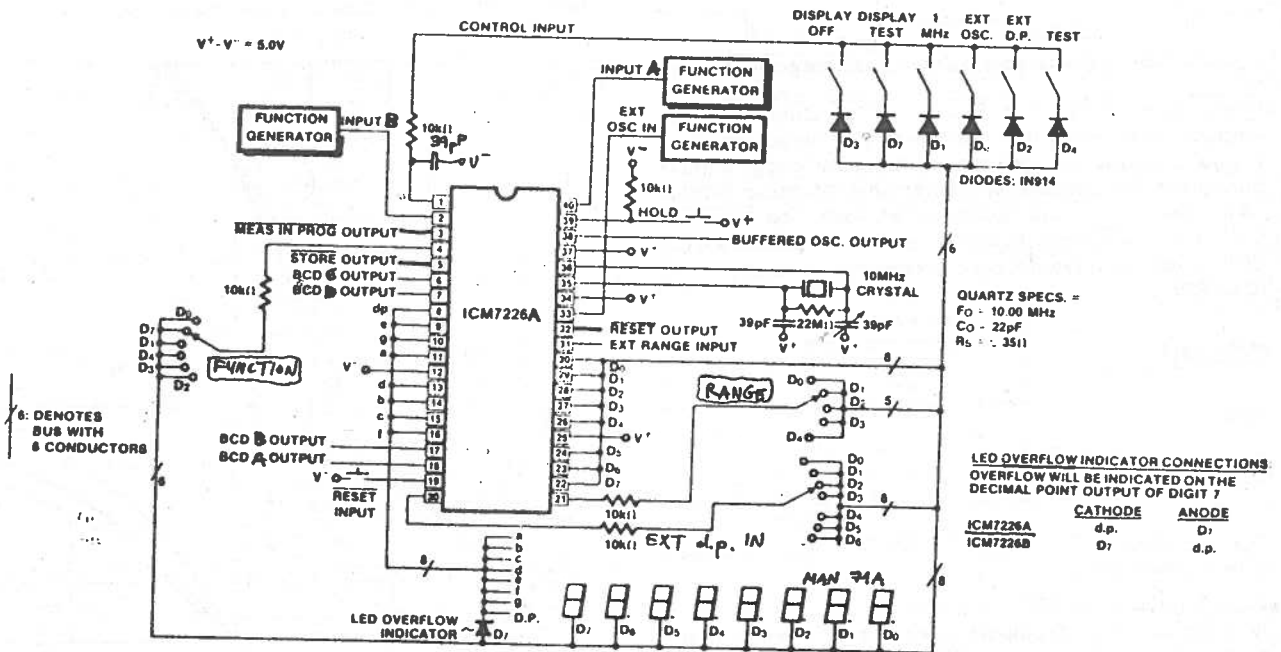
\*FOR MAXIMUM FREQUENCY STABILITY, CONNECT TO V' OR V"

# ICM7226A/B

## BLOCK DIAGRAM

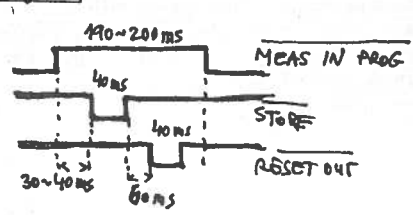


## TEST CIRCUIT

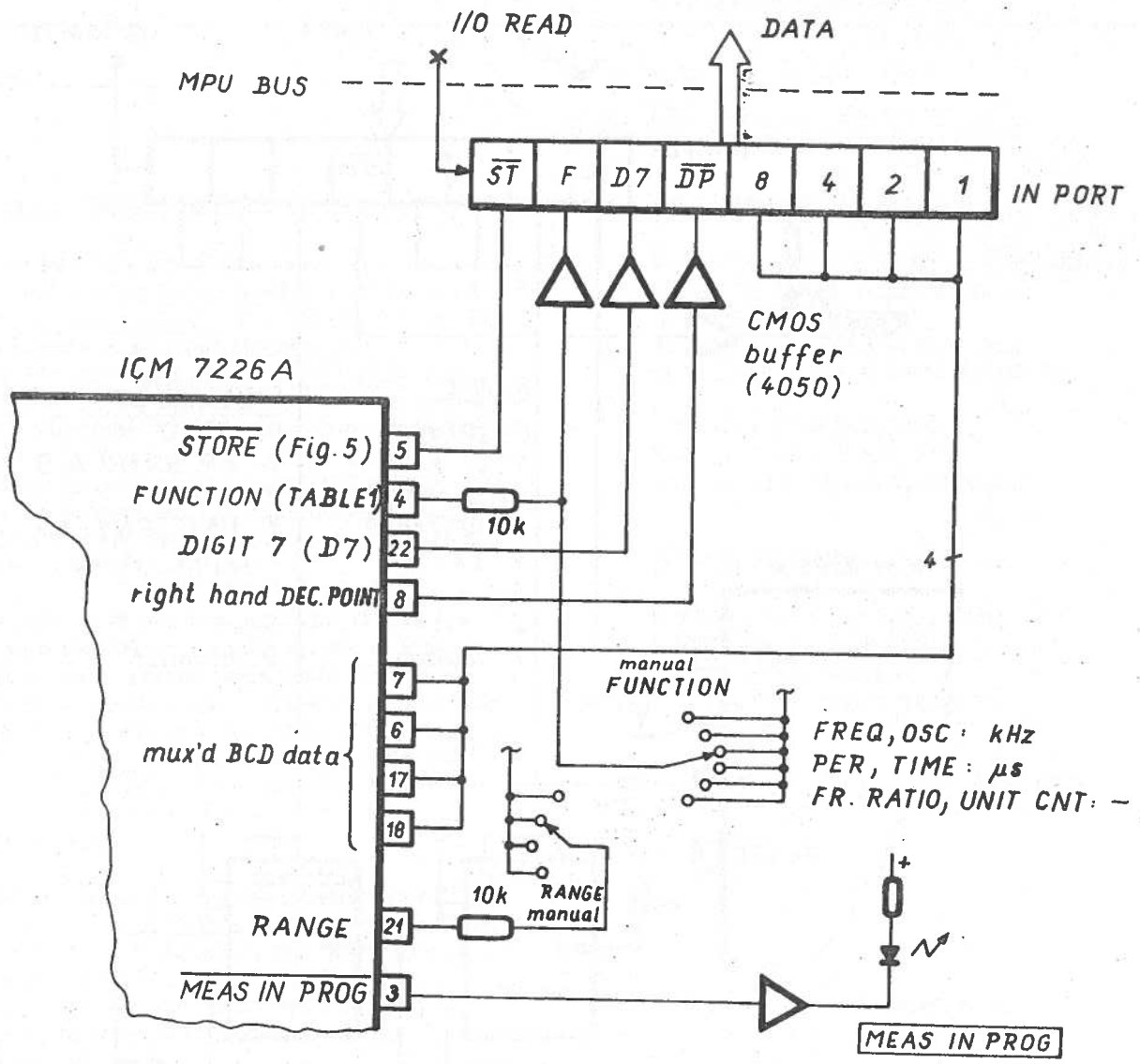


**FUNCTION:**  
 D<sub>0</sub> FREQ A  
 D<sub>1</sub> PER A  
 D<sub>2</sub> RATIO A/B  
 D<sub>3</sub> TIME INT A+B  
 D<sub>4</sub> UNIT A  
 D<sub>5</sub> OSC

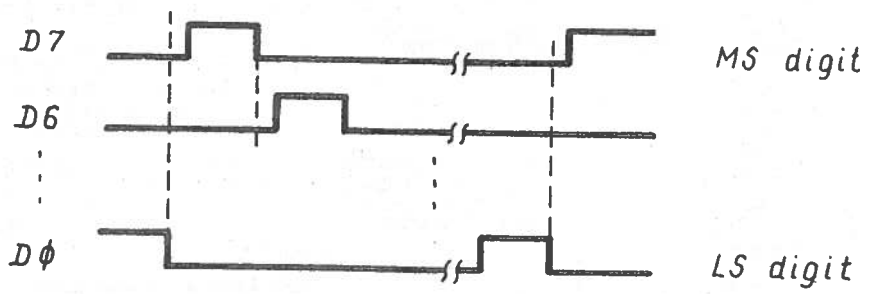
**RANGE:**  
 D<sub>0</sub> .01 sec / 1 Cycle  
 D<sub>1</sub> .1s / 10  
 D<sub>2</sub> 1c / 100  
 D<sub>3</sub> 10s / 1k  
 D<sub>4</sub> EXT ENABLE



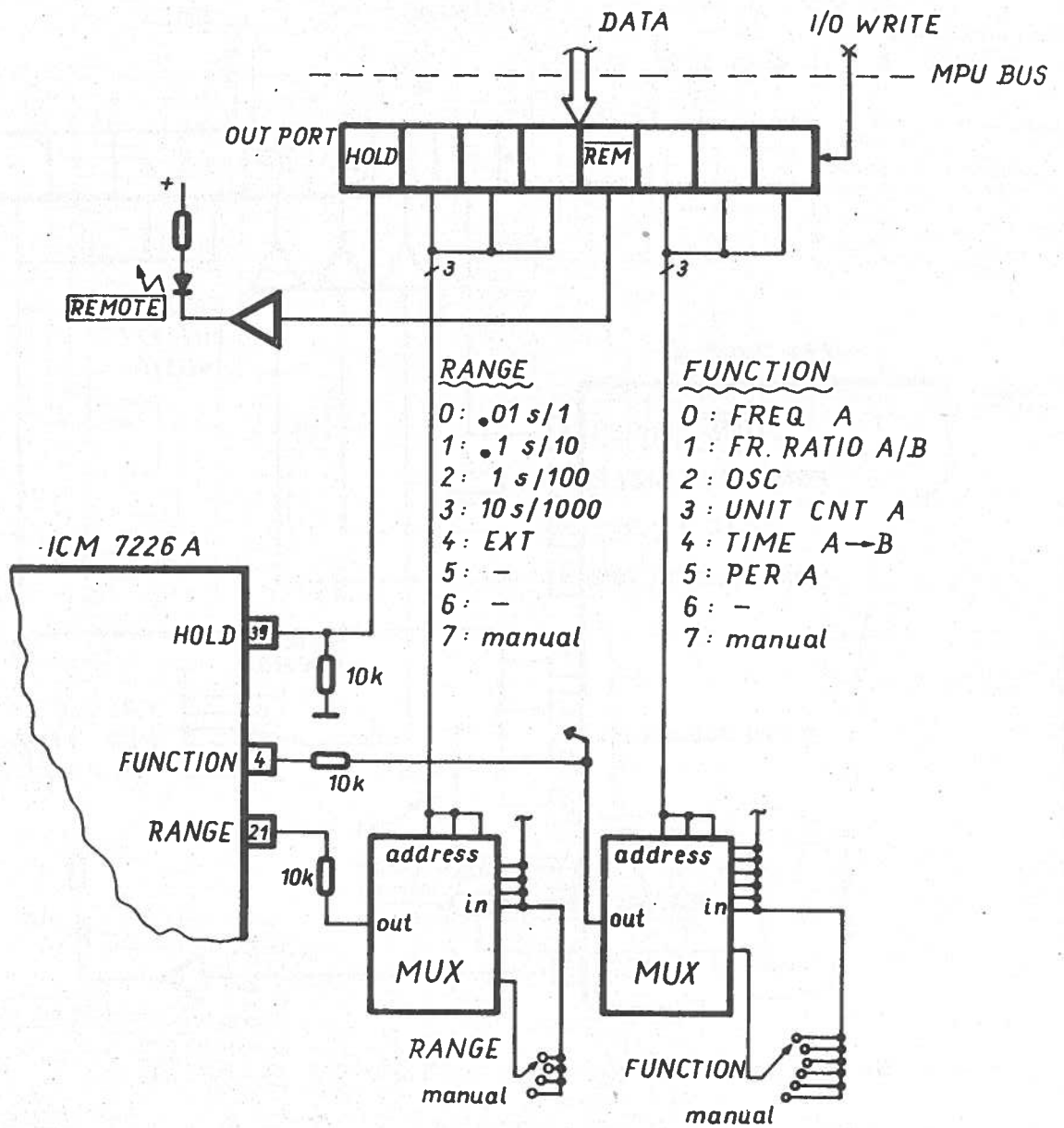
UNIV. COUNTER (ICM 7226 A) — MPU interface:



Data (and display) mux'd from D7 to D0:



- Note: 1.  $\overline{ST}$ ,  $\overline{DP}$  "active Low"  
 2. DEC. POINT of D7 = overflow



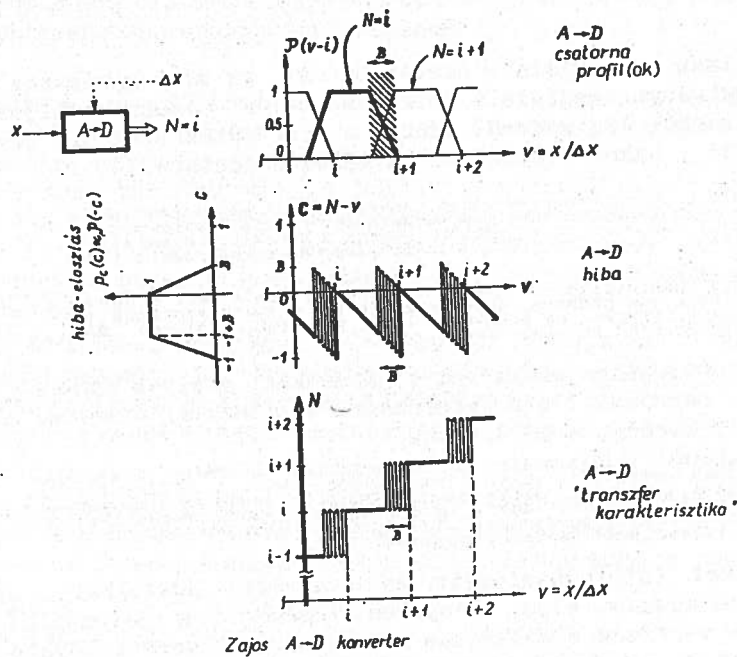
Note:  $\overline{\text{REM}}$  "active Low"

**CSATORNA PROFIL:** Az A→D átalakító ún. *intervallum-megjelölő* mérőeszköz:  $N=i$  mérőszámot  $x/\Delta x = i+z$ ,  $z \in I$ , mérendő érték ad. Az  $I$  "csatornában" lévő  $z$  (valós változó): a  $\Delta x$  mértékegységre normált és a megfigyelt  $i$  mérőszámmal eltolt "bemenet". Globálisan egyenletes kvantálásnál  $I \equiv I$ , vagyis nem helyfüggő. Az intervallumok átlapolódása miatt, az egymást követő méréseknél rögzített bemenet is eltérő mérőszámokat generál(hat). A csatorna profil írja le azt a feltételes valószínűséget, amellyel "rögzített  $z$ " érték  $N=i$  megfigyelést ad,  $z$  függvényeként tekintve

$$P(z) = \text{Prob}\{N=i|z\}, \quad z \in I$$

Zajos kvantálásnál ez definiálja az A→D átalakító átvitelét, és a szomszédos csatornákat (intervallumokat) "elválasztó" 50%-os átváltási (kapcsolási) pont megadásával kalibrálható is az eszköz.

A csatorna profil MATEMATIKAI MODELLBŐL számítható, vagy pontonként RELATÍV GYAKORISÁG méréssel becsülhető. (1) Az IDEÁLIS egyenletes kvantálás "profilja" NÉGYSZÖG alakú:  $P(Z) = \text{rect}(Z) = 1$ ,  $Z \in (-1/2, 1/2)$ . (2) Gyakran TRAPÉZ formájú "profilial" közelíthető egy, az átváltási pontnál "B" nagyságú bizonytalansági-sávot mutató A→D átalakító intervallum-megjelölése:



**KARAKTERISZTIKUS FÜGGVÉNY:** Folytonos, valós  $v$  valószínűségi változó  $p_v(v)$  sűrűség- és  $K_v(u)$  karakterisztikus függvénye Fourier transzformációs pár (gyakran pedig a várható érték szemlélet

segít közvetlenül):

$$p_v(v) \Leftrightarrow K_v(u) = \mathcal{E}\{e^{juv}\} = \int p_v(v) \cdot e^{juv} dv \\ = A_v(u) \cdot e^{j\theta_v(u)}$$

$K_v(u)$  egyenletesen folytonos a  $-\infty < u < +\infty$  tartományban ( $u$  valós), nevezetes értékei:  $|K_v(u)| \leq 1$ ,  $K_v(0) = 1$ , az "amplitúdó" páros függvény és  $A_v(0) = 1$ , míg a "fázis" páratlan és  $\theta_v(0) = 0$ .

A karakterisztikus függvény várható-érték (momentum) generáló tulajdonságú:

$$j^n \cdot \mathcal{E}\{v^n\} = \left. \frac{d^n K_v(u)}{du^n} \right|_{u=0} \equiv K_v^{(n)}(0),$$

speciálisan  $\mathcal{E}\{v\} = \theta_v^{(1)}(0)$ , és  $\text{Var}\{v\} = -A_v^{(2)}(0)$ .

Független  $x$  és  $y$  valószínűségi változók összegének karakterisztikus függvénye szorzat:  $K_{x+y}(u) = K_x(u) \cdot K_y(u)$ , de az állítás fordítva nem szükségszerűen igaz! Legyen  $a, b$  konstans, a normálás-hoz használt lineáris  $y = a \cdot x + b$  transzformációnál:

$$p_y(y) = \frac{1}{|a|} \cdot p_x\left[\frac{y-b}{a}\right] \Leftrightarrow K_y(u) = K_x(a \cdot u) \cdot e^{jbu}$$

Ahogy a MINTAVÉTELEZÉS leírása a transzformált ( $\Rightarrow$  spektrum) tartományban szemléletes, hasonlóan, a KVANTÁLÁS átlagos (statisztikai) hatásának becslése is "tartomány-váltással" ( $\Rightarrow$  a karakterisztikus függvényt használva) hatékony.

**HIBA-ELOSZLÁS:** Tekintsük a  $v = x/\Delta x$  mérendő arányt valószínűségi változóként: sűrűség- és karakterisztikus függvénye  $p_v(v) \Leftrightarrow K_v(u)$ , a normalizált  $z = v - i$  változóra pedig:  $p_z(z) = p_v(i+z)$ . Ha a megfigyelt mérőszám  $N=i$ , akkor a hiba:  $c = -z$ ,  $z \in I$ , vagyis a hiba feltételes sűrűségfüggvénye

$$f(c|N=i) = g(-c|N=i)$$

ahol, a BAYES tétel szerint

$$g(z|N=i) = \frac{\text{Prob}\{N=i|z\} \cdot p_z(z)}{\text{Prob}\{N=i\}} = \frac{\mathcal{P}(z) \cdot p_v(i+z)}{\text{Prob}\{N=i\}}$$

A teljes-valószínűség tételével a hiba sűrűségfüggvénye:

$$p_c(c) = \sum_i f(c|N=i) \cdot \text{Prob}\{N=i\} \\ = \mathcal{P}(-c) \cdot \sum_i p_v(i-c), \quad -c \in I$$

felhasználva a POISSON összegzési tételt



$$p_c(c) = \mathcal{P}(-c) \cdot \left[ 1 + \sum_{\substack{k \\ (k \neq 0)}} K_v(2\pi k) \cdot e^{j2\pi kc} \right]$$

$$= \mathcal{P}(-c) \cdot \left[ 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} A_v(2\pi k) \cdot \cos[\theta_v(2\pi k) + 2\pi kc] \right], \quad -c \in I$$

Ha pedig a bemenet eloszlása olyan, hogy **karakterisztikus függvénye**

(1) **periódikus nulla-helyeket tartalmaz**

$$A_v(2\pi k) = 0, \quad k \neq 0$$

vagy

(2) **"korlátos", ún. Q-limitált**

$$A_v(u) \approx 0, \quad |u| \geq 2\pi$$

akkor a hiba sűrűségfüggvénye, a bemenettől függetlenül(!),

$$p_c(c) \approx \mathcal{P}(-c), \quad -c \in I$$

egyszerűen a **"tükrözött" csatorna profilal** becsülhető!

A "periódikus nulla" feltétel pl. EGYENLETES eloszlású bemenetnél teljesül, a "Q-limitált" becslés GAUSS eloszlás, vagy  $y=A \cdot x$ ,  $A \gg 1$  TRANSZFORMÁLT eloszlás esetén használható.

(1)  $m$  várható értékű és  $r$  tartományú EGYENLETES eloszlásnál

$$p_v(v) = \frac{1}{r} \operatorname{rect}\left[\frac{v-m}{r}\right] \Leftrightarrow K_v(u) = \frac{\sin(ru/2)}{ru/2} \cdot e^{jum}$$

Ha  $r=1,2,\dots$  (a tartomány a mértékeGYSÉG egész számú többszöröse), akkor  $A_v(2\pi k) = \sin(rk\pi)/rk\pi = 0, k \neq 0$ .

(2a)  $m$  várható értékű és  $\sigma$  szórású GAUSS(normál) eloszlásra

$$p_v(v) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(v-m)^2}{2\sigma^2}} \Leftrightarrow K_v(u) = e^{-\frac{\sigma^2 u^2}{2}} \cdot e^{jum}$$

Ha  $\sigma \geq 1$ , akkor  $A_v(2\pi) \leq \exp[-(2\pi)^2/2] = 2,7 \cdot 10^{-9} \approx 0$ , és ez mindössze 3 bites(!) felbontást jelent (hiszen normál eloszlással modellezett változó tartománya: közel 1 valószínűséggel  $8 \cdot \sigma$ ).

(2b) SZINUSZos jel nem fázis-koherens, azaz VÉLETLEN mintavételezésénél, vagyis ha  $v = A \cdot \sin(2\pi ft + \phi)$  és a fázis  $\phi \in (0, 2\pi)$  egyenletes eloszlású, az amplitúdó eloszlása ( $|v| < A$ , a változó tartománya:  $2 \cdot A$ )

$$p_v(v) = \frac{1}{A \cdot \pi} \frac{1}{\sqrt{1-(v/A)^2}} \Leftrightarrow K_v(u) = J_0(Au)$$

ahol  $J_0(\cdot)$  az elsőfajú, 0-adrendű Bessel-függvény.

A diagrammok jól szemléltetik, hogy NÉGYSZÖG  $\mathcal{P}(Z)$  csatorna profilnál a "kvantálási hiba EGYENLETES eloszlású" közelítés már igen durva felbontásnál alkalmazható.

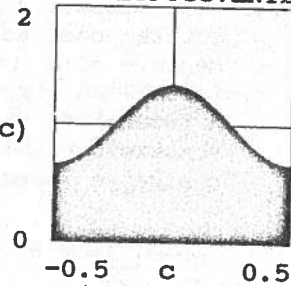
NEGYSZOG csatorna-profil  
 $c := -0.5, -0.495 \dots 0.5$

[MathCAD]

(a) GAUSS(NORMAL) elozslasu bemenet ( $\sigma$ : szoras,  $m=0$  varhato ertek)  
 $\sigma_1 := 0.3$   
 $k := 1 \dots 9$

a hiba SURUSEGFUGGVENYE

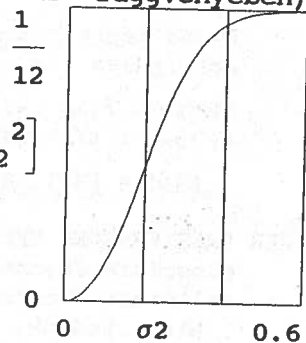
$$1 + 2 \cdot \sum_k e^{-2 \cdot \pi \cdot k^2 \cdot \sigma_1^2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot k \cdot c)$$



$\sigma_2 := 0.01, 0.02 \dots 0.6$

a hiba NEGYZETES VARHATO ERTEKE (a szoras fuggvenyeben)

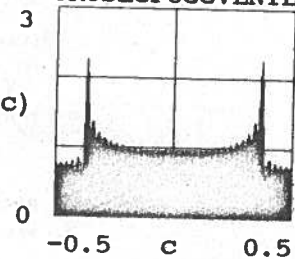
$$\frac{1}{12} + \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sum_k \frac{(-1)^k}{k} \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot k^2 \cdot \sigma_2^2}$$



(b) SZINUSZOS jelbemenet, VELETLEN mintavetelezes (A: amplitudo)  
 $A_1 := 5.375$   
 $n := 1 \dots 39$

a hiba SURUSEGFUGGVENYE

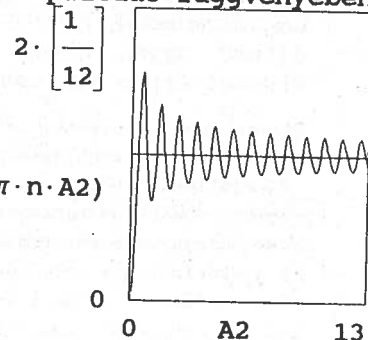
$$1 + 2 \cdot \sum_n J_0(2 \cdot \pi \cdot n \cdot A_1) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot n \cdot c)$$



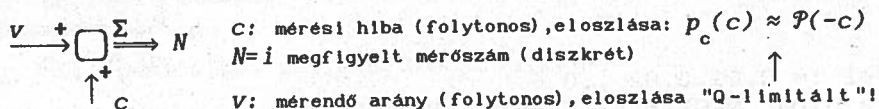
$A_2 := 0.1, 0.2 \dots 13$

a hiba NEGYZETES VARHATO ERTEKE (az amplitudo fuggvenyeben)

$$\frac{1}{12} + \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sum_n \frac{(-1)^n}{n} \cdot J_0(2 \cdot \pi \cdot n \cdot A_2)$$



**ADDITÍV-ZAJ MODELL:** A hiba pillanatértéke *bemenetfüggő*, ezért aktuális értéke *nem* adható meg (hiszen csak a  $N=i$  mérőszám ismert). Mégis, - mint láttuk -, a hiba *statisztikus(átlagos)* sajátosságai (eloszlása, így az ebből számítható várható értékek) becsülhetők a *bemenettől függetlenül*, meghatározott - elsősorban a bemenetre vonatkozó - *kötések* mellett! Ilyen *mérési feltétel* esetén, a  $c$  hibát a "*bemenettől független*" (additív) zaj modellezheti:



Ez ad módot a mérésből ( az ismert statisztikájú  $c$  hiba hatását *korrigálva* ) a  $v$  mérendő arány *átlagos* jellemzőinek becslésére.

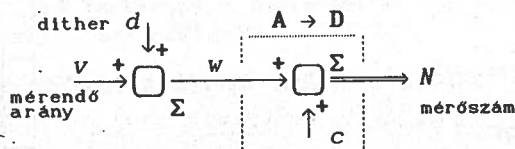
NÉGYSZÖG  $P(z)$  csatorna profil esetén:  $\mathcal{E}\{c\}=0$ ,  $\mathcal{E}\{c^2\}=1/12$ , és az ismert SHEPPARD-korrektció adja az átlagok visszaállítását:

$$\mathcal{E}\{v\} = \mathcal{E}\{N\}, \quad \mathcal{E}\{v^2\} = \mathcal{E}\{N^2\} - 1/12, \quad \text{Var}\{v\} = \text{Var}\{N\} - 1/12$$

**DITHER (MESTERSÉGES VÉLETLENÍTÉS):** Ha a mérendő *nem Q-limitált* ( vagy eloszlása ismeretlen ), akkor - a *szükséges* korrekcióhoz - ezt a feltételt "*mesterségesen*" biztosítjuk a mérendő "*zajosításával*"! Mint tudjuk, *független* valószínűségi változók *összegének* (  $w = v+d$  ) *karakterisztikus függvénye szorzat*:

$$K_w(u) = K_v(u) \cdot K_d(u),$$

elegendő ezért, ha csak az egyik(!) *Q-limitált* (ahhoz, hogy a  $w$  *eredőre* érvényes legyen az *additív-modell*).



$v$ : eloszlása *NEM* "Q-limitált" (vagy ismeretlen)  
 $d$ : eloszlása ismert és "Q-limitált"!

Az *additív-modell* feltételét tehát a  $v$  mérendőhöz adott, attól *független*  $d$  mesterséges zaj (*dither*) teljesíti. Így minden, akár még *konstans(!)* értékű mérendőre is alkalmazható a modell. A *dither* ugyan *növeli* a mérendő *varianciáját*, az *átlag-mérés* viszont *éppen* ezt *csökkenti*!

Dither-ként az egyenletes eloszlás kevésbé robusztus (igen érzékeny az amplitúdóra), ezért gyakoribb *Q-limitált* Gauss-zaj alkalmazása.

Speciálisan, IDŐtartamok ÁTLAGolásánál a REFERENCIA(!) "*zajosítása*" segíti a "*hatásos*" átlagolást : az időalap oszcillátor véletlen fázis-modulációja szünteti meg a koherenciát (az órajel és mérendő ismétlődési gyakoriságának harmónikus kapcsolatát), amely "*részleges*" átlagolást okoz. A "*mérési-többlet* és az *átlag-számítás*" az "*ára*" annak, hogy az  $A \rightarrow D$  felbontásánál jobb felbontás legyen elérhető.