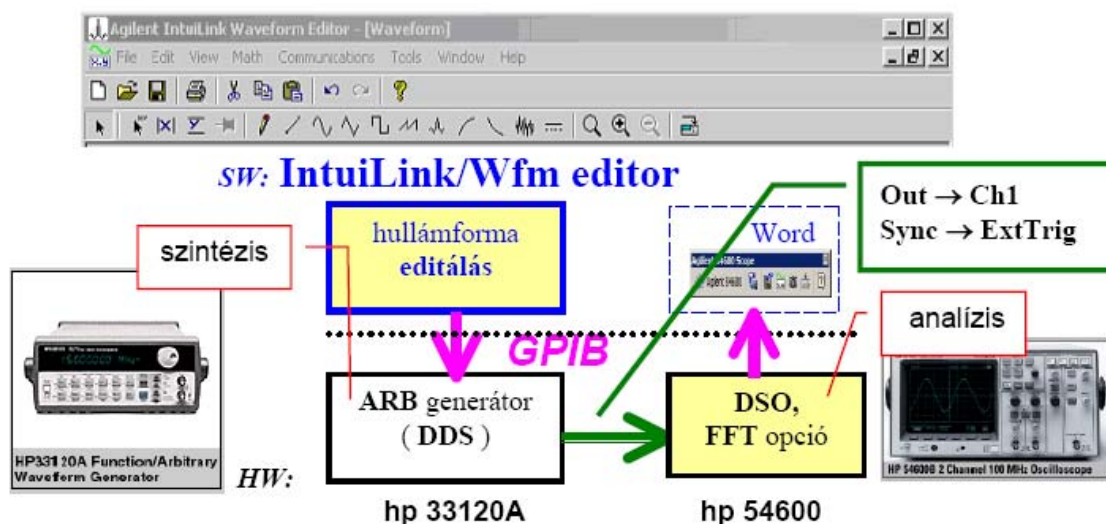


# Numerikus jelszintézis

A digitális jelfeldolgozás (*DSP: Digital Signal Processing*, numerikus minta kezelés) eljárásai között alapvető a *DDS technika* (jel-generáláshoz) és az *FFT módszer* (a jel spektrális elemzéséhez).

A gyakorlat célja ezek *együttes* használata, a diszkrét (mintavételezett és kvantált) adatokból eredő *korlátok* megismerése.

Mérési összeállítás:



A közvetlen *digitális szintézis* (*DDS: Direct Digital Synthesis*) elvén működő jelgenerátor diszkrét (idő)rekordból kiindulva állít elő programozható paraméterű, "tetszőleges" (**ARB**itrary) alakú, *analóg* vizsgáló jelet. A hullámforma *numerikus* mintái könnyen szerkeszthetők vagy módosíthatók *szoftverrel*. A szintetizált jel sajátosságait azonban korlátozza a mintavételi és a kvantálási törvény.

Elsősorban a jeledítáló szoftver (IntuiLink/Waveform Editor) szolgáltatásait használjuk ("minta file"-ok: **SampleWF**, standard hullámformák, ezekből szerkeszthető összetett jelformák). A hullámforma "letöltésnél" választandó az *alappfrekvencia* és az *amplitúdó*.

**Eszköz interfész: GPIB (General Purpose Interface Bus, IEEE488/IEC625/HPIB).**

A generált *jelalak* megfigyeléséhez digitális oszilloszkópot (*DSO: Digitizing Storage Oscilloscope*) használunk, amelynek szerves kiegészítője a *spektrumot* számító *FFT*-modul. A diszkrét Fourier transzformáció (*FFT: Fast Fourier Transform*) egy jelrészlet digitalizálásával kapott időrekordból határozza meg a *periodogramot*, a harmónikus-modell (*Fourier-sor* felbontás) spektrum komponenseinek amplitúdóját. A rekord minta-száma: **1K**, ez alapvetően korlátozza a frekvencia felbontást, a mintagyakoriságot pedig az "időalap" értéke határozza meg (ez kritikus a hasonmások elkerüléséhez). "Ablak": Hanning, FlatTop használatával csökkenthető a nemkoherens mintavétel miatt fellépő spektrum-szivárgás ill. amplitúdó-hiba.

Ajánlott irodalom:

dr. Pápay Zsolt: DDS jelgenerátor (oktatási segédlet), vagy  
Jelalak mérés és szintézis (jegyzet).

## Házi feladatok :

❶ Milyen jelalakot várunk, ha csak *három* (harmónikus) komponensből szintetizálunk egy (50%-os kitöltési tényezőjű) *négyszög* jelet?

/Mérése: **SampleWF** → **nonlin\_1.csv** file/

❷ Hogyan “néz ki” a 0.1%-os kitöltési tényezőjű *impulzus*-jel 4000 pontos (idő)rekordja, és milyen spektrumot várunk, ha ezt a jelalakot **100 Hz**-es *alapfrekvenciával* generáljuk?

/Ellenőrzés: **SampleWF** → **Sm\_duty.csv** file/

## Mérési feladatok :

1. (a) Figyeljük meg (és "fedezzük fel"! ) néhány *standard* hullámforma: **Sine**, **Triangle**, **Square**, **Saw-Tooth (Ramp)**, **SINC**, **Exp\_Rise**, **Exp\_Fall**, **Noise**, **DC** jelalakjának paraméter-függését, valamelyik *paraméter* (mint: **Offset**, **Cycles**, **Phase (deg)** illetve **Duty Cycle (percent)**, **Damp Factor**, **Zero Crossings**) folyamatos módosítása közben:


### Segment Parameters dialógusablak | Preview

Kijelölés (select, highlight): (1) szegmensen belül **dupla “click”** (→ “Segment Parameters” dialógus-ablak), vagy (2) **“click”** a szegmens határt jelölő kék háromszögre. Erre a kivilágosított részre használható a **Math** Menü.

Ha a hullámformán *matematikai műveletet* végeztünk, ezután már csak nyújtás vagy zsugorítás lehetséges (**dupla “click”** → “Resize Waveform” dialógusablak, vagy **Math** Menü | **Resize...** ).

Figyelem: a korlátozott grafikai felbontás miatt “*vizuális aliasing*” fellépését tapasztalhatjuk. Az alapértelmezés közvetlenül visszaállítható (**Defaults**).

(b) Állítsuk elő a hullámformát ( → “letöltés” a generátorba, ami egyben fizikailag is generálja a *periódikusan ismétlődő* jelalakot a készülék kimenetén):

Send Arbitrary Waveform:  → **Send Waveform** dialógusablak

**Defaults** for Wfm’s – in Reset Param’s

**Volatile Memory (!)** – in Wfm Location on Instrument

Wfm’s **and** Param’s – in Send to Instrument

Letöltés előtt be kell állítani a kívánt *alapparamétereket* (**Frequency [KHz]**, **Amplitude [Vp-p]**, **Offset [Vdc]** ).

Figyelem: a *teljes* rekord ismétlődési gyakoriságát állítja a **Frequency** paraméter (tehát pl. **Sine Cycle = 10** és **Frequency[KHz] = 1** eredménye “10 KHz-es” szinuszos jel).

Fontos: NE használjuk a Manage Wfm’s dialógusablakot!

2. (a) Hasonlítsuk össze a **Pelda1.wvf** file (8000 pontos, *kis-csúcs*tényezőjű, 10 tagú) multiszinusz<sup>1</sup> jelének spektrumát a **SINC** standard hullámforma (Segment Param’s: **Data Points = 8000**, **Cycles = 1**, **Zero Cross. = 10**) spektrumával (**Send: 1 Vpp**, **1 kHz**)! Indokoljuk az eltérést!

Megjegyzés: használjuk az oszcilloszkóp Save/Recall: **Trace** szolgáltatását.

Kérdés: mit jelent **SINC** hullámformánál spektrálisan a **Zero Crossings** paraméter állítása?

(b) Mozgassuk a **Pelda1.wvf** jel spektrumát a frekvencia tengelyen!

Útm.: **Math** Menü | **Multiply...** | *Select segment: Sine* | *Amplitude = 1*, *Cycles = 13*

Kérdés: miért *Cycles > 10* a választás? Ez milyen moduláció?

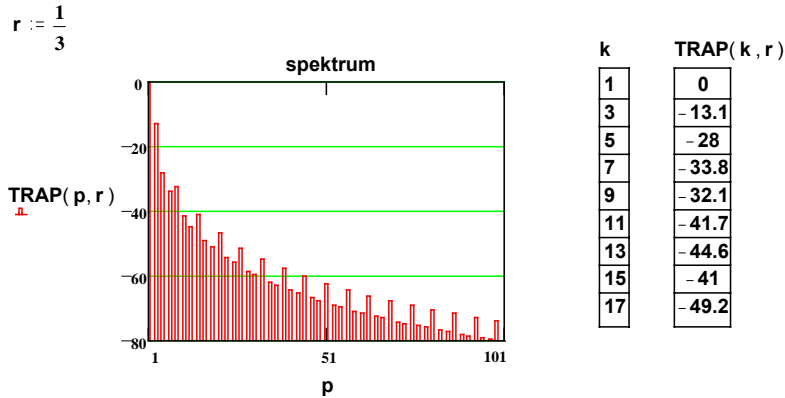
<sup>1</sup> Lásd „DDS jelgenerátor” 18-19. old (1. PÉLDA), vagy

Multisine - <http://www.educatorscorner.com/media/Exp65a.pdf>

**3. (a)** Módosítsuk a **Trapazd.csv** rekordot: *töröljünk* 1000 mintát az utolsó 2000 pontból (!!), és mérjük meg az így kapott hullámforma spektrum-komponenseit (**Send**: 1 Vpp, 1 kHz). Vessük össze az alábbi táblázattal!

(Súgó: WinXP – **Maximize**, Editor – **Math** | **Expand to Fit**, Select: **left** mouse (right-to-left), **Cut** Scope – FFT: FlatTop ablak, **STOP**, **Cursors**: FindPeaks, V2 )

Megjegyzés: 50%-os kitöltési tényezőjű *trapéz*-jelet kapunk (ellenőrizzük: Scope – Duty Cy), és a “teljes felfutás”/”pulzus-szélesség” = 1/3. A fellépő páratlan harmónikusok *relatív dB* értékei:



**(b)** Állítsunk elő *keskenysávú* kommunikációs csatornát *tesztelő* jeleket az alábbi egyenletek alapján (**Send**: 1 Vpp, 1kHz). Milyen jelalakokat várunk?

$$x(t) = 1 \cdot \sin(\omega t) + 0.24 \cdot \sin(3\omega t) + 0.07 \cdot \sin(5\omega t) + 0.0125 \cdot \sin(7\omega t)$$

$$y(t) = 1 \cdot \sin(\omega t) + 0.1 \cdot \sin(3\omega t + \varphi)$$

Mi történik, ha módosul a *relatív* fázis? (Például –  $y(t)$  Cycles: 3,  $\varphi = 0$  ill.  $15^\circ$ )

**4.** Generáljunk *folytonos* vezetékes-telefon DTFM (*Dual-Tone MultiFrequency*) jelet, a számjegy: mérőcsoport-szám (mod10). Dokumentáljuk a kiválasztott Editor-paramétereket, valamint a jelalakot és spektrumot.

Útm.: a DTMF jel két eltérő frekvenciájú szinusz (=tone) összege, lásd a számjegy/frekvencia-pár táblázatot (“sixteen tones”). A nagyobb frekvenciájú összetevő relatív szintje: +2 dB. (Van-e ennek műszaki oka?) A frekvenciákat 1.5%-os pontossággal kell generálni. (Ez a specifikáció hogyan segíti a feladat „spektrálisan tiszta” megoldását?)

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

Dial Tone: 350 + 440 (Hz), Busy: 480 + 620 (Hz), Ringback: 440 + 480 (Hz)

(Súgó: két periódikus jel összege *csak akkor* periódikus, *ha* periódusaik aránya racionális szám. Ehhez pl. az alábbi módosított táblázatot használhatjuk:

	1200 Hz	1340 Hz	1480 Hz
700 Hz	1	2	3
780 Hz	4	5	6
860 Hz	7	8	9
940 Hz	*	0	#

A frekvenciákat 20-szal osztva 100-nál kisebb egész számot kapunk [**Editor**: Cycles „Valid Range: 1-100”, lásd **Help**], és 20 Hz-es *alapp*frekvenciával generáljuk a jelet. )

Ellenőrizzük a **Dtmf\_0.csv** és **Dtmf\_9.csv** minta file-okat, *alapp*frekvencia: **10** Hz.

**5.** Szimuláljuk egy diszk érzékelő jel-szegmensét a **Lorentz.wvf** felhasználásával.

Útm.: *ismételjük meg invertálva* a “pont-számban és amplitúdóban is (!!) *felére-zsugorított, és nulláig-eltolt*” **Lorentz.wvf** hullámformát.

Egymáshoz közeli jel (← mágneses-állapot) váltásoknál *egyszerűbb* közelítés szokásos:

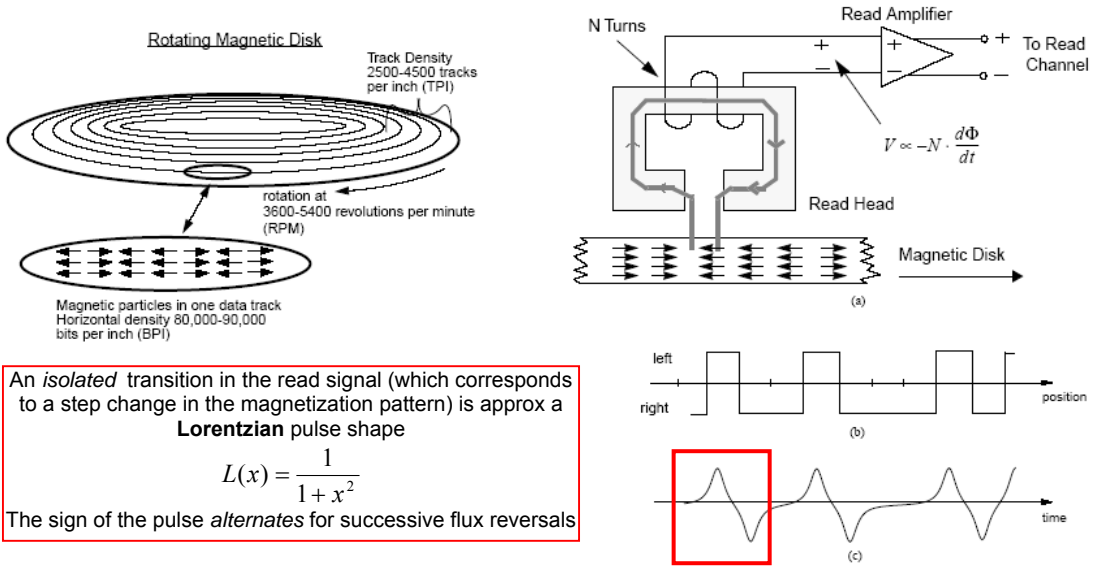
$$s(t) = \sin^3 \omega t$$

Hasonlítsuk össze a kapott jel-szegmens és az **s(t)** jel spektrumát (**Send**: 1 Vpp, 1kHz)!

Útm.: használjuk az oszcilloszkóp **Save/Recall**: **Trace** szolgáltatását.

Megjegyzés: a generált jel az olvasó-egység teszteléséhez használható jel-szegmens,

(b) a felírt mágnesezési minta, (c) a kiolvasott jel



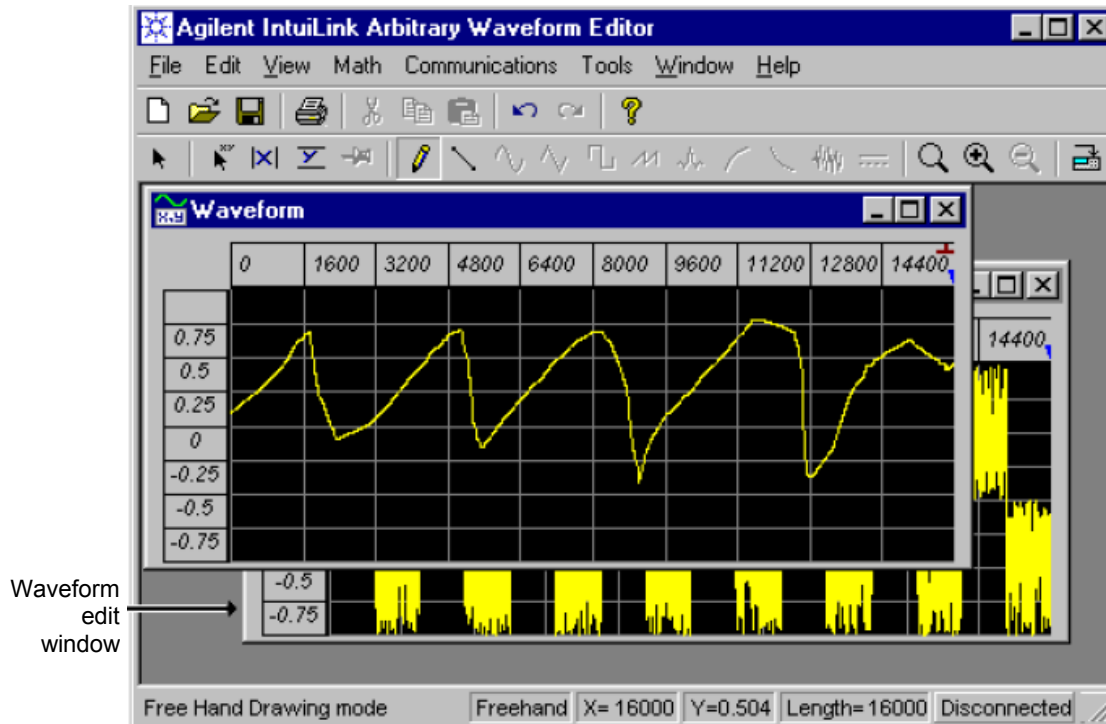
**6.** Kiegészítő feladatok :( 6-os kocka dobással kihagyható :)

- Megfigyelhető-e egy névlegesen szinuszos jelben az 1%-os harmónikus torzítás? És a spektrumban?  
Például, legyen 3. harmónikus torzítás. Az időtartománybeli *vizuális* értékeléshez használjuk az Editor **Math** | **Expand To Fit** funkcióját.
- Egy jel két, eltérő frekvenciájú szinusz szorzata. Milyen a jel spektruma?  
Például: *Cycles* = 5 és 6 (itt az időtartományban is jól látható az eredmény!)
- Milyen torzítást okoz egy szinuszos jel *szimmetrikus* amplitúdó korlátozása?  
( Súgó: kiválasztás – **Y markers** (click and drag the triangular handles), rögzítés – **Pin markers**, kijelölés (click on blue triangle) után „vágható” a jel – **Math** | **Clip**)
- Generáljunk 1kHz-es “Bal-csatorna FM sztereo MPX (multiplex = összetett)” vizsgáló-jelet!  
Útm.:  $MPX(t) = [B(t) + J(t)] + [B(t) - J(t)] \cdot \sin \omega_v t + P \cdot \sin(\omega_v/2)t$ , és  $f_v = 38$  kHz.  
A vizsgáló-jel tehát négy szinusz összege: *Cycles*=1, *Ampl*=0.25 || **Pilot**: **19**, 0.05 || **DSB-SC AM** (Double-Side Band Suppressed Carrier): (**38-1**), 0.125, Phase=**90°** || (**38+1**), 0.125, 270°. Ezután **Math** | **Expand To Fit**. (**Send**: 1 Vpp, 1 kHz.)
- Milyen a Gauss-burkolójú hullámcsomag (tone burst) spektruma?  
Például, legyen a jel „amplitúdóban felére-zsugorított és nulláig-eltolt” **Gaussian.csv** és **Sine** | *Amplitude* = 1, *Cycles* = 31 szorzata.

## Függelék:

Hullámforma editálás ( IntuiLink/Waveform Editor ): 

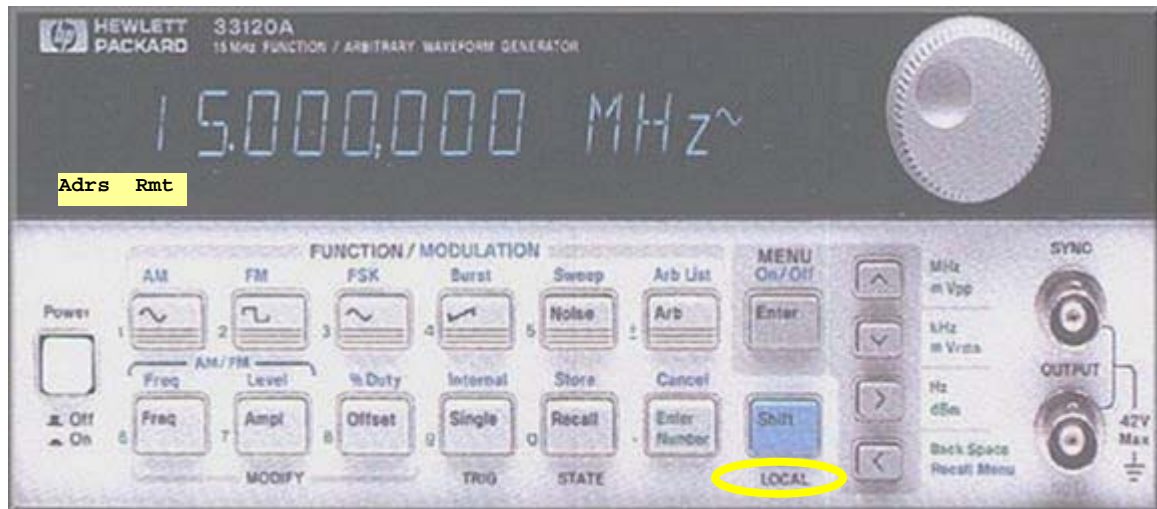
<http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/WaveformEditor2.pdf>



### SampleWF

File name	Description	Size (N° of points)
Dtmf_0.csv	Telephone Dual Tone Multi-Frequency (DTMF) Signal – Key 0 ( really ? ) ; Send: 10 Hz	8K
Dtmf_9.csv	DTMF Signal – Key 9; Send: 10 Hz	8K
Full_rec.csv	Full wave rectified sine wave	8K
Gaussian.csv	Gaussian pulse created in Mathcad and imported	8K
Half_rec.csv	Half-wave rectified sine wave	8K
Hc_Gate.csv	74HC family digital signal, captured and imported from Scope	4K
<b>Lorentz.wvf</b>	<b>Created in Mathcad and imported</b>	8K
NoiseSine.csv	Sine wave with high frequency noise added	8K
nonlin_1.csv	Sine wave with third harmonic distortion (Fourier synthesis)	8K
<b>Pelda1.wvf</b>	<b>Created in Mathcad and imported</b>	8K
Pk_spike.csv	Sine wave with spike added to each peak	8K
Psk.csv	Phase Shift Keying modulated signal	8K
Pulse_10.csv	10 level sine wave approximation	8K
Ring.csv	Square wave with ringing (Fourier synthesis)	4K
Scr.csv	Quarter cycle SCR signal	8K
Serial.csv	11-bit frame of serial data	4K
Sm_duty.csv	0.1% duty cycle square wave signal Send: 100 Hz	4K
Stair.csv	10 step staircase ramp signal	8K
Trapazd.csv	Trapezoidal pulse	4K
TwoTone.csv	Two tone signal for intermodulation test Send: 70 Hz	8K

## ARB generátor ( HP33120A )



Adrs Rmt

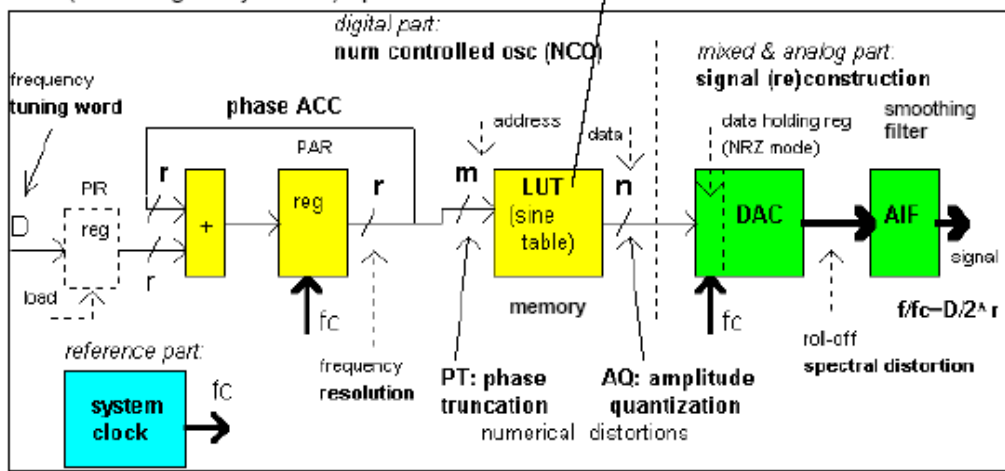
**LOCAL:** visszaállítás kézi vezérlésre a távvezérelt (Adrs Rmt) állapotból

### ARB (ARbitrary waveform) generátor

Diszkrét (idő)rekordból DDS elvén generál analóg vizsgáló jelet.  
A rekord (hullámforma) numerikus mintái könnyen szerkeszthetők szoftverrel (editálás).

Az editált hullámforma (egy teljes periódus) kerül az ARB gen memóriába (LUT: look up table)

### DDS (Direct Digital Synthesis) - phase ACCumulator



hp 33120A :  $r = 48$  bit,  $m = 14$  bit (16 K memória),  $n = 12$  bit,  $f_c = 40$  MHz

### Frekvencia hangolási egyenlet:

Minden  $\Delta t = 1/f_c$  órajelre  $D$  (egész szám) értékkel változik az  $r$  bites "fázis"-akkumulátor tartalma (a memória címe) és az akkumulátor "túlcordulása" adja az alap-periódust ( $\cong 2\pi$  fázis). Tehát a jel (relatív) fázis-változása és ebből az alap-frekvencia értéke

$$\frac{\partial \Theta}{2\pi} = \frac{D}{2^r} \rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial t} = \left( \frac{f_c}{2^r} \right) \cdot D, \text{ ahol } 1 \leq D < 2^{r-1} \text{ (mintavételi tétel)}$$

A "fázis-csonkítás" (csak az MSB biteket használjuk aktuális memória címként:  $m \ll r$  !!) nem módosítja az átlag-frekvenciát (csak torzítást okoz, de  $m = n+2$  választással a mindig jelenlévő "amplitúdó kvantálás":  $n$  hatása dominál).

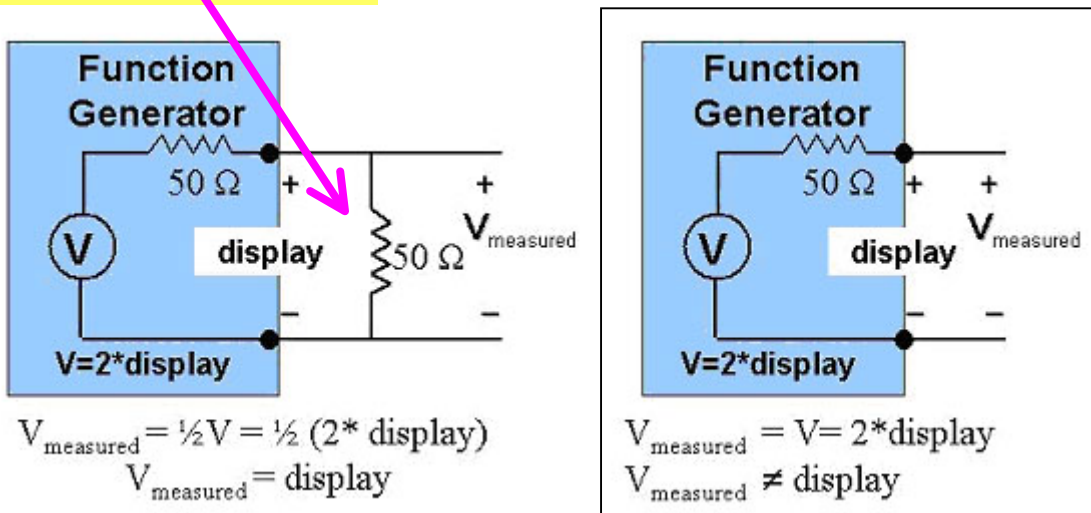
**Kérdés:** miért célszerű a fázis-csonkítás, és mi történik  $D > 2^{r-1}$  értékre?

## Why your function generator outputs twice the programmed voltage?

The Agilent (=HP) 33120A has a fixed output impedance of **50Ω** on the OUTPUT terminal and the 33120A factory **defaults set** the **display** to show the output voltage when connected to a **50Ω load**.

**FOP:**  
*Fifty Ohm [50-Ω] Party*

When a **high impedance** device, such as an oscilloscope is used to measure the output of the function generator, the waveform appears to be **twice the voltage set on the display** of the function generator.



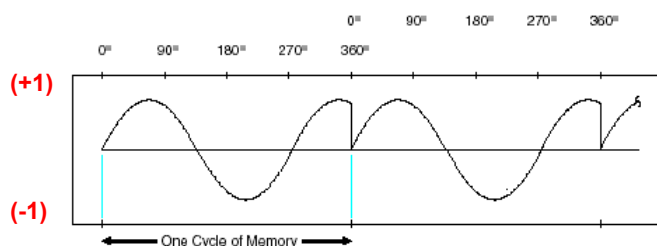
The following steps show how to configure the 33120A to display the correct voltage into a load:

- Enter the front-panel menu by pressing “**Shift-Enter**”
- Move across to the **D: SYS MENU** by pressing the **right arrow** key
- Press the **down arrow** to enter the menu so that **1: OUT TERM** is displayed
- Press **down arrow** again to view the setting for the output termination (load impedance). Press the **right arrow** until the desired impedance of the load is displayed, either **50 OHM** or **HIGH Z**.
- Press “**Enter**” to save the change and exit the menu.

The Agilent 33120A is now configured to display the actual output voltage into a high impedance load.

## About arbitrary waveforms: leakage error in the frequency domain

When creating arbitrary waveforms, the function generator will always attempt to **replicate** the finite-length time record to produce a periodic version of the data in waveform memory. However, as shown below, it is possible that the shape and phase of a signal may be such that a transient is introduced at the end point. When the waveshape is repeated for all time, this end-point transient will introduce *leakage error* in the frequency domain because many spectral terms are required to describe the discontinuity.



Leakage error is caused when the waveform record does *not* include an **integer number** of cycles of the fundamental frequency. You can reduce leakage errors by adjusting the **window** length to include an integer number of cycles or by including *more cycles* within the window to reduce the residual end-point transient size.

Oszilloszkóp ( HP54600 )

### Making Measurements: FFT (Frequency Domain)

**1K FFT**

Use Time/Div to set FFT resolution and range

To do FFT, a Measurement/Storage Module must be installed on back of scope.

Function 2: Off On Menu

Function 2: Off On Menu (Hit Menu Key)

Operation: FFT

Hint: To look ONLY at FFT signal without time domain signal, turn channel off:

Hint: To return to FFT menu at any time, use math key:

Function 2 Menu

Operand	Operation	Units/div	Ref Level	FFT Menu	Previous Menu
1 2 F1	FFT	10.00 dB	-10.00 dBV		

FFT Menu

Cent Freq	Freq Span	Move OHZ	...	Window Hanning	Previous Menu
244.1kHz	468.3kHz	To Left			

Periodic sampling ( $f_s$ : sample rate)  $\rightarrow$  spectral replications (images)

**N Point FFT**

This half is displayed

0  $f_s$   $2f_s$   $f$

$N$  Points

$X(f)$   $X(f-f_s)$   $X(f-2f_s)$

0  $f_s/2$   $f_s$   $2f_s$   $f$

dB/ Oscilloscope FFT Display

0  $f_0$   $f_s/2$

Ref Level (dBV)

Curcurs

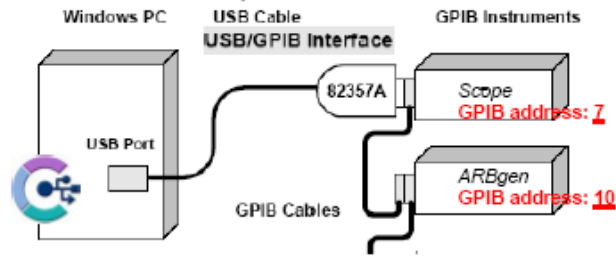
Source

Source Active Cursor f1: f2: Find Peaks Move f1 To Center Clean Cursors



Számítógépes kapcsolat ( transparent IO interface )

**GPIB:** General Purpose Interface (Instrument) Bus [ IEEE488/IEC625, HPIB ]  
**IO driver:** IO Libraries Suite 14.1

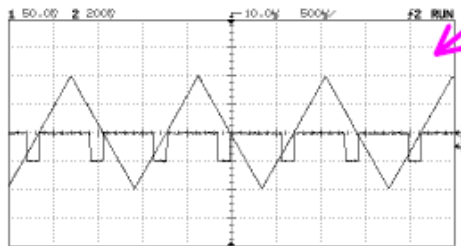


IntuiLink szoftver (

**Adding the toolbar in Word**

Word: Tools | Templates and Add-ins:  Agt54600.dot  
 ( View | Toolbars:  Agilent 54600 Scope )

Insert an image in Word:



**RIGHT click:**

**"bal Kutya" ...**



**Fontos!**

1. NE írjuk felül a minta file-okat ( SampleWF )
2. Letöltés ( **Send Waveform** ) **csakis** az átmeneti tárolóba ( **Volatile Memory** ) !
3. NE töröljük az ARBgen-ban tárolt hullámformákat ( Wfm's on the Instrument )
4. File formátumok: Waveform (\*.WVF) – default, Comma-Separated Values (\*.CSV)

Részletes, angol nyelvű leírások

**Scope Agilent[=HP] 54600:**

FFT manual - [http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/54600\\_FFTmanual.pdf](http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/54600_FFTmanual.pdf)

**ARBgen Agilent [=HP] 33120A:**

Tutorial - [http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/33120A\\_Tutorial.pdf](http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/33120A_Tutorial.pdf)

Instrument control - <http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/33120A.pdf>

Manual (condensed) - [http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/33120A\\_Manual.pdf](http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/33120A_Manual.pdf)

FAQs - [http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/33120A\\_FAQ.pdf](http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/33120A_FAQ.pdf)

DDS - <http://www.hit.bme.hu/people/papay/sci/DDS/start.htm>

**IntuiLink** connectivity software:

**Waveform editor** - <http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/Lab/WaveformEditor2.pdf>

Multisine - <http://www.educatorscorner.com/media/Exp65a.pdf>

White noise - <http://www.educatorscorner.com/media/Exp65.pdf>

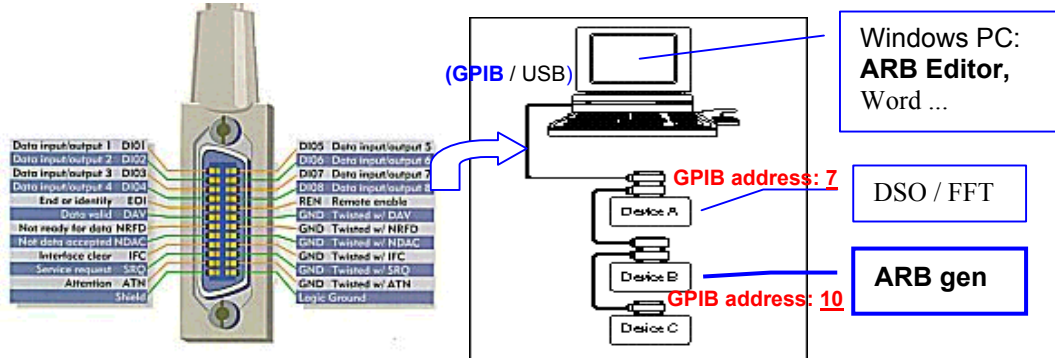
## GPIB<sup>2</sup> ≡ IEEE488 ≡ IEC625 ( ≡ HPIB)

<http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/GPIB/tutor.htm>

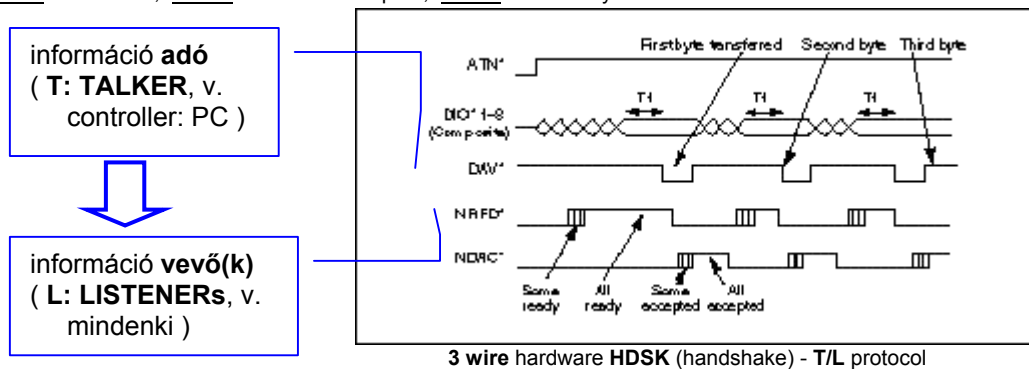
### IEEE488.1 - byte transfer: T/L protocol, **3 wire hardware HDSK** (handshake)

GPIB-signal drivers must be open collector logic which allows for a **parallel, multidrop** connection of **all** devices. Logical TRUE and **data 1** is defined for voltages < 0.8V and FALSE, **data 0** for >+2V (TTL - levels).

The **24 bus lines** group into 4 categories:



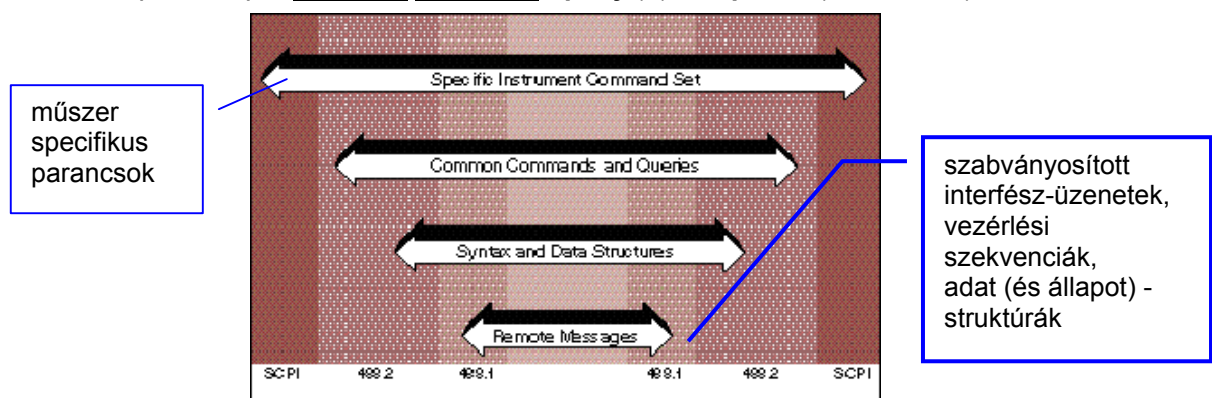
- **Data lines:** 8 lines DIO1 - DIO8, used to transfer data and commands, **one byte at a time**.
- **Handshake lines:** 3 - used to control (handshake) the transfer of information on the data lines.  
DAV: Data Valid, NDAC: Not Data Accepted, NRFD: Not Ready for Data



3 wire hardware HDSK (handshake) - T/L protocol

- **Control lines:** 5 - for general control of instruments and bus activities.  
ATN: Attention, IFC: Interface Clear, REN: Remote Enable, SRQ: Service Request, EOI: End or Identify
- **Ground lines:** 8 - for shielding and signal returns.

### IEEE488.2 (+ SCPI<sup>3</sup>) - message exchange: query (?) / response (data, status)



IEEE488: not dead yet? <http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/GPIB/IEEE488.pdf>

GPIB and Ethernet <http://www.hit.bme.hu/people/papay/edu/GPIB/GPIB%20and%20Ethernet.pdf>

<sup>2</sup> GPIB : General Purpose Interface (Instrument) Bus

<sup>3</sup> SCPI : Standard Commands for Programmable Instruments