

Az emberi test mint jelforrás

Jelfeldolgozás

G.Schay

# Az emberi test mint jelforrás

Jelek az orvostudományban

Jelek információtartalma

Detektorok, kódolás

Példákon keresztül!

# Az információ fogalma (példával)

Intuitívan

"informare" (Lat.) : „**az elmét formálni**”, tanítani, utasítani valakit

Azaz: akkor tudunk tanulni, vélekedésünket megváltoztatni, ha *információhoz* jutunk

vagy:

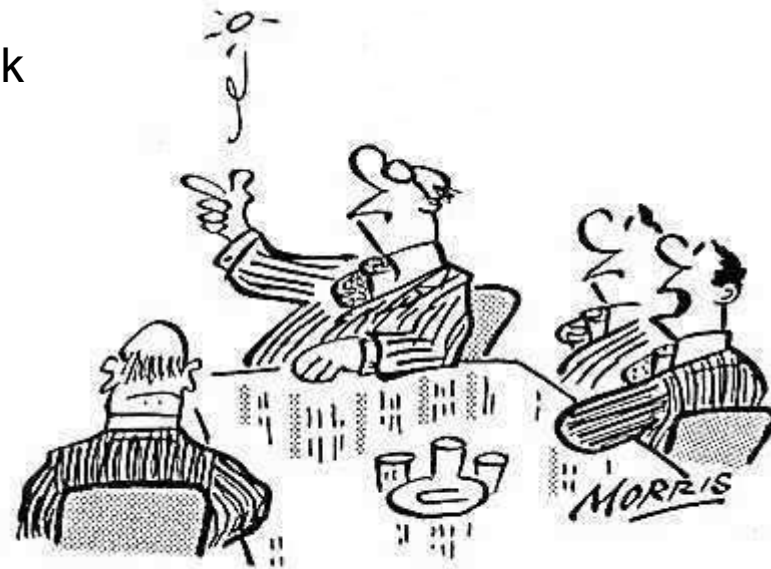
„egy eszközbe vagy élőlénybe bevitt jel, mely választ vált ki”

(Pl. Pavlovi reflex: táplálék illata → nyálevlasztás, mozdulatok)

vagy:

„ az információ olyan mintázat amely más mintázatok kialakulását befolyásolja”

(Pl. DNS szekvencia → fehérje szerkezet)



Bárcsak olyan nyugodt lehetnék mint J.B. amikor fontos döntésekről van szó!

# Információelmélet

Az információ fogalma (példán keresztül)

Adatok, adatfolyamok információtartalma, kódolás, továbbítás

Információ és entrópia



Bárcsak olyan nyugodt lehetnék mint J.B. amikor fontos döntésekről van szó!

## Információ átvitel – információ tartalom

Esemény és információ:  
„mi történt?”

Az egyes események információtartalma eltérő

-megint dugó van reggel

-holnap esni fog.

-nyertem a lottón!

Hogyan *kódolhatjuk* az információt?  
Mi kell az információátvitelhez?



## Információátvitel - kódolás

általánsságban

**Információ forrás**



**(át)vevő  
cél(pont)**

A lehetséges események közül  
melyik következett be?

(hír)

## Információátvitel - kódolás

általánosságban

**Információ forrás**



**Átviteli csatorna**



**(át)vevő  
cél(pont)**

A lehetséges események közül  
melyik következett be?

(hír)

# Információátvitel - kódolás

általánosságban

**Információ forrás**

A lehetséges események közül  
melyik következett be?

kódolás

**eseményeket SZÁMOKKAL** reprezentálunk



**Átviteli csatorna**

dekódolás

**SZÁMOKBÓL** visszaállítjuk az **eseményeket**



**(át)vevő  
cél(pont)**

(hír)



## Információátvitel - kódolás

általánsságban

**Információ forrás**

kódolás



**Átviteli csatorna**

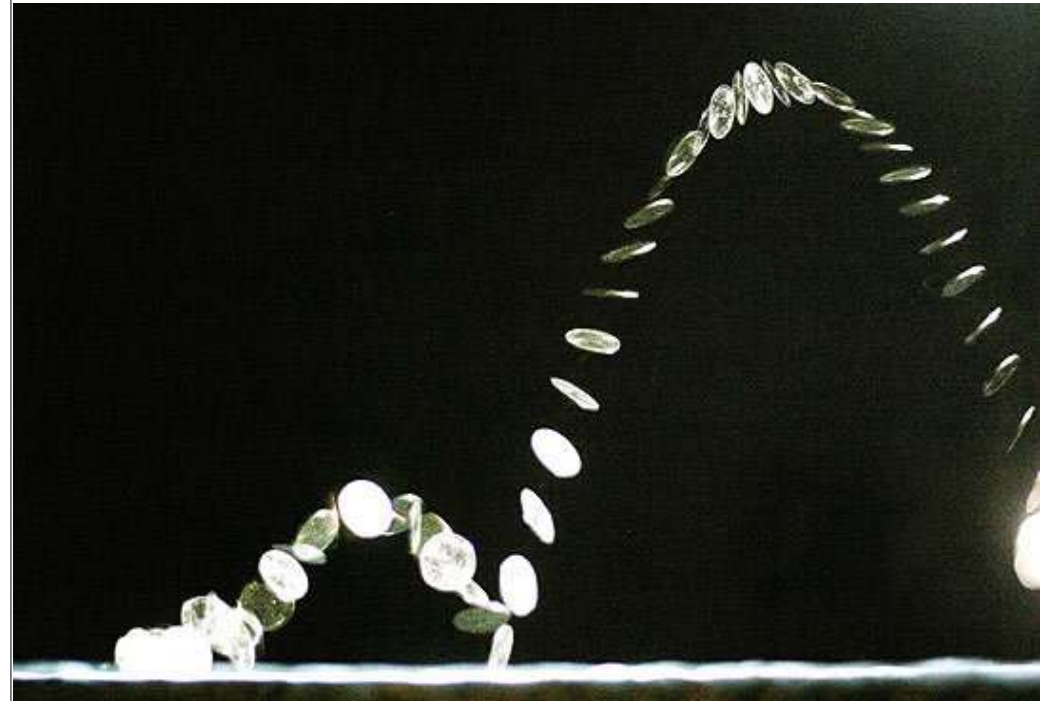
dekódolás



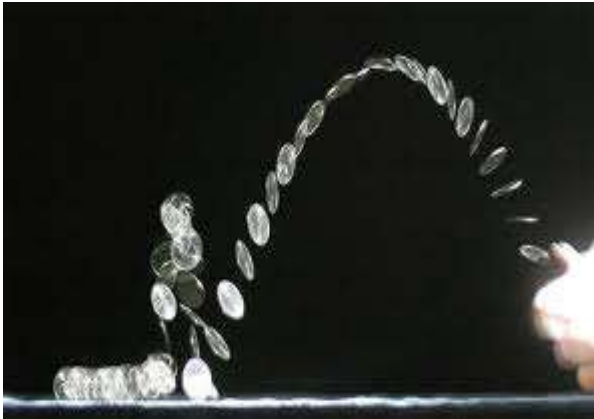
**(át)vevő  
cél(pont)**

példa

Fej vagy írás?









## Információátvitel – digitális kódolás



Esemény	szám	digitális kód
 :	1	1
 :	0	0



	1	001
	2	010
	3	011
	4	100
	5	101
	6	110

# Információátvitel - kódolás

általánosságban

**Információ forrás**

A lehetséges események közül  
melyik következett be?

kódolás

**eseményeket SZÁMOKKAL** reprezentálunk

↓  
**Átviteli csatorna**

dekódolás

**SZÁMOKBÓL** visszaállítjuk az **eseményeket**

↓  
**(át)vevő  
cél(pont)**

(hír)

## Információátvitel - kódolás

általánosságban

**Információ forrás**

kódolás



**Átviteli csatorna**

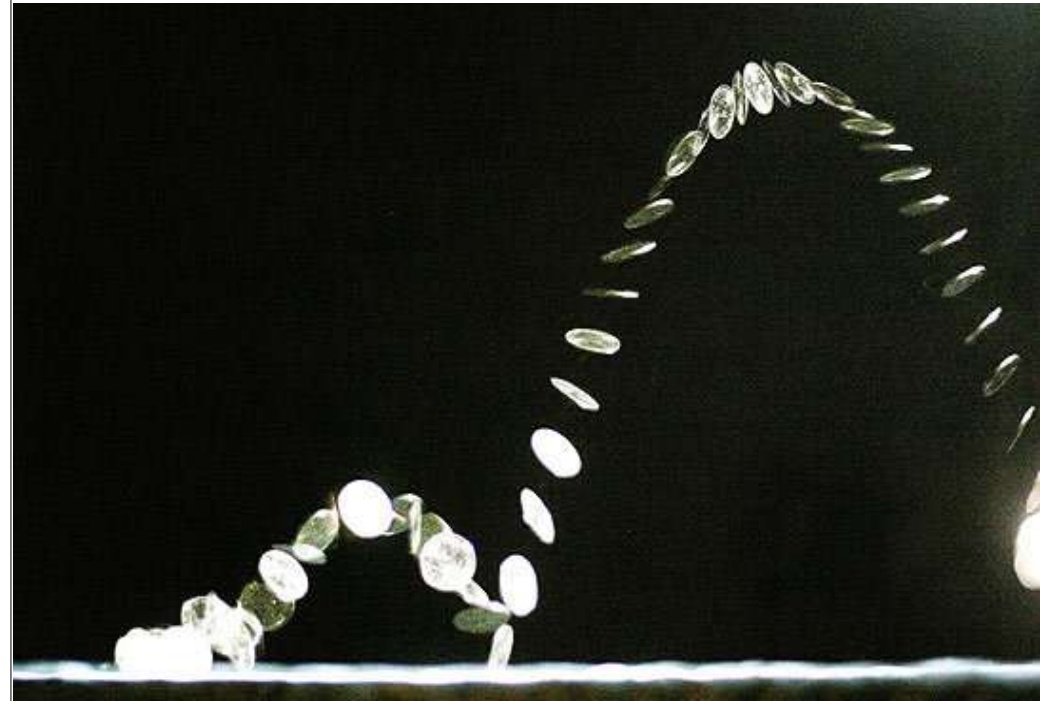
dekódolás



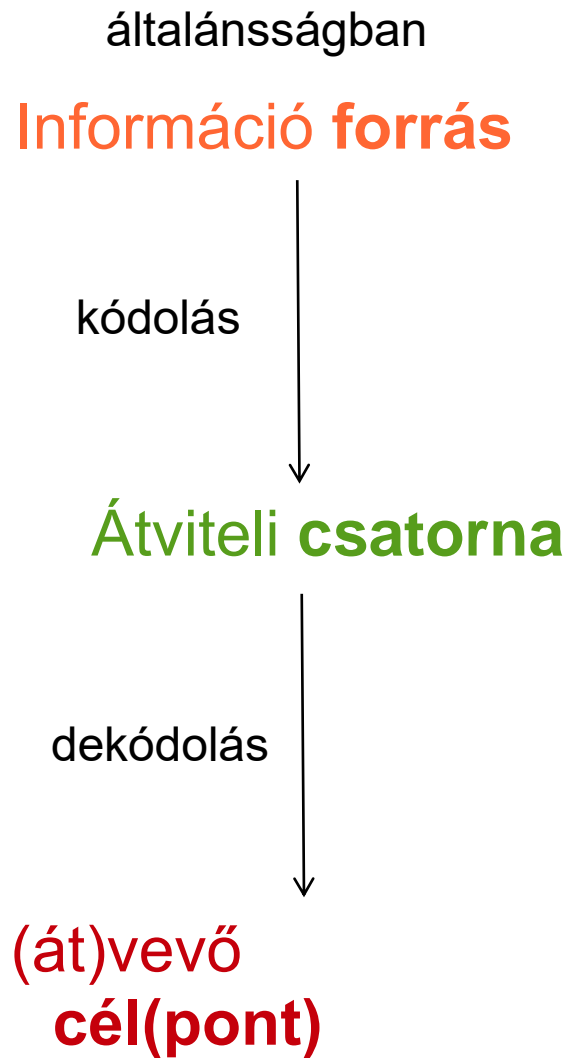
**(át)vevő  
cél(pont)**

példa

Fej vagy írás?



# Információátvitel - kódolás



## információátvitel – az információ mértéke

Intuitíven: annak van nagyobb információtartalma ami ritkán történik meg, vagy nem tudjuk előre

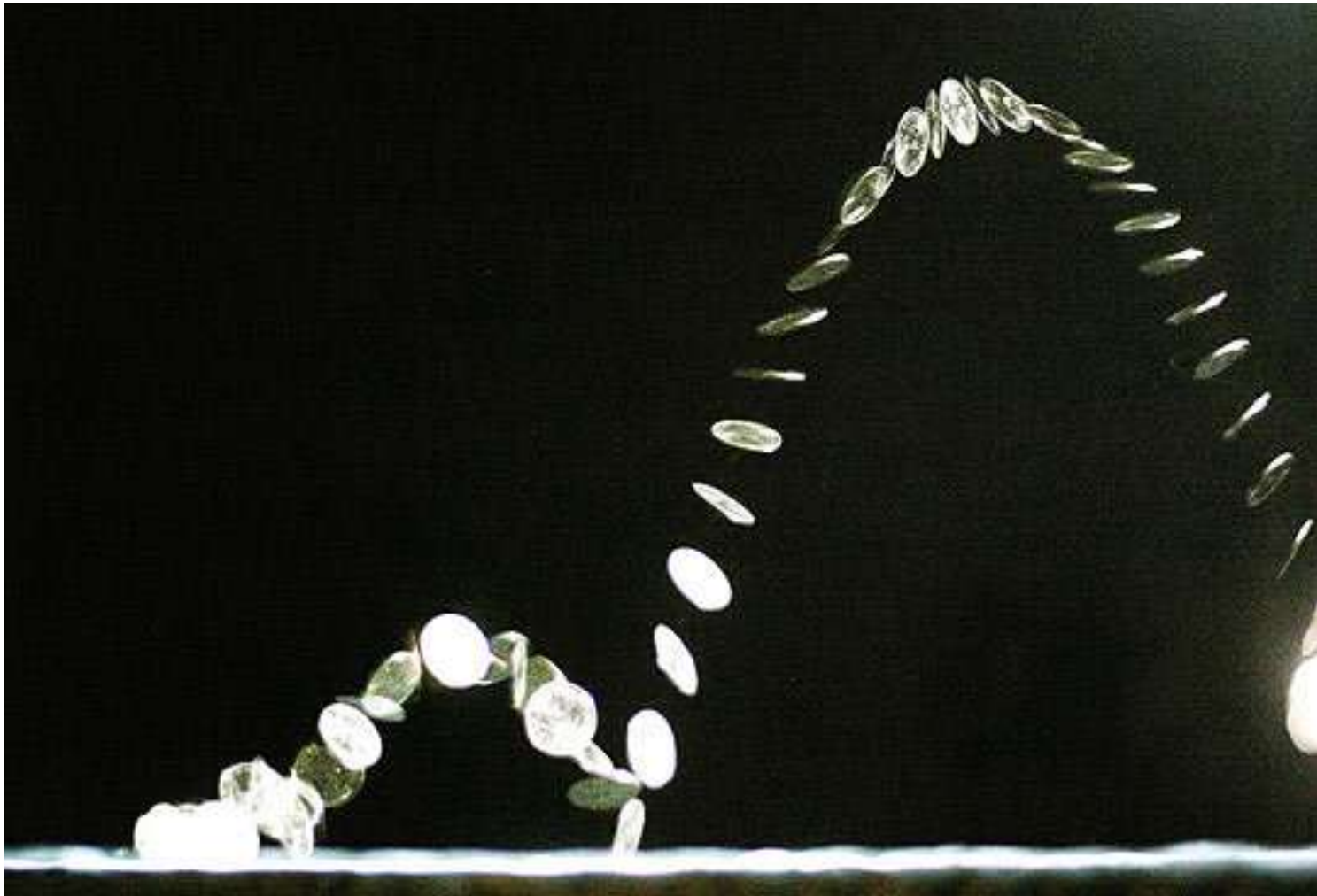
Shannon :

$$H = p \cdot \log_2 \left( \frac{1}{p} \right)$$

H az átlagos, várható információtartalmat adja meg, ez hozható kapcsolatba a kódolással. Szokás megadni egyetlen esemény információtartalmát is (I):

$$I = \log_2 \left( \frac{1}{p} \right)$$

Ezzel  $H = p \cdot I$ , azaz a bekövetkezési valószínűséggel súlyozott információtartalom.



$$H = P_{fej} * \log_2 \frac{1}{P_{fej}} + P_{írás} * \log_2 \frac{1}{P_{írás}} = \frac{1}{2} * \log_2 \frac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)} + \frac{1}{2} * \log_2 \frac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)} = 1 [Bit]$$

## az információ mértéke - entrópia

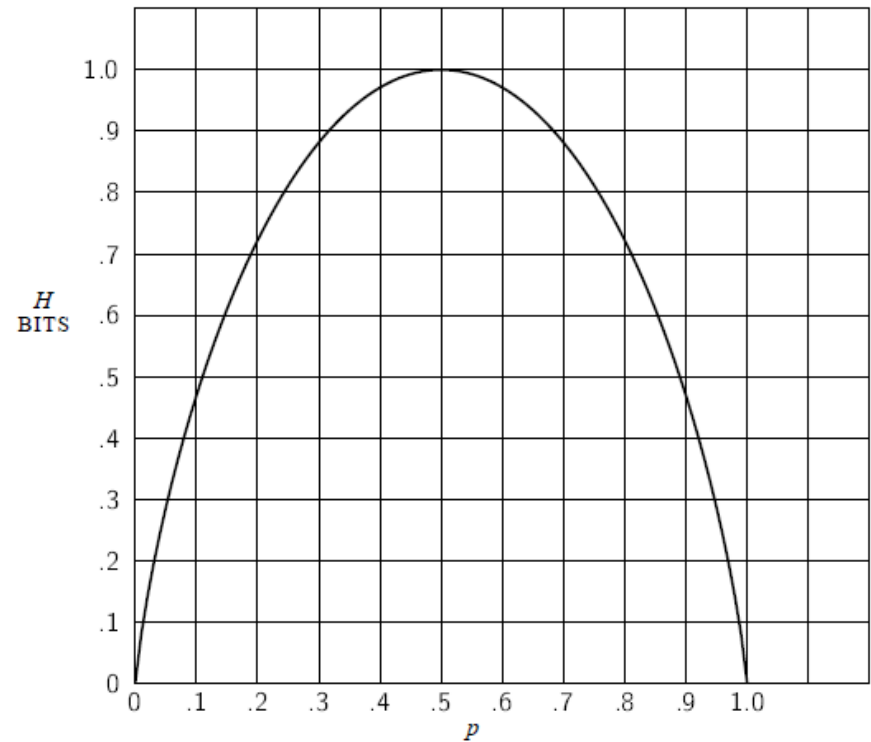
Fej vagy írás



$p$



$q = 1-p$



$$H = \sum_i -p_i \cdot \log_2 p_i = -p \cdot \log_2 p - q \cdot \log_2 q = -p \cdot \log_2 p - (1-p) \cdot \log_2 (1-p)$$



## az információ mértéke - entrópia

Fair érme:  $p = \frac{1}{2}$

Nincs előfeltevés,  
Maximális bizonytalanság

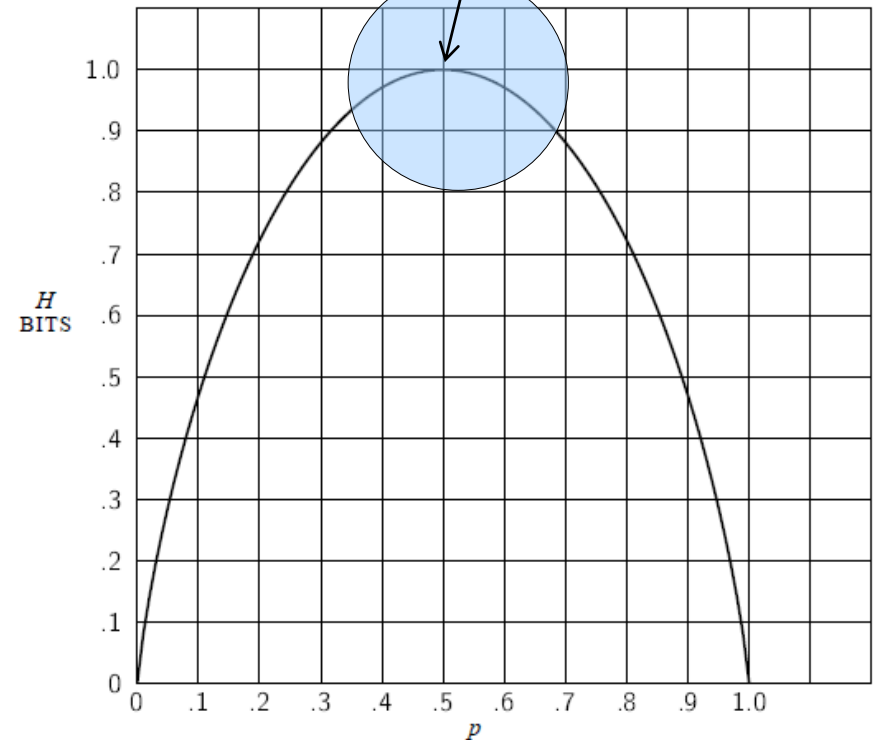
Fej vagy írás



$p$



$q = 1-p$



$$H = \sum_i -p_i \cdot \log_2 p_i = -p \cdot \log_2 p - q \cdot \log_2 q = -p \cdot \log_2 p - (1-p) \cdot \log_2 (1-p)$$

## az információ mértéke - entrópia

Fair érme:  $p = \frac{1}{2}$

Nincs előfeltevés,  
Maximális bizonytalanság

Fej vagy írás

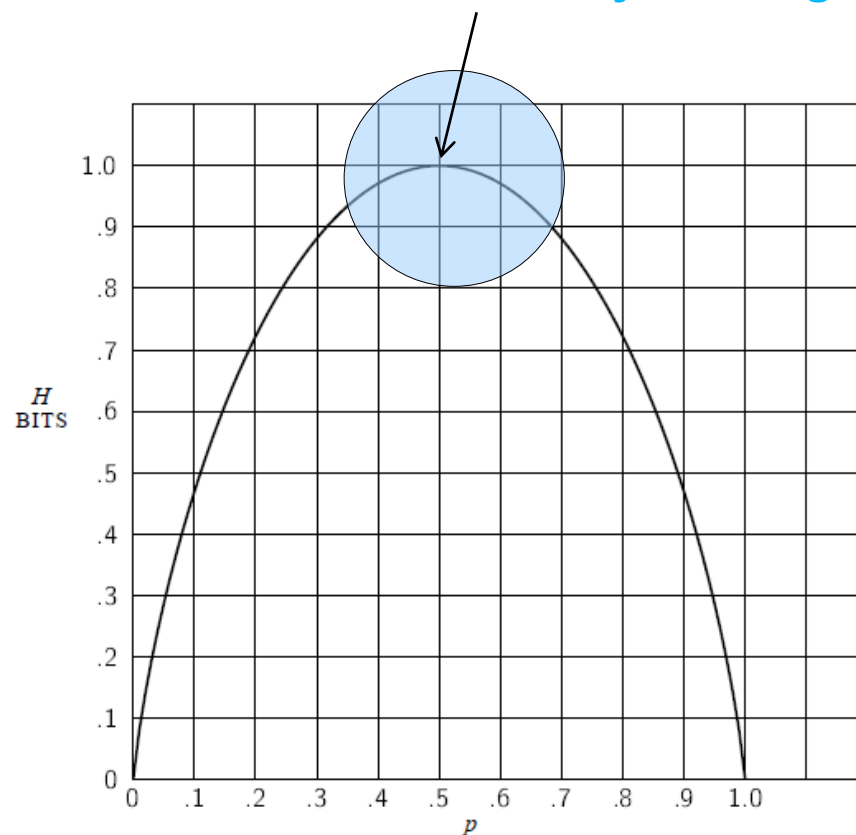


$p$



$q = 1-p$

H másik neve: **Shannon-entrópia**



H akkor **maximális** ha semmit sem tudunk előre azaz minden eseményhez egyforma  $p_i (= 1/n)$   
Minden lehetőség egyformán valószínű, legtöbbféle előfordulást látjuk

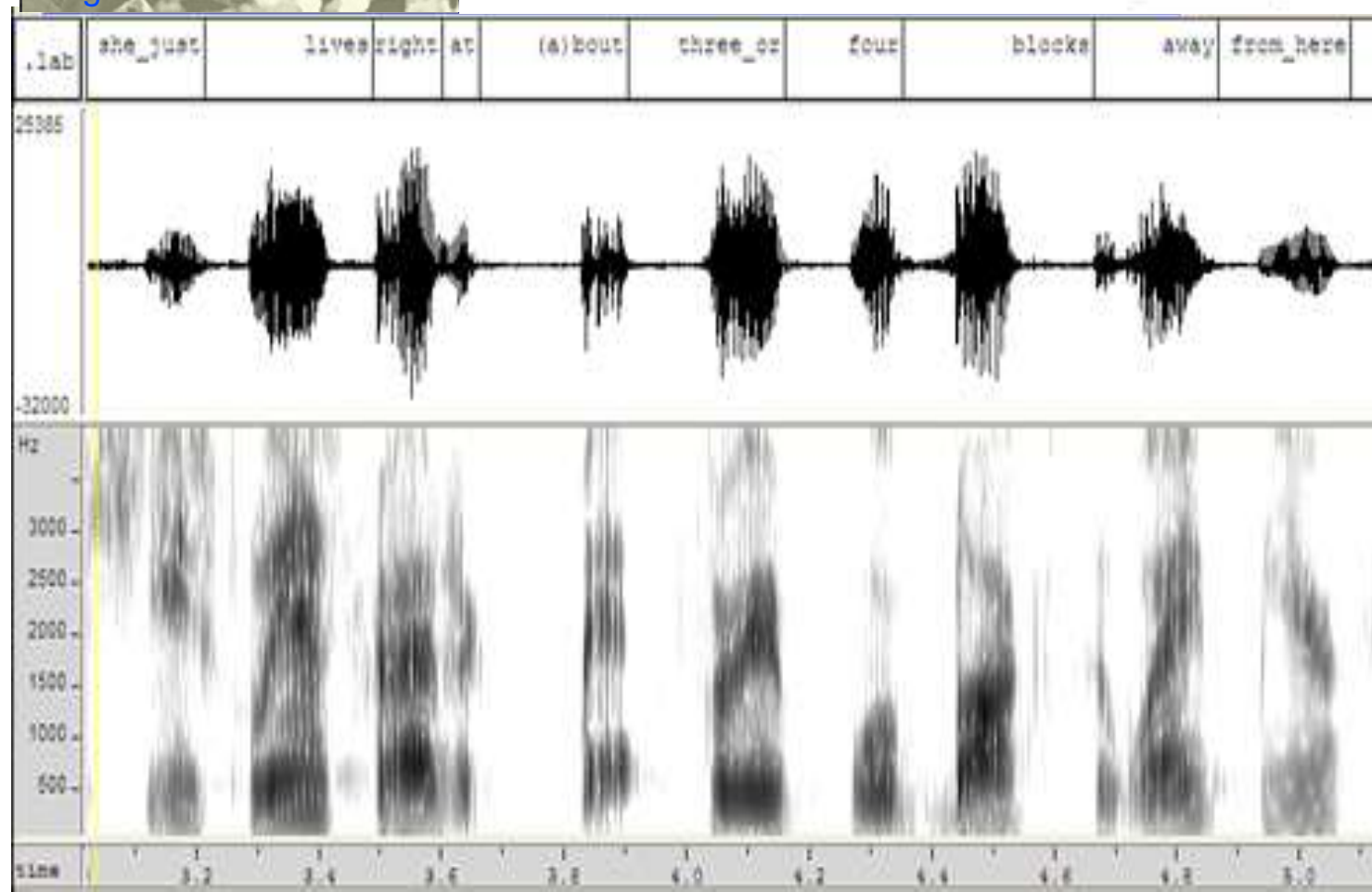
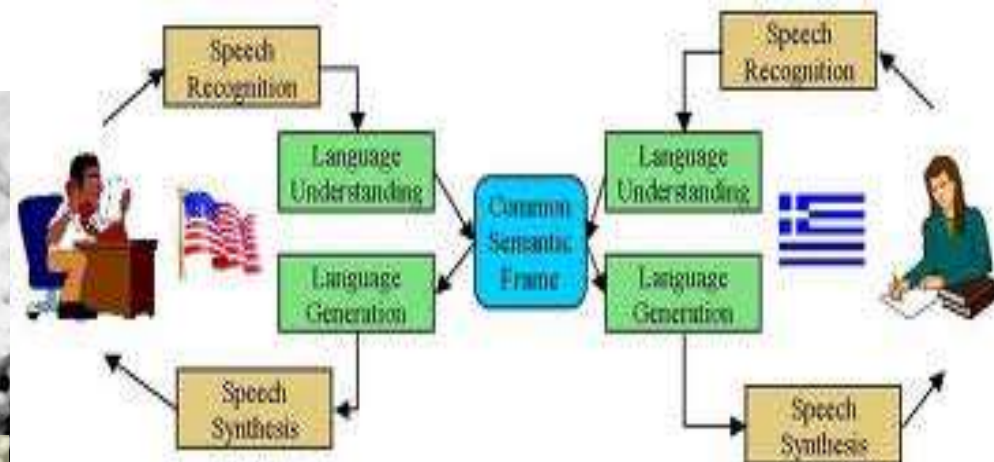


A fizikai entrópia (S) maximuma is ott van ahol a mikroállapotok száma maximális

**Jel** az ami **Információt** hordoz.



Eugene Debs 1918 Ohio



Beszédben:

**Információ** : amit mondani szeretnénk.

**Jel**:

- hang: nyomáshullám
- **kódolás**: elektromos jellé: mikrofon
- **kódolás**: nyelvtan, fordítás
- **dekódolás**: elektromos -> hanghullám
- **dekódolás**: szövegértés

# Orvosi jelfeldolgozó lánc

Páciens mint  
információforrás



transducer

kódolás

erősítő

Elektromos  
jel

Bármilyen jel  
(elektromos vagy nem)

Analóg oldal (ma már ritka)

kódolás

Signal  
selection

Display

A/D  
Conversion

computer

kódolás

Digitális útvonal

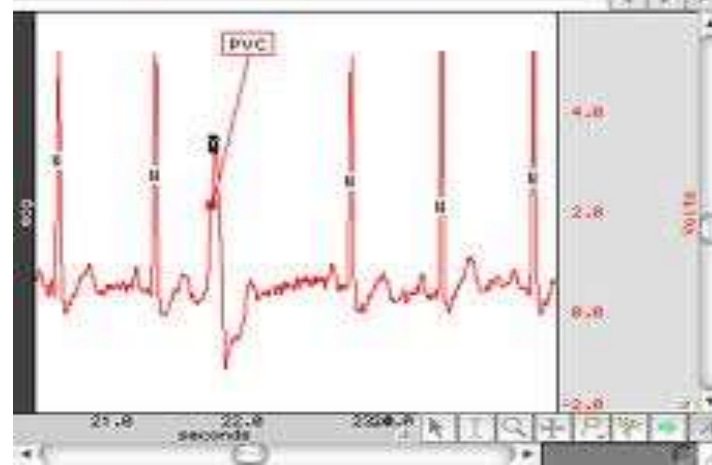
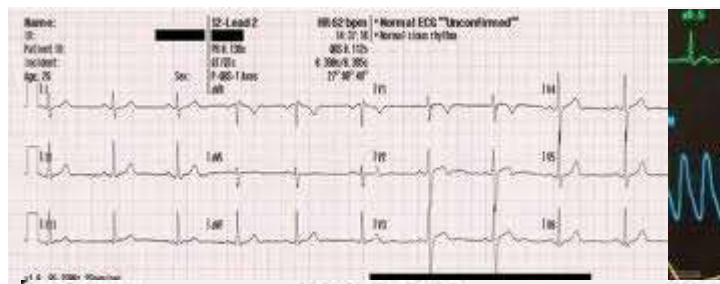
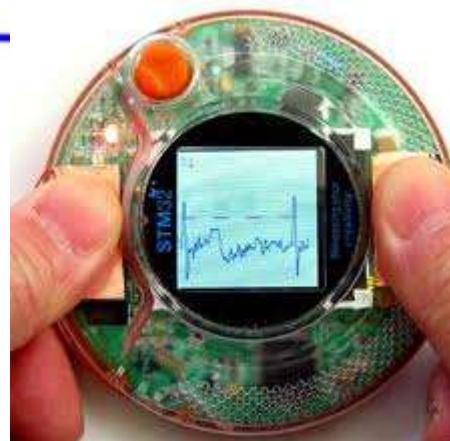
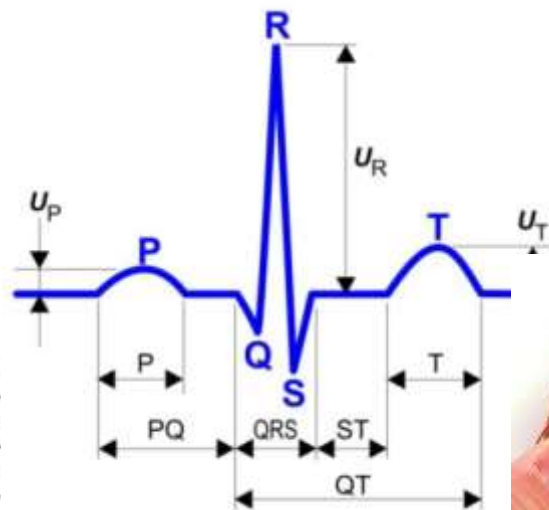
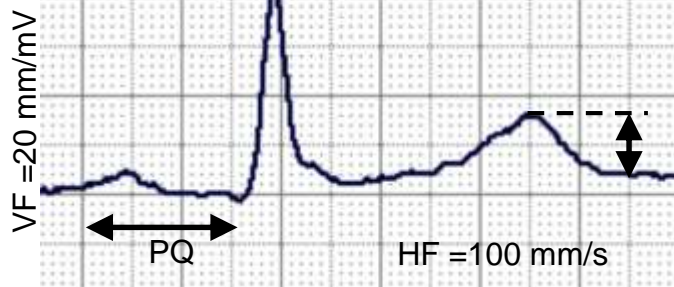


Dekódolás  
döntés  
diagnózis



# Orvosi jelek

Einthoven II. elvezetés



Információ: szívciklus

EKG: Elektro-Kardiográfia

Jel: elektromos feszültség

kódolás: nincs (de értelmezni azért kell)

Szűrésre van szükség

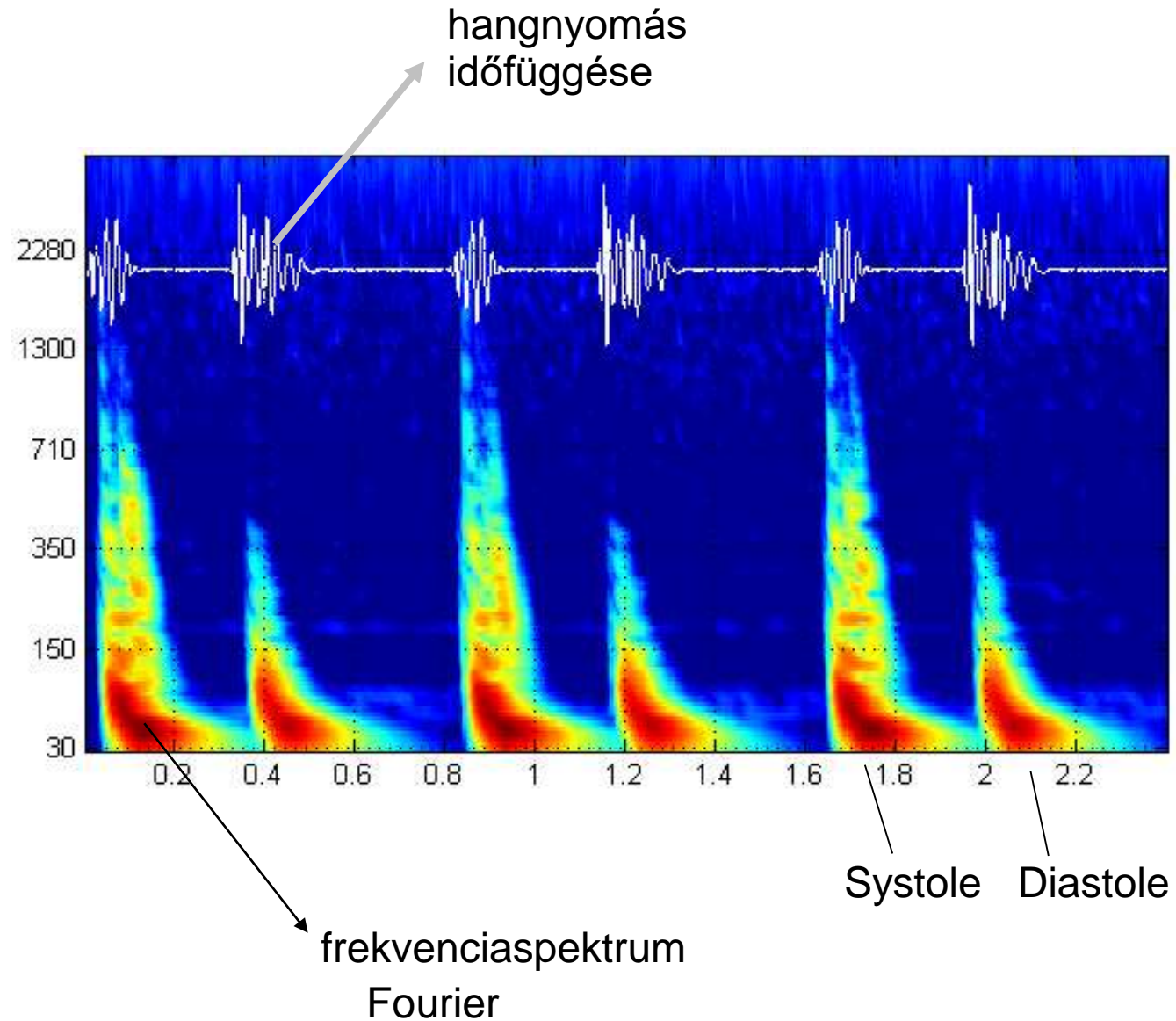
A zajt el kell távolítani

## Orvosi jelek

szívhangok

jel:  
Hanghullámok  
kódolás: elektromos jel (mikrofon)

kódolás: frekvencia-spektrum  
(színkódolt)



információ: szívciklus, áramlási viszonyok

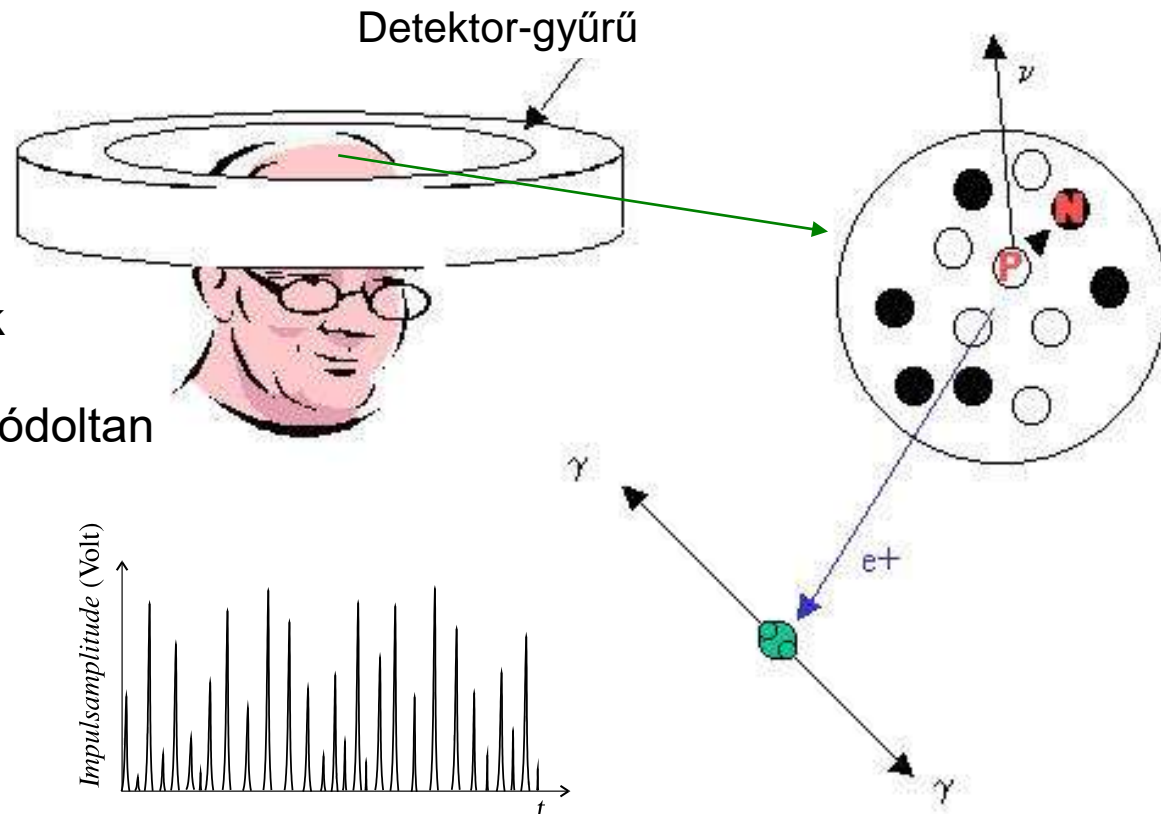
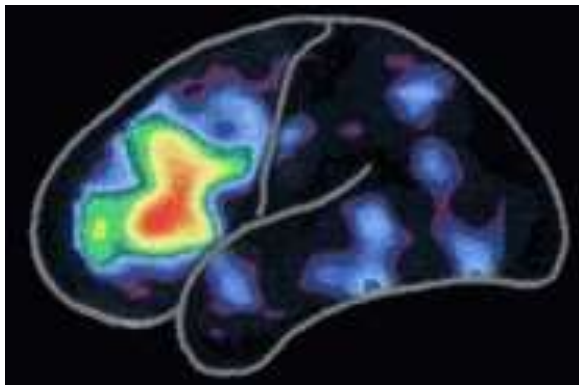
## Orvosi jelek

PET: Pozitron Emissziós Tomográfia

jel:  $\gamma$ -fotonok

kódolás: elektromos impulzusok

kódolás: tomográfiás kép színkódoltan  
(koncentráció viszonyok)



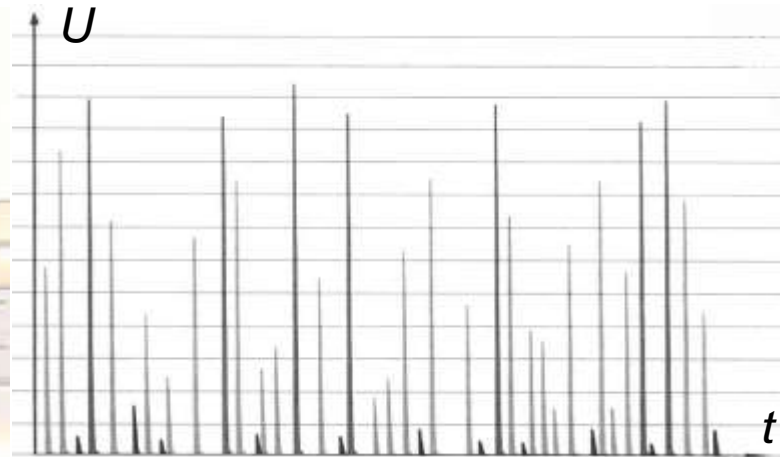
információ: hol és milyen koncentrációban van a jelzett molekula jelen.



## Orvosi jelek

SPECT-CT:  
Single Photon Emission  
Computed Tomography

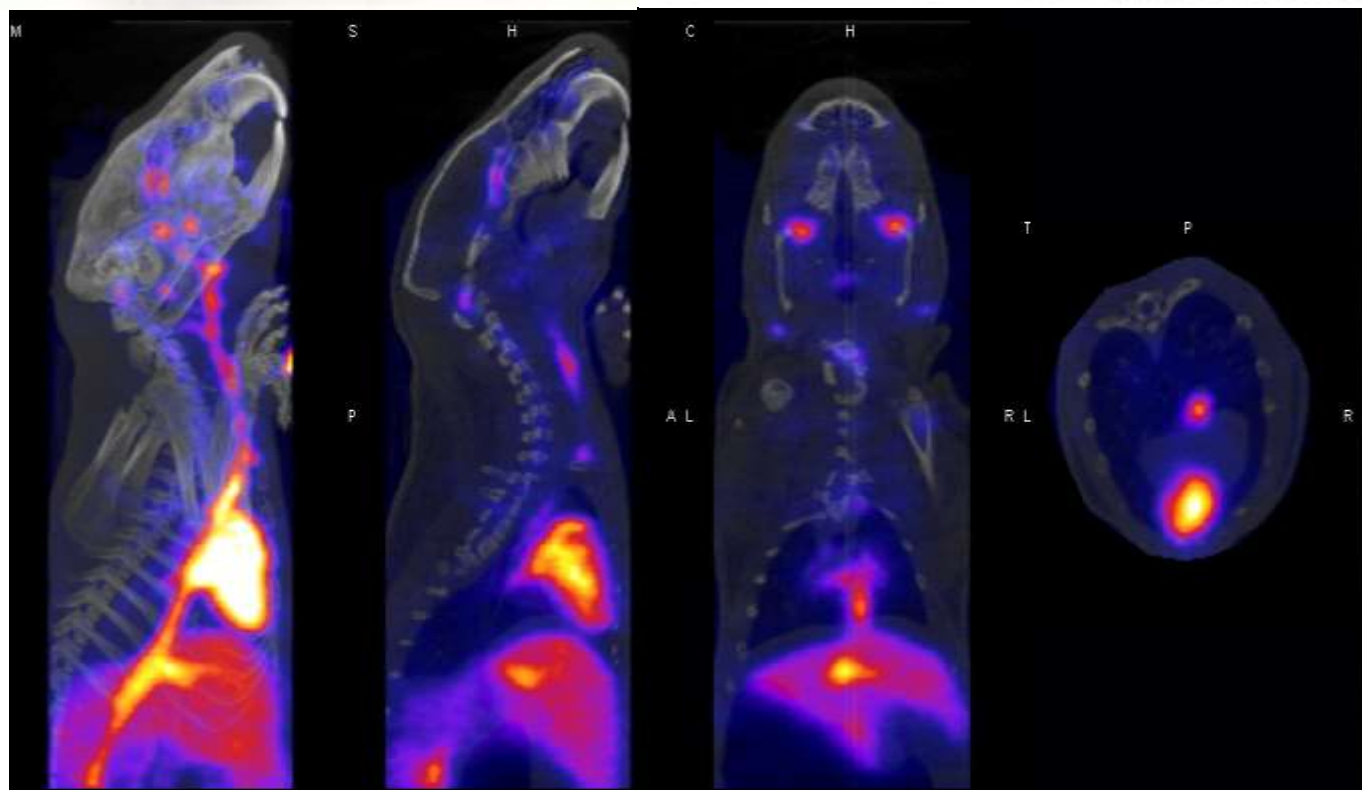
Computer Tomography



jel:  
 $\gamma$ -fotonok , Rtg-fotonok

kódolás: elektromos impulzusok  
kódolás: színezett és szürke-  
skálás képek egymásra vetítve

Információ:  
Anatómia (Rtg. kép)  
Izotópdiagnosztika (tumor, stb.)





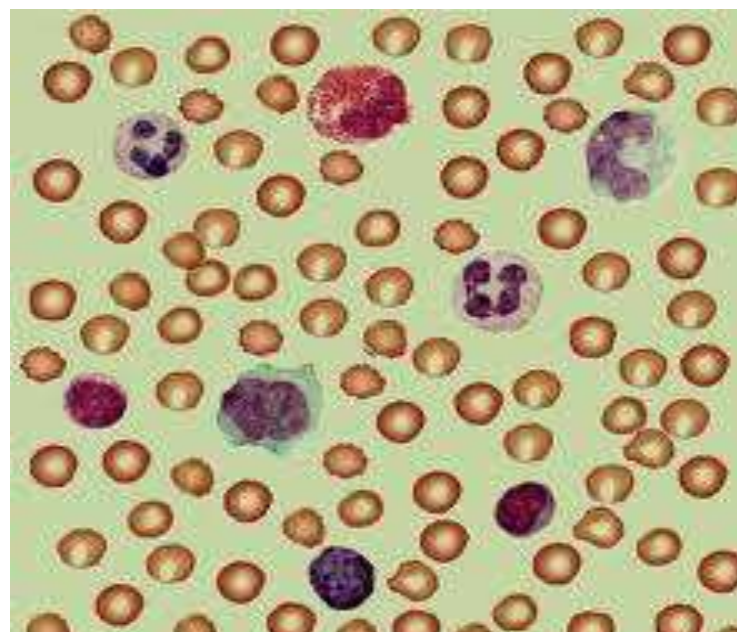
## Orvosi jelek



Sejtes elemek a vérben

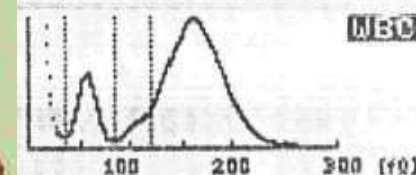
**jel:** sejtek mérete és koncentrációja  
**kódolás:** elektromos impulzusok  
(a mérőcellán átfolyó áramból)

**kódolás:** hisztogram

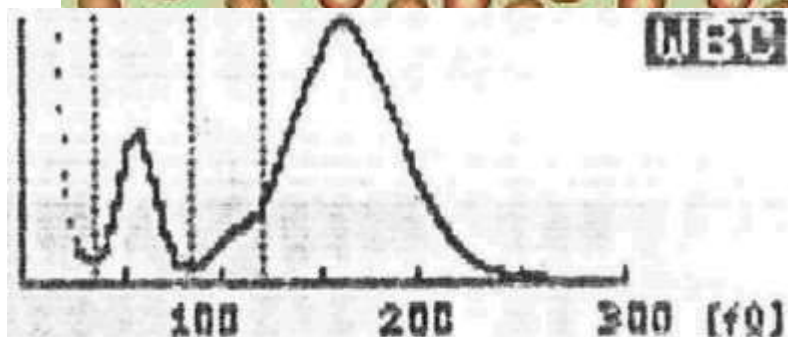


No. 3524  
DATE: 93/ 3/30 09:22  
MODE: WHOLE BLOOD

WBC	7.5x10 <sup>3</sup> /μl
RBC	3.64x10 <sup>6</sup> /μl
HGB	11.8 g/dl
HCT	33.1 %
MCV	90.9 fl
MCH	32.4 pg
MCHC	35.6 g/dl
PLT	158x10 <sup>3</sup> /μl

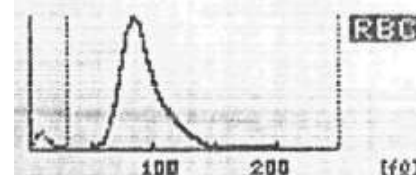


LYMPH%	16.2	%
MXD %	6.7	%
NEUT%	77.1	%
LYMPH#	1.2x10 <sup>3</sup> /μl	
MXD #	0.5x10 <sup>3</sup> /μl	
NEUT#	5.8x10 <sup>3</sup> /μl	

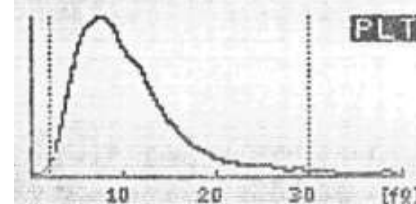


LYMPH%	16.2	%
MXD %	6.7	%
NEUT%	77.1	%
LYMPH#	1.2x10 <sup>3</sup> /μl	
MXD #	0.5x10 <sup>3</sup> /μl	
NEUT#	5.8x10 <sup>3</sup> /μl	

**információ:** sejtes összetétel  
(koncentrációk)



RDW-SD 38.1 fl



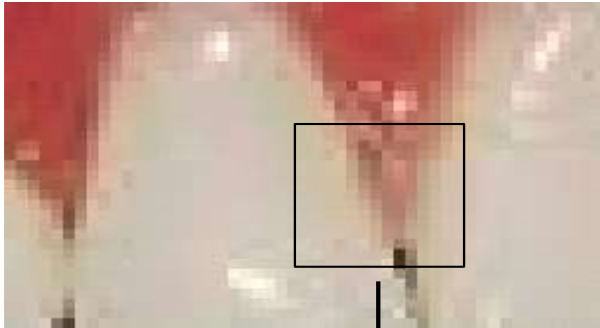
PDW	14.0	fl
MPV	10.5	fl
P-LCR	31.1	%

# Orvosi képfeldolgozás alapjai

pixel  
voxel

kép  
tomogram

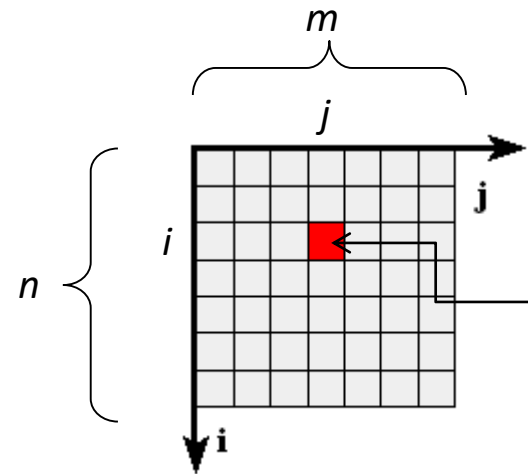
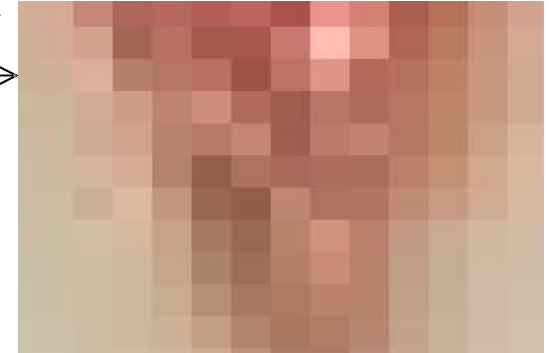
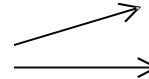
Minden kép elemekből (pixelek) áll.



oszlopok



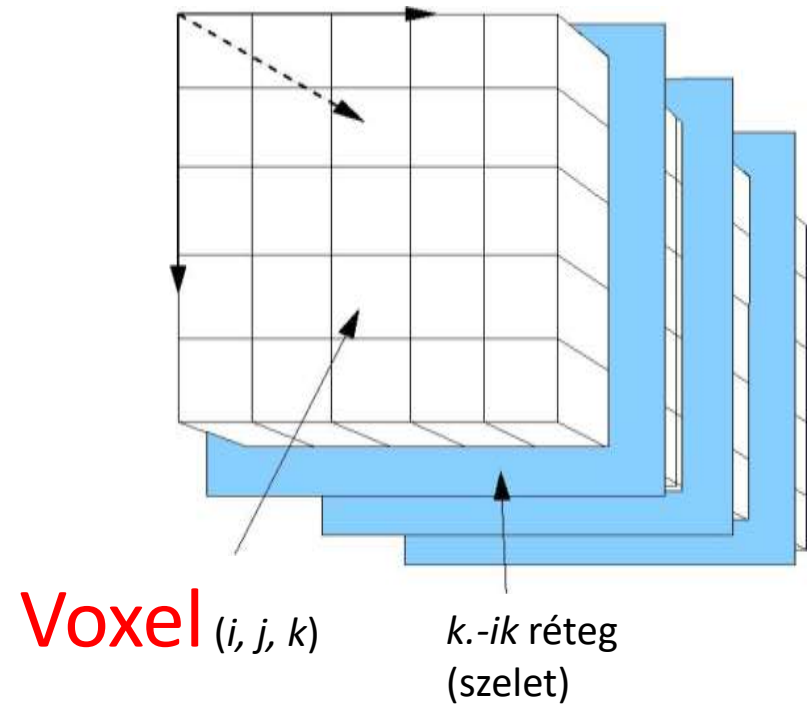
sorok

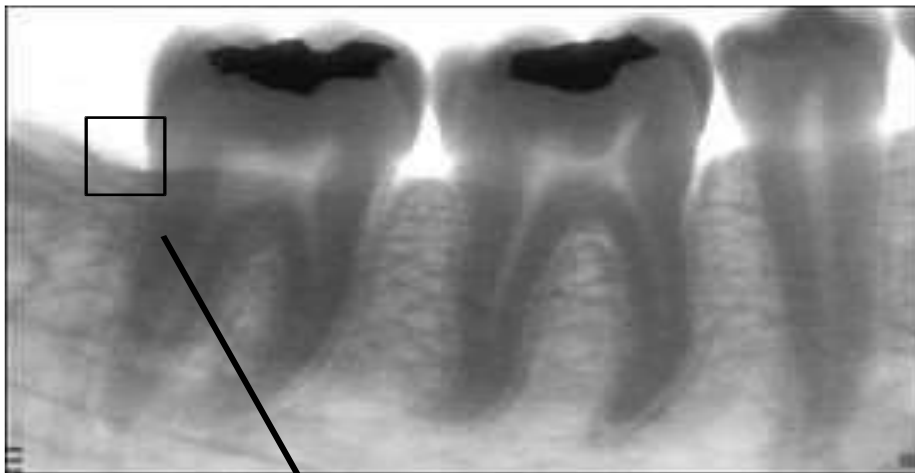


**Pixel**  $(i, j)$

3D rekonstrukcióhoz több „lapos” 2D képet készítünk, majd azokat rétegenként egymásra helyezzük.

Így minden Pixel-hez tartozik egy rétegvastagság, tehát a síkbeli négyzet helyett elemi kis kockákból fog állni a **rekonstrukciós térfogat**.



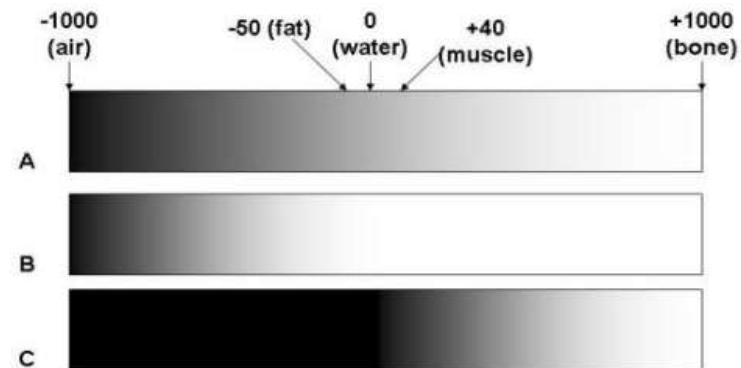


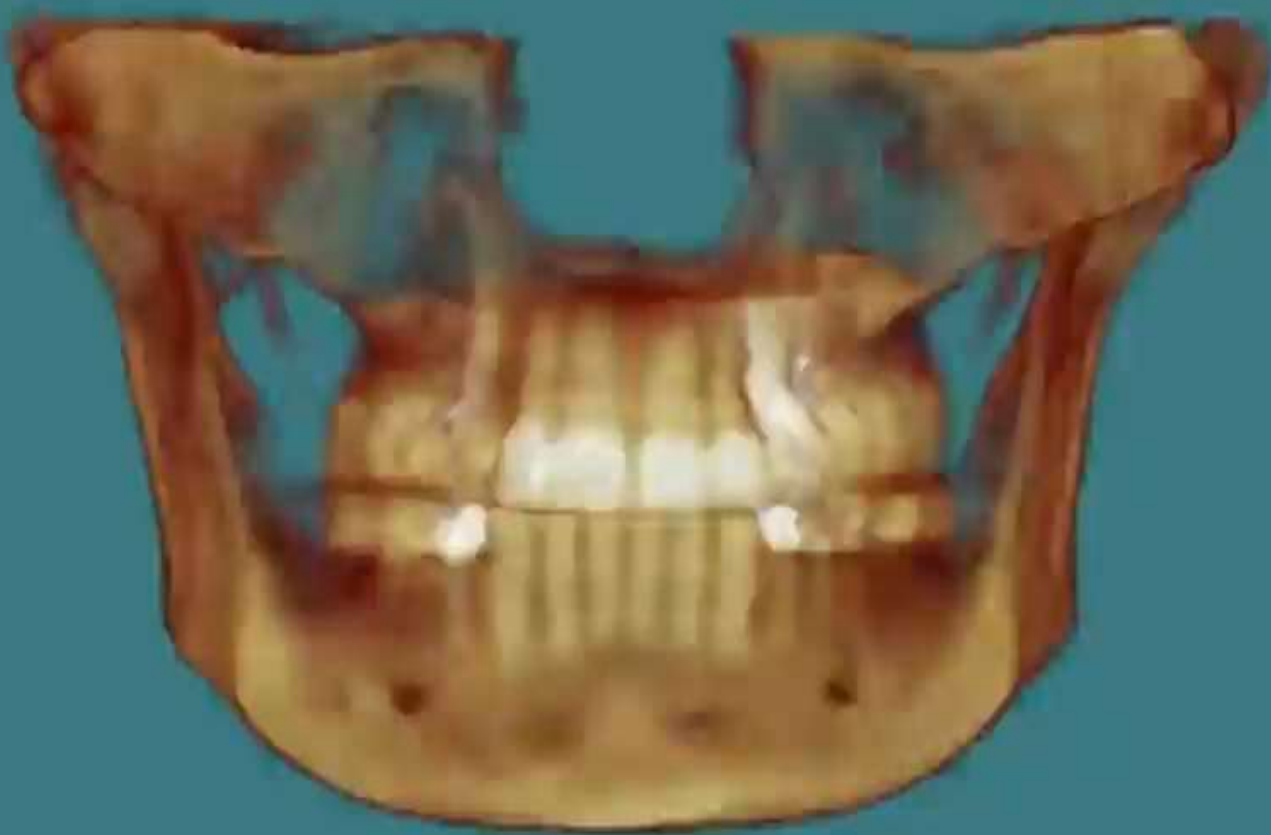
## Ablakolás:

A teljes érték-tartomány helyett a képernyőn csak egy részt jelenítünk meg.

Az emberi szem egy monitoron csak korlátozott számú szín-fényesség között tud különbséget tenni.

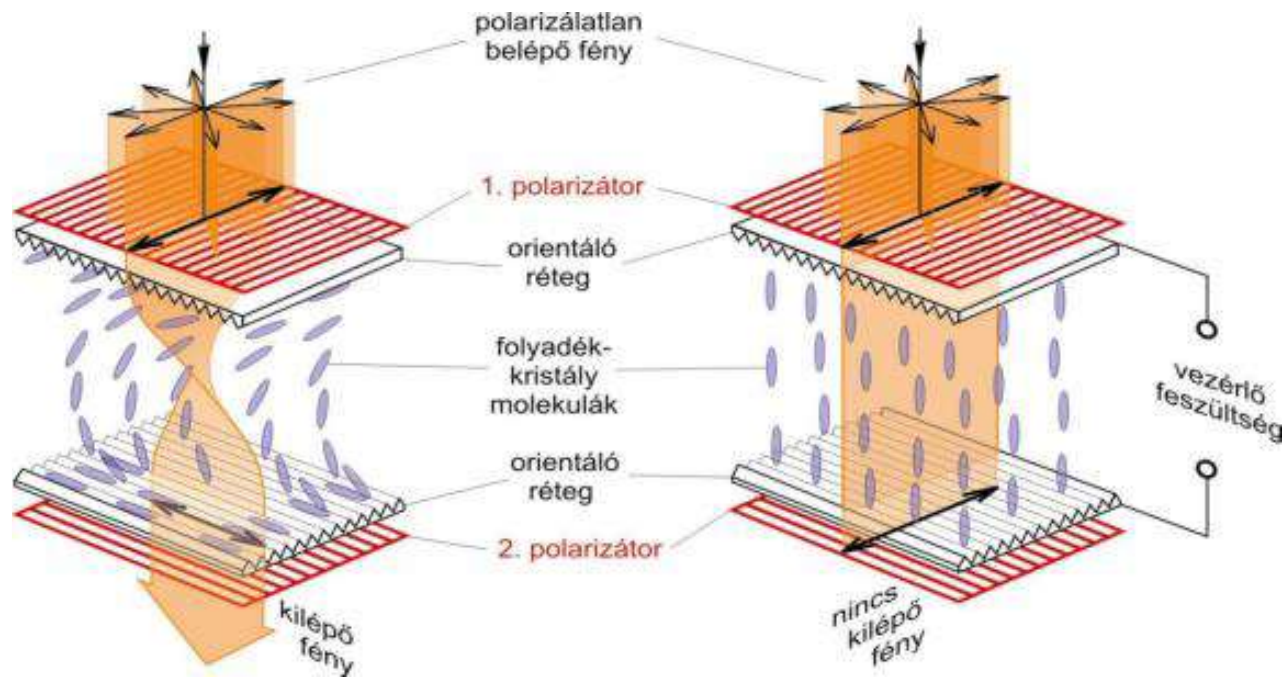
## CT ablakolási példák.





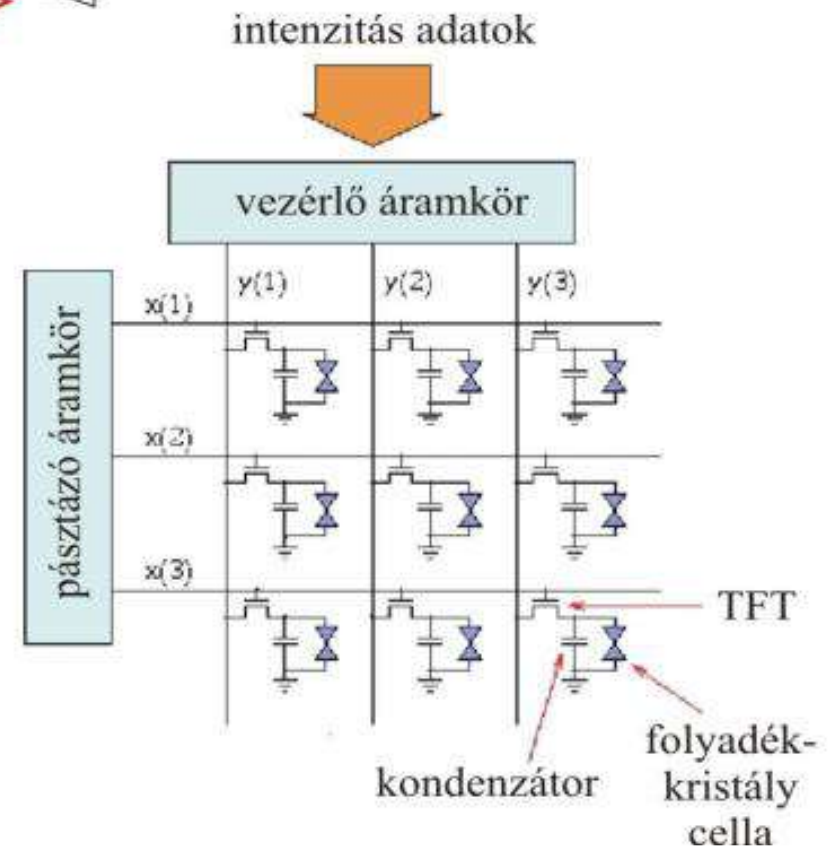


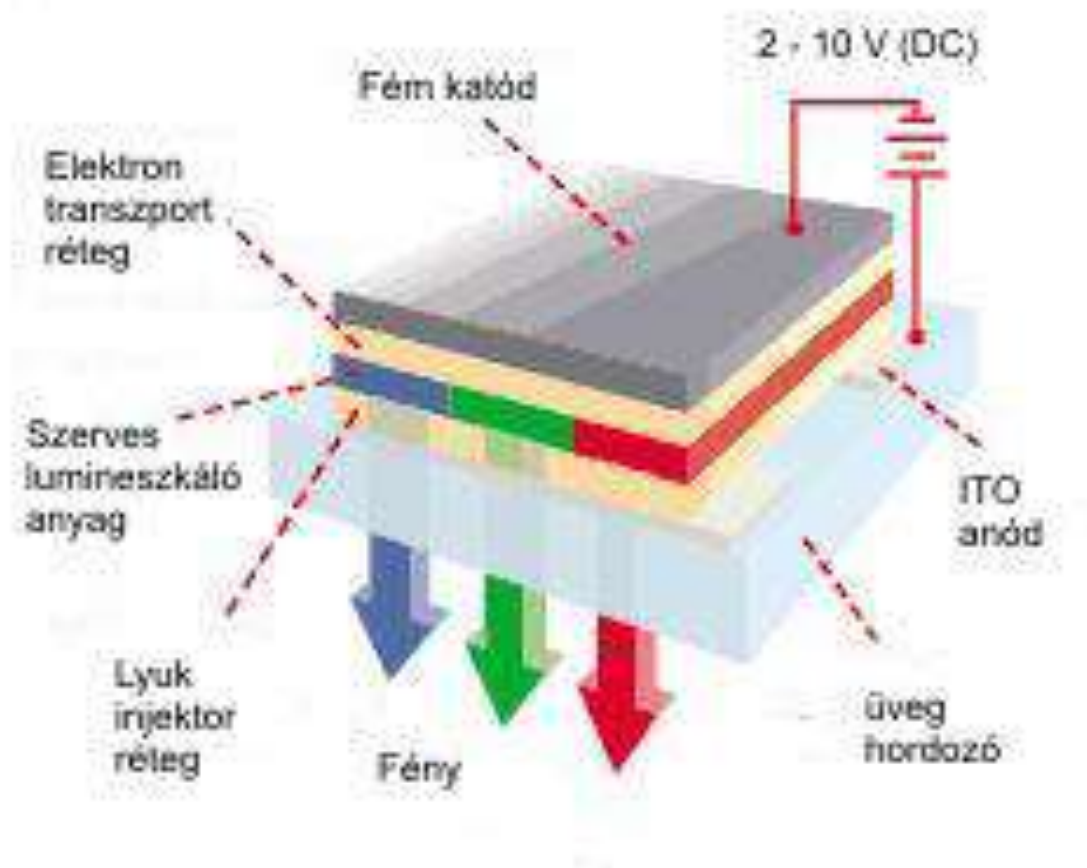
## Liquid Crystal Display : Folyadékkristályos kijelző



## Thin Film Transistor kijelző

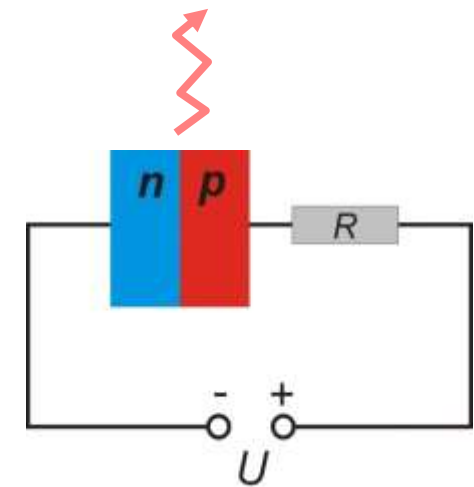
Egy nagyon vékony tranzisztor-réteg vezérel minden pixelt



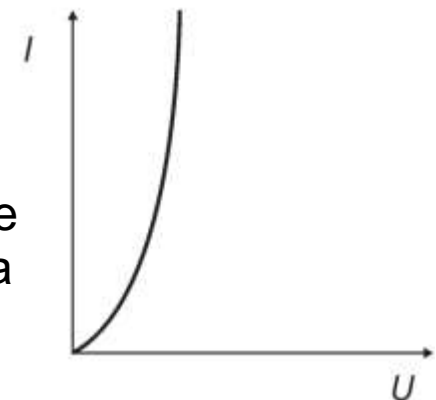


1 pixel szerkezete

# O(rganic)*LED*

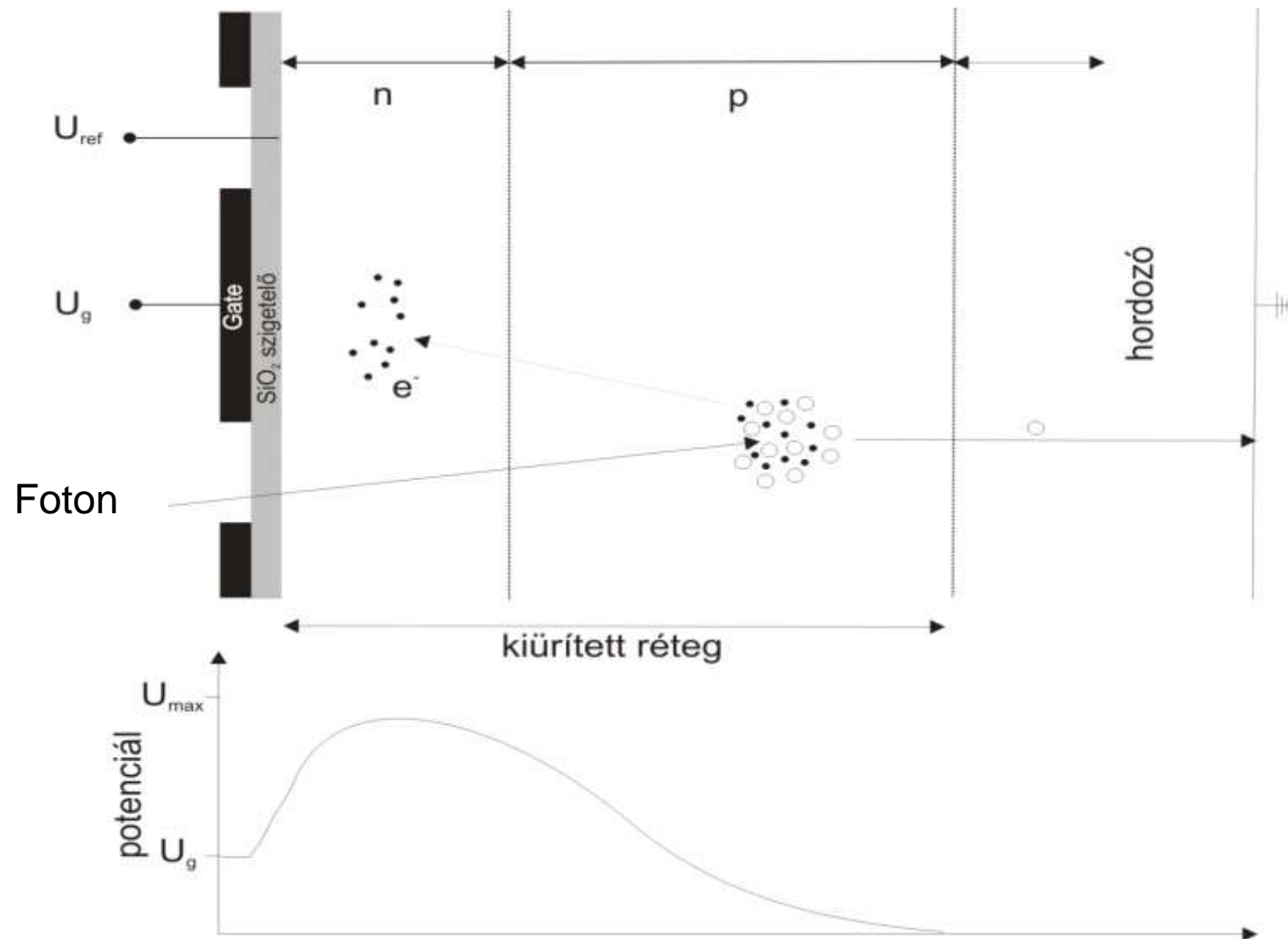


Light Emitting Diode  
fénykibocsátó dióda





# Charge Coupled Device (CCD)



Rtg-kamerákban is fel lehet használni a CCD detektorokat

# Jelfeldolgozás

Jelek fajtái

Elektromos jelek feldolgozása,  
Fourier-transzformáció

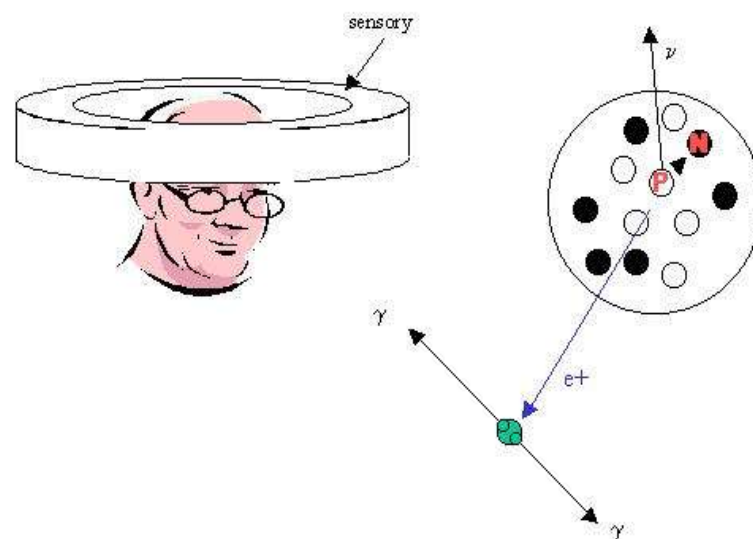
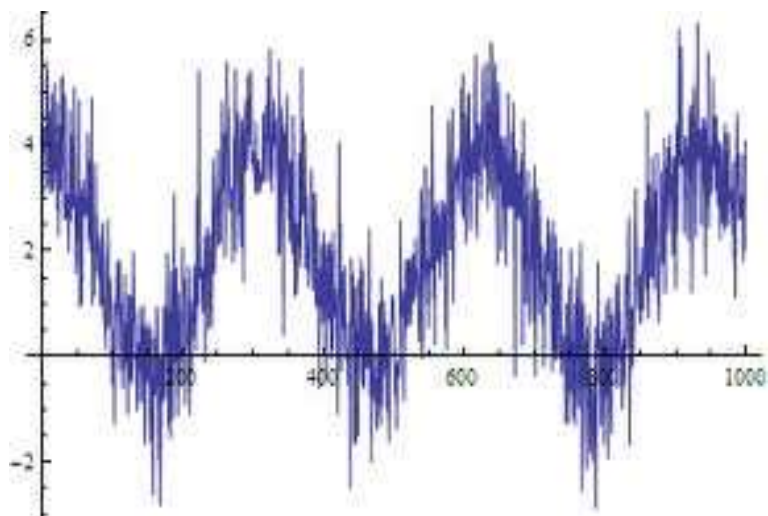
Digital signal processing (DSP): Digitális jelfeldolgozás

# Jelek fajtái

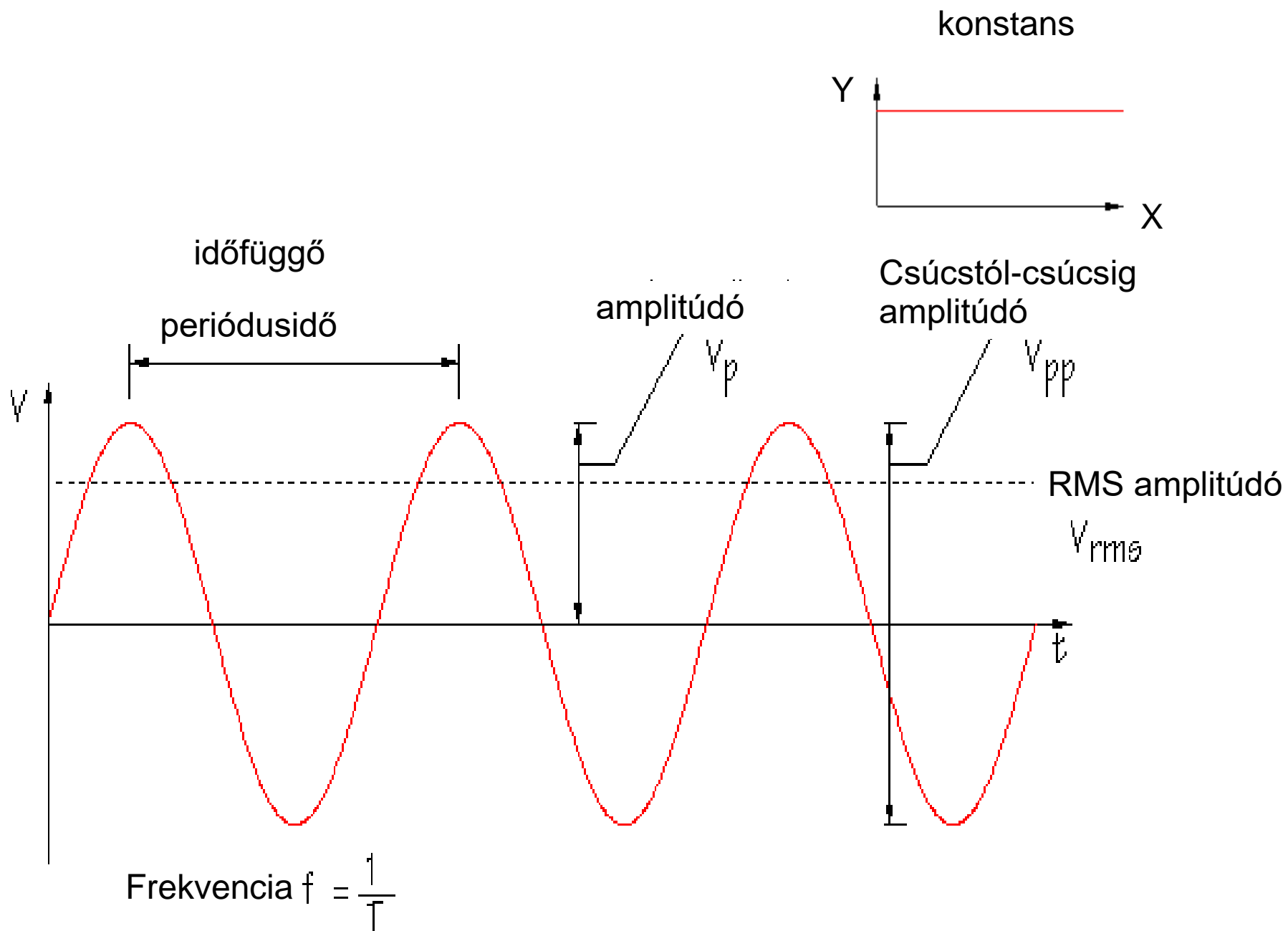
elektromos



Nem elektromos



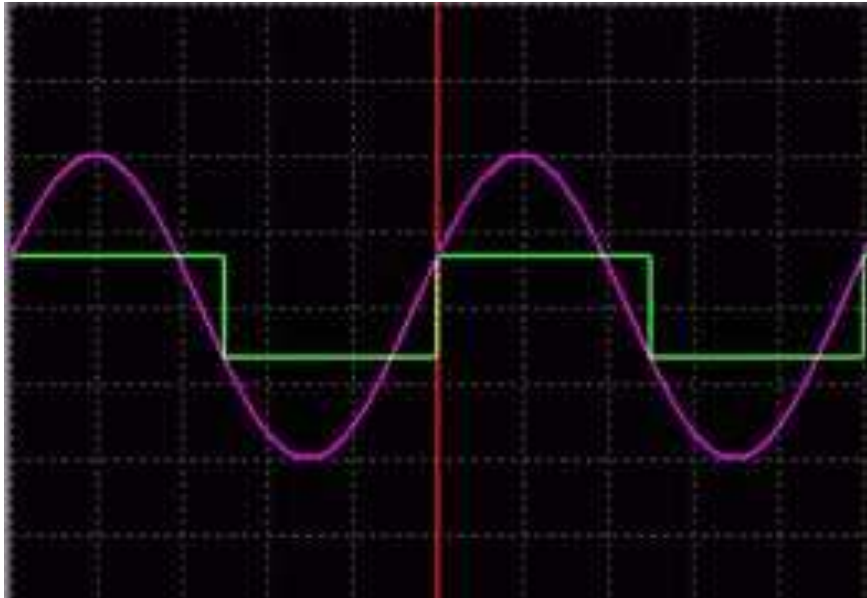
## Jelek fajtái



RMS: négyzetes átlag

## Jelek fajtái

periodikus

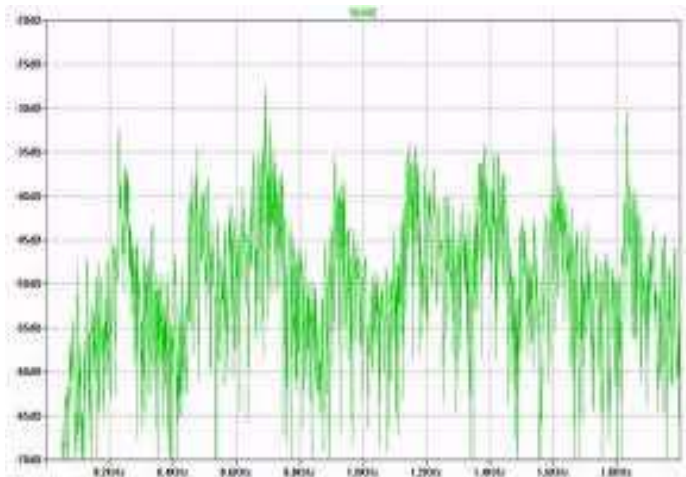


aperiodikus

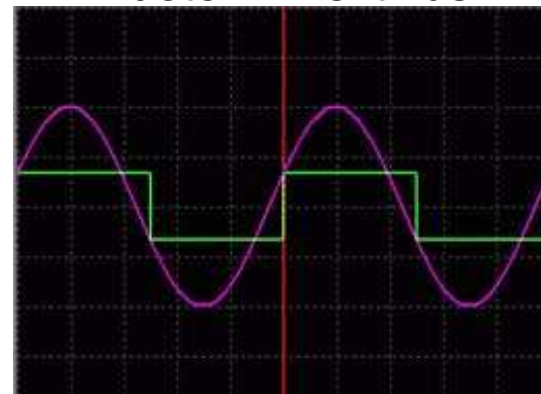


# Jelek fajtái

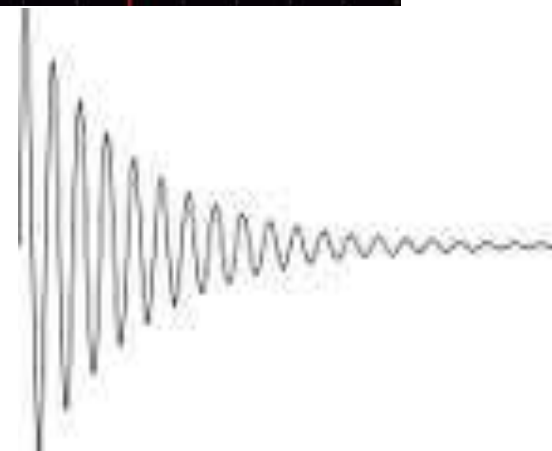
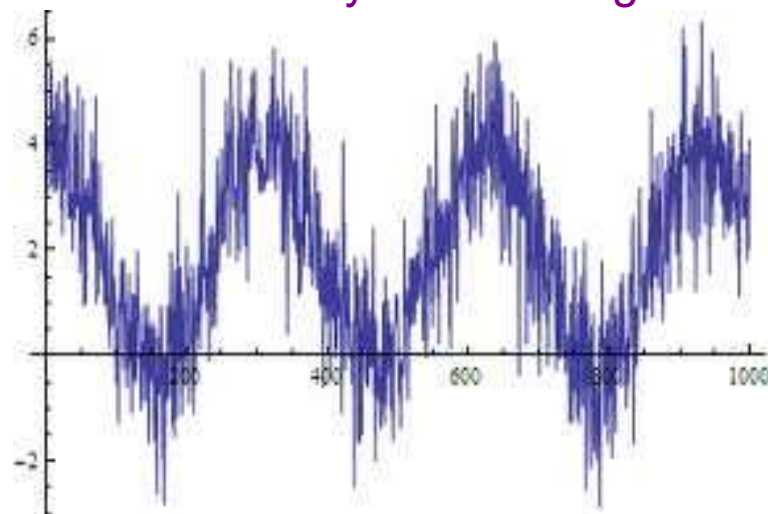
véletlenszerű



determinisztikus

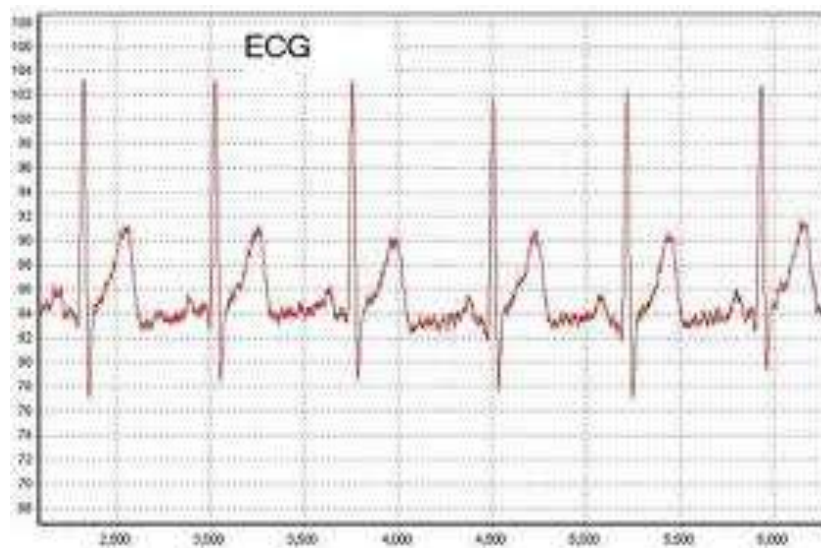
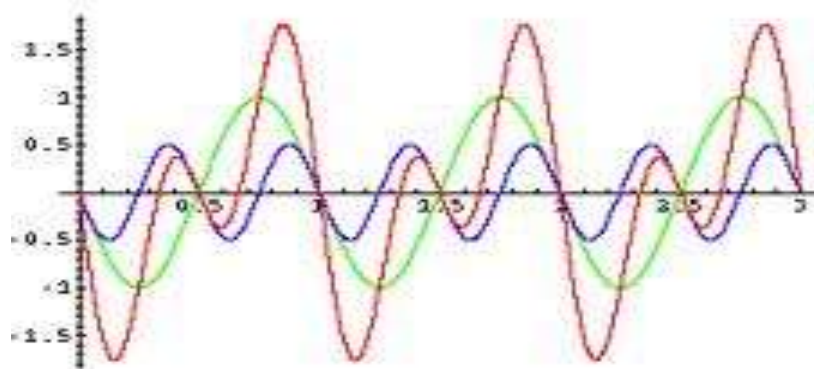


Többszörre a valóságban keverék.

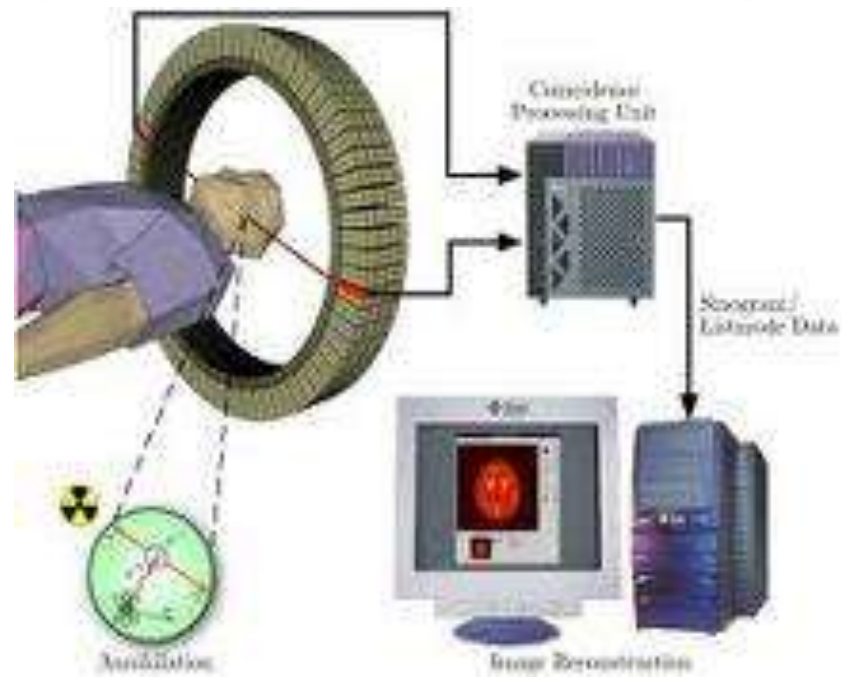
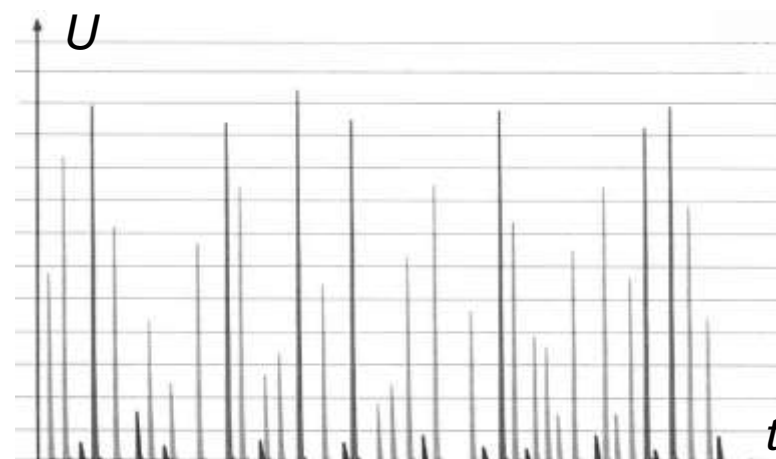


## Jelek fajtái

folytonos



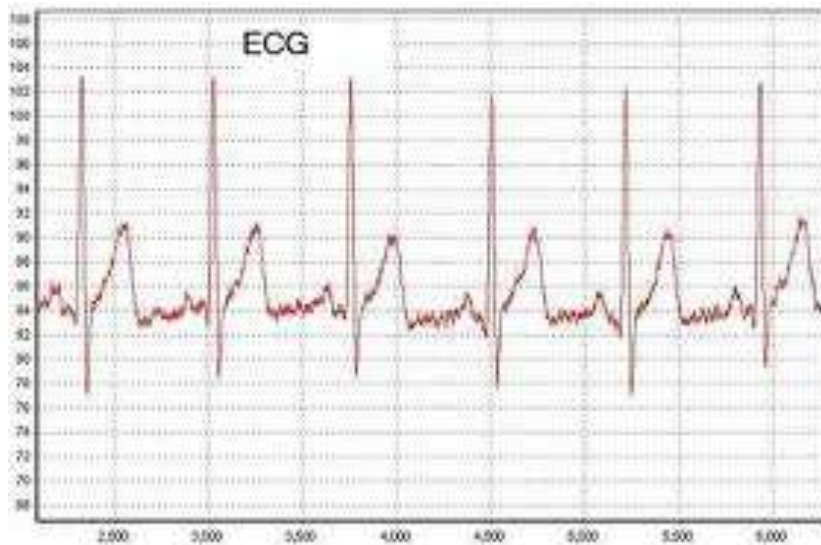
Impulzus-jellegű





# Jelek fajtái

analóg

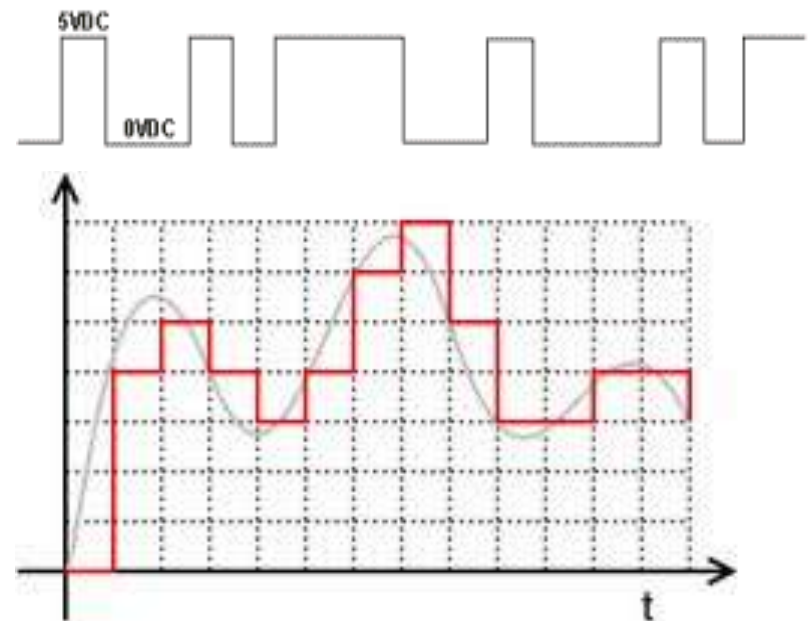


Elvben korlátlan felbontású

digitális

1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1

Unipolar Coding ("1" = +V , "0" = 0V )



Digitális: számsor  
**Véges felbontás**

A digitális jel egyfajta  
**kódolás** : az elektromos jelet  
számokká alakítjuk

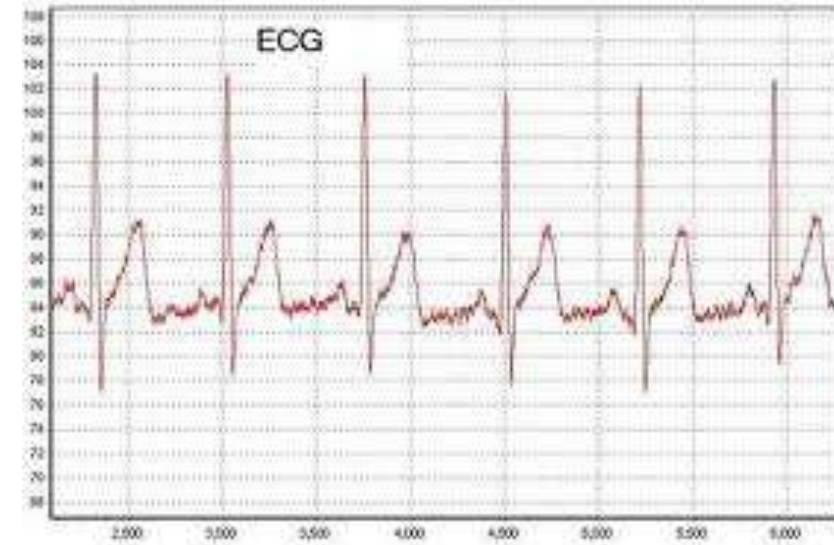


## Jelek információtartalma

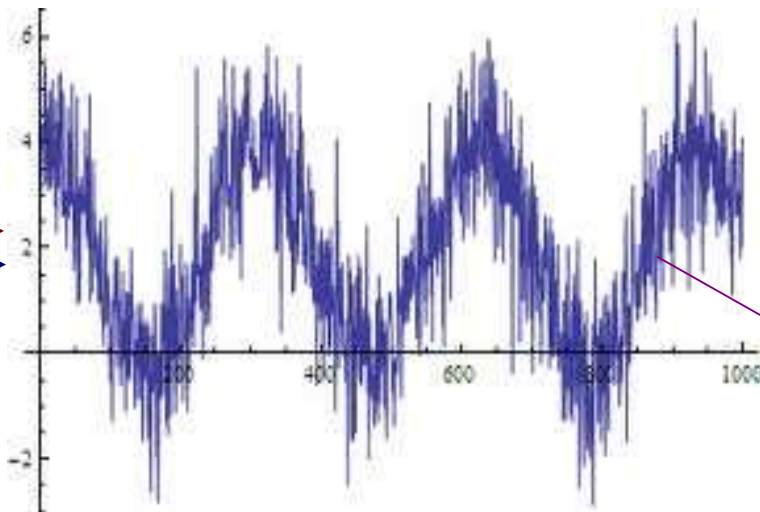
Valóban korlátlan felbontású az analóg jel?

Tényleg kell a **korlátlan** felbontás?

egyáltalán **van** korlátlan felbontású valódi analóg jel?



*A korlátlan felbontás  
csak elvi lehetőség  
(időben és értékben)*



**NEM!**

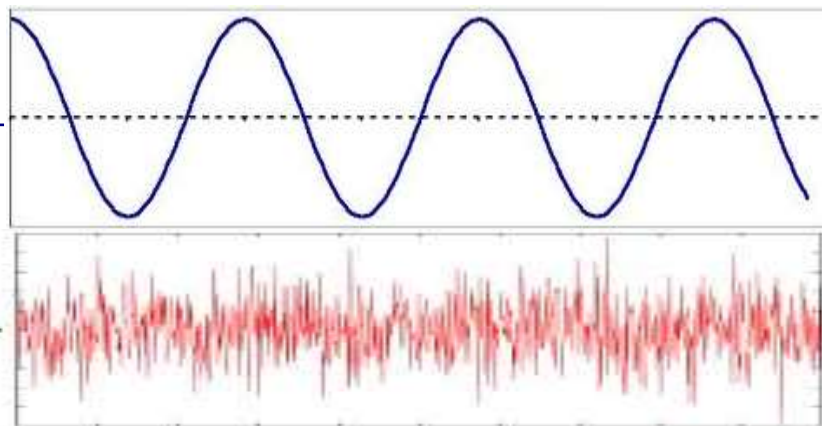
Valós helyzetben mindig keverékünk van:

$S = \text{információ (hasznos jel)} + \text{zaj}$

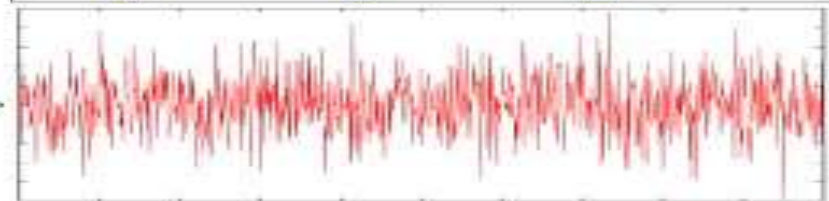
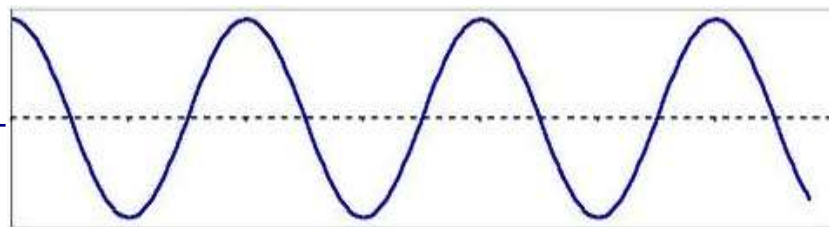
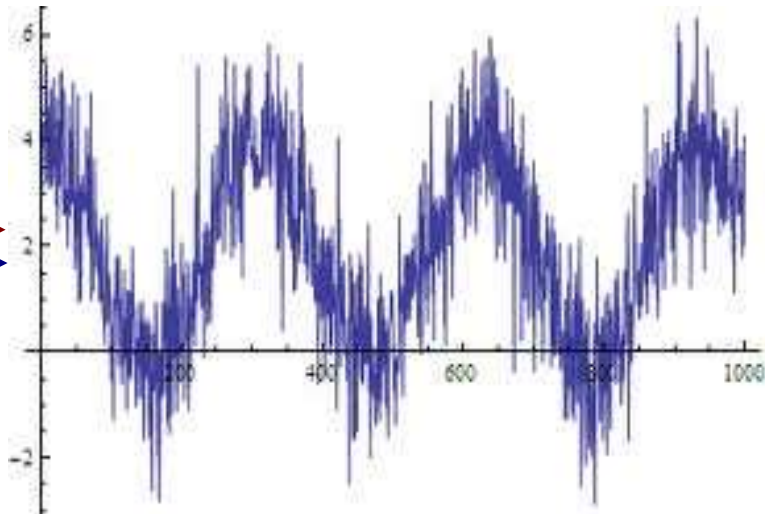
Hasznos jel

+

zaj



## Jelek információtartalma



A cél az információ megőrzése, továbbítása  
(másolása, tárolása, felhasználása)  
Lehetőleg zaj nélkül.

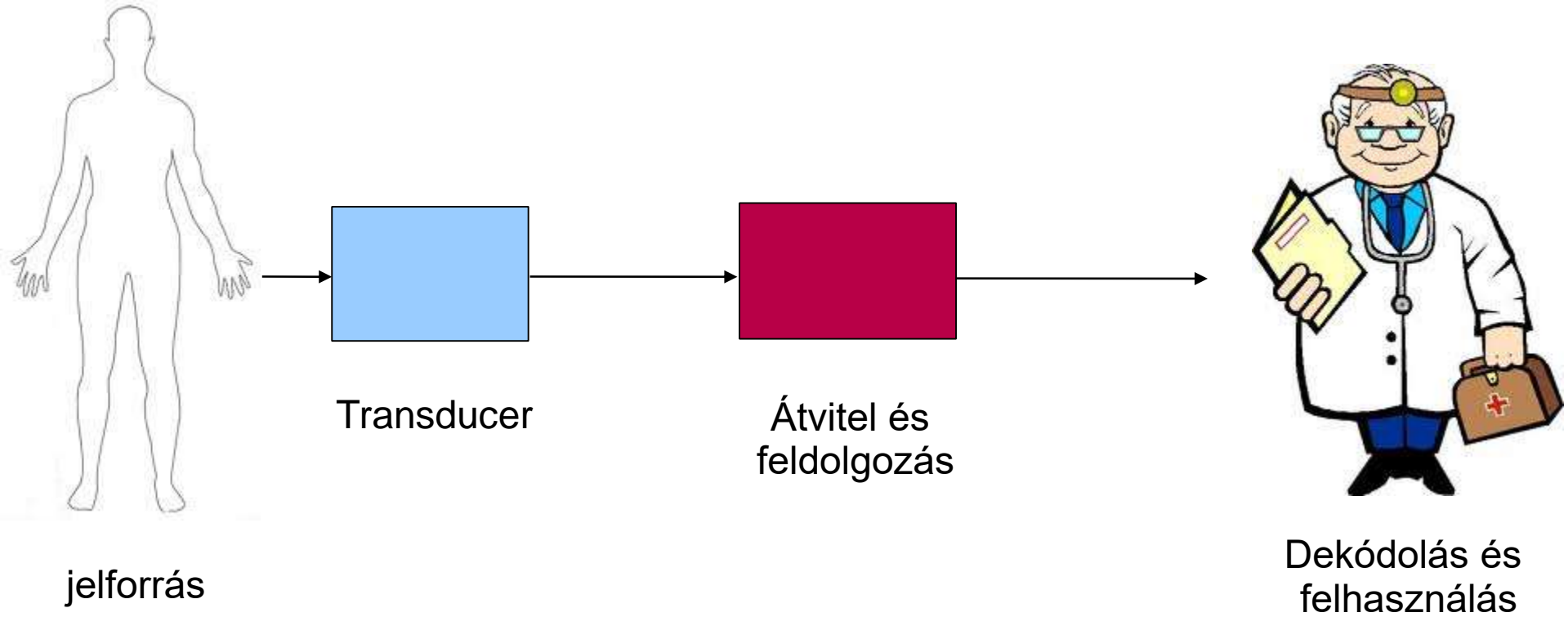
Hasznos jel  $U = A_{\text{inf}} \cdot \cos(\omega t + \phi)$

+

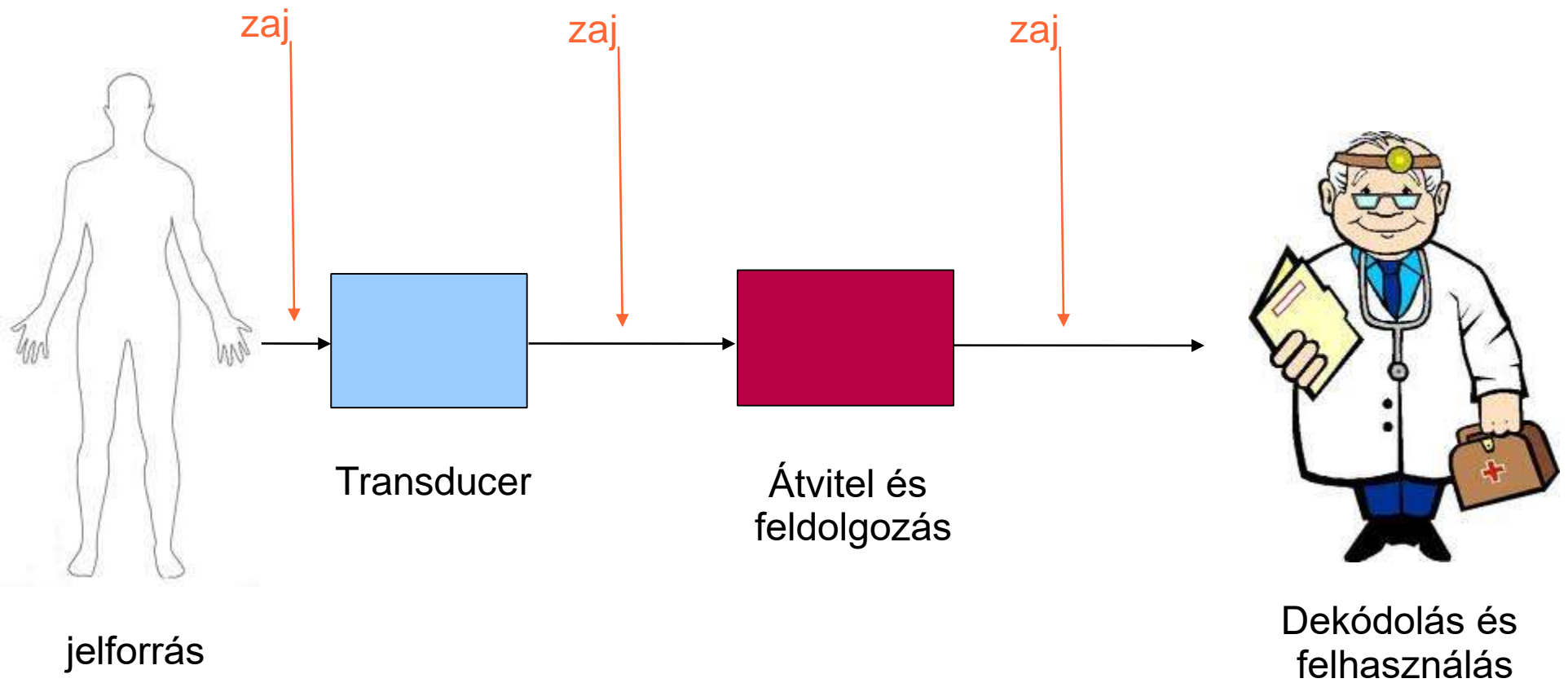
zaj

$$\text{Noise}(t) = A_{\text{noise}} \cdot \text{Random}(t)$$

## Jelek továbbítása és feldolgozása

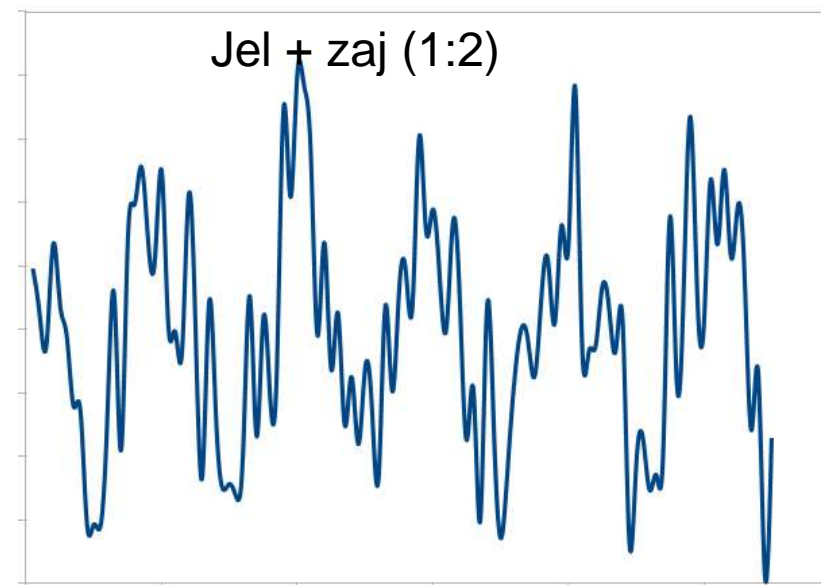
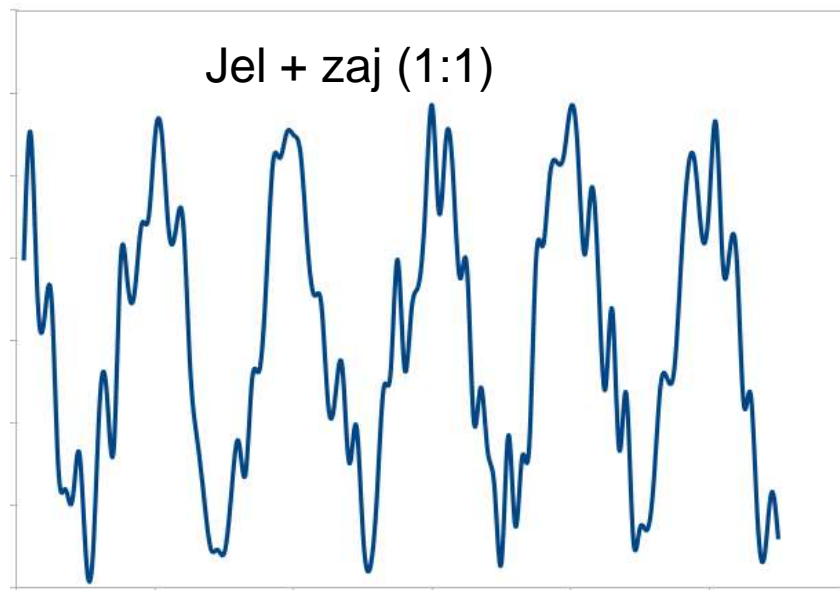
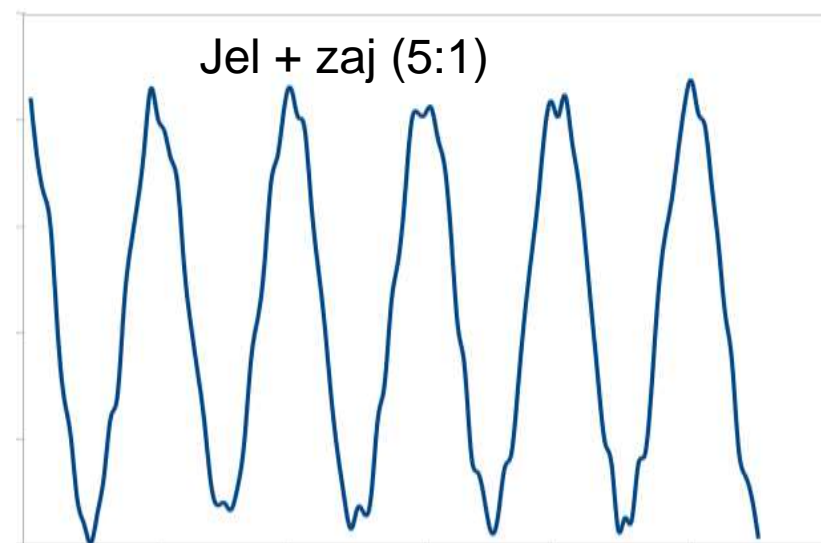
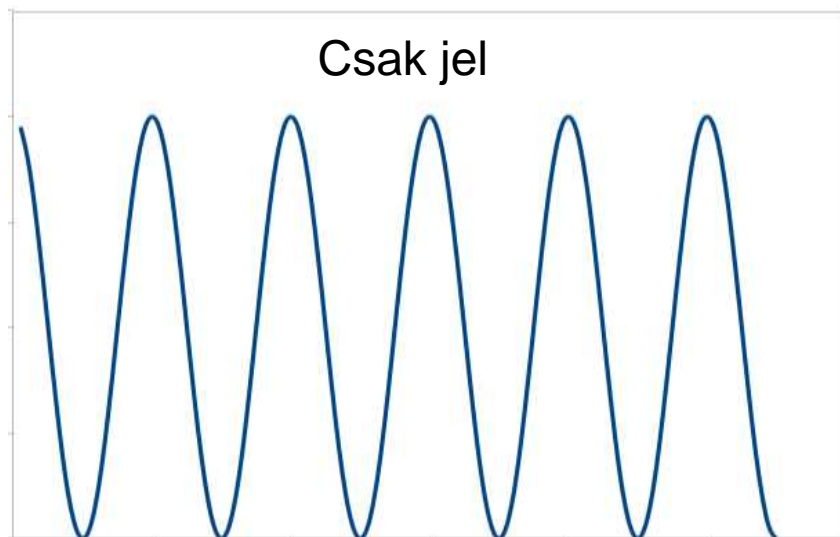


## Jelek továbbítása és feldolgozása



**A zajtól meg akarunk szabadulni!**

## Jelek továbbítása és feldolgozása



## Jelek továbbítása és feldolgozása

Erősítő

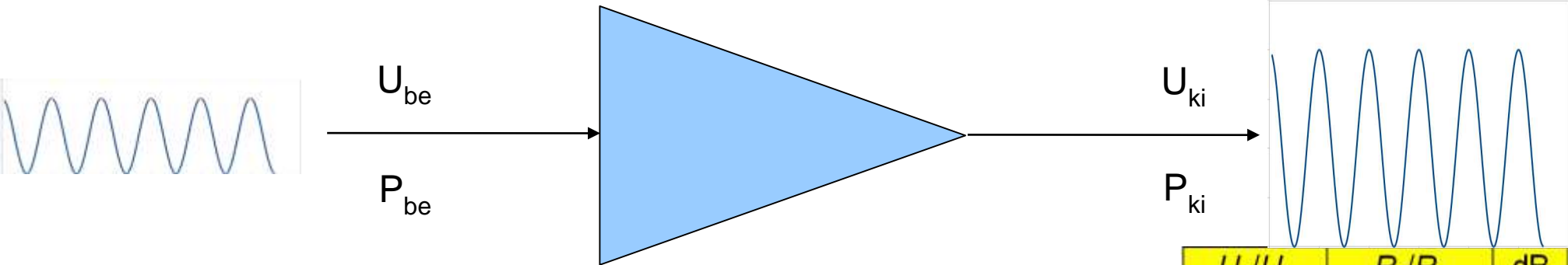
Feladata: a jel felerősítése. (magnövelése)

Gyakran egyben a zaj elleni védekezés első lépése is itt kezdődik.

# Erősítők vizsgálata

A módszer minden  
jeltovábbító eszközre  
alkalmazható

Alap-analízis: erősítés-szint



$$P = U \cdot I$$

$$n = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{ki}}{P_{be}} \right) \text{ [dB]}$$

$U_2/U_1$	$P_2/P_1$	dB
1,414	2	3
2	4	6
	8	9
3,16	10	10
	20	13
10	100	20
	1000=10 <sup>3</sup>	30
100=10 <sup>2</sup>	10000=10 <sup>4</sup>	40
1000=10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	60

$$\frac{P_2}{P_1} = 10 \Rightarrow 10 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 100 \Rightarrow 20 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 1000 \Rightarrow 30 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 10000 \Rightarrow 40 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 100000 \Rightarrow 50 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 1000000 \Rightarrow 60 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 2 \Rightarrow 3 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 4 \Rightarrow 6 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 8 \Rightarrow 9 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 10 \Rightarrow 10 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 20 \Rightarrow 13 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 100 \Rightarrow 20 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 1000 \Rightarrow 30 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 10000 \Rightarrow 40 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 100000 \Rightarrow 50 \text{ dB}$$

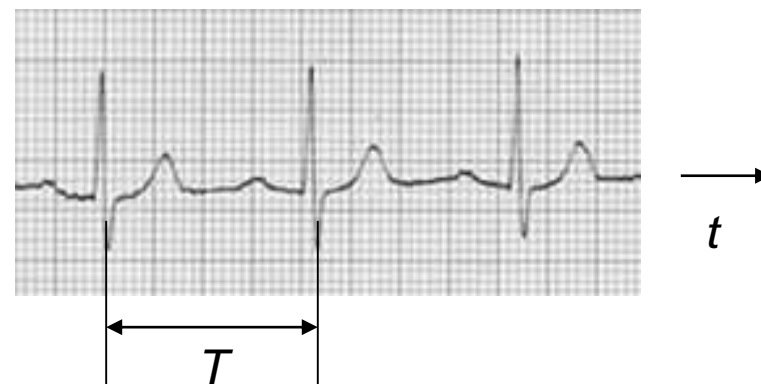
$$\frac{P_2}{P_1} = 1000000 \Rightarrow 60 \text{ dB}$$



## Erősítők vizsgálata

**Fourier tétel:** minden (periódikus) jel felbontható sin és cos függvények összegére, melyekből a jel később újra előállítható. A felbontásban a frekvencia és amplitúdó értékeket keressük.

$$Signal(t) \longleftrightarrow \sum_i A_i \cdot \sin(\omega_i t) + B_i \cos(\omega_i t)$$

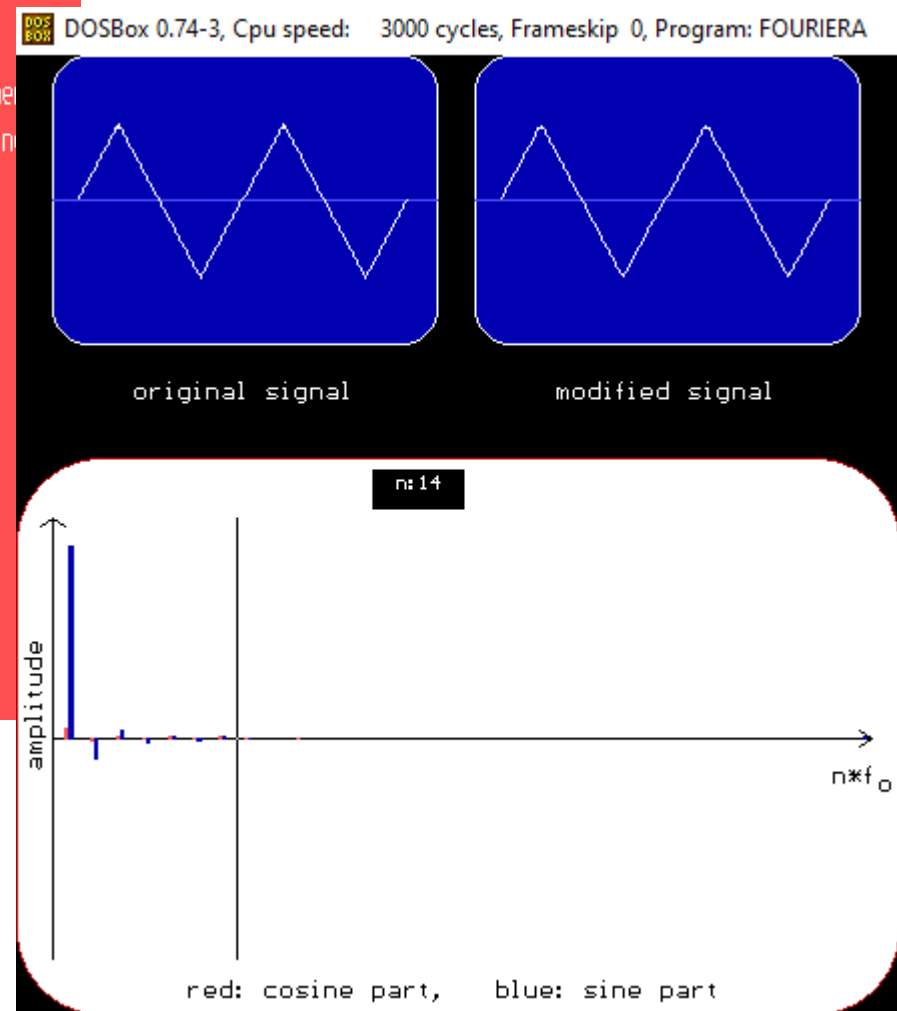
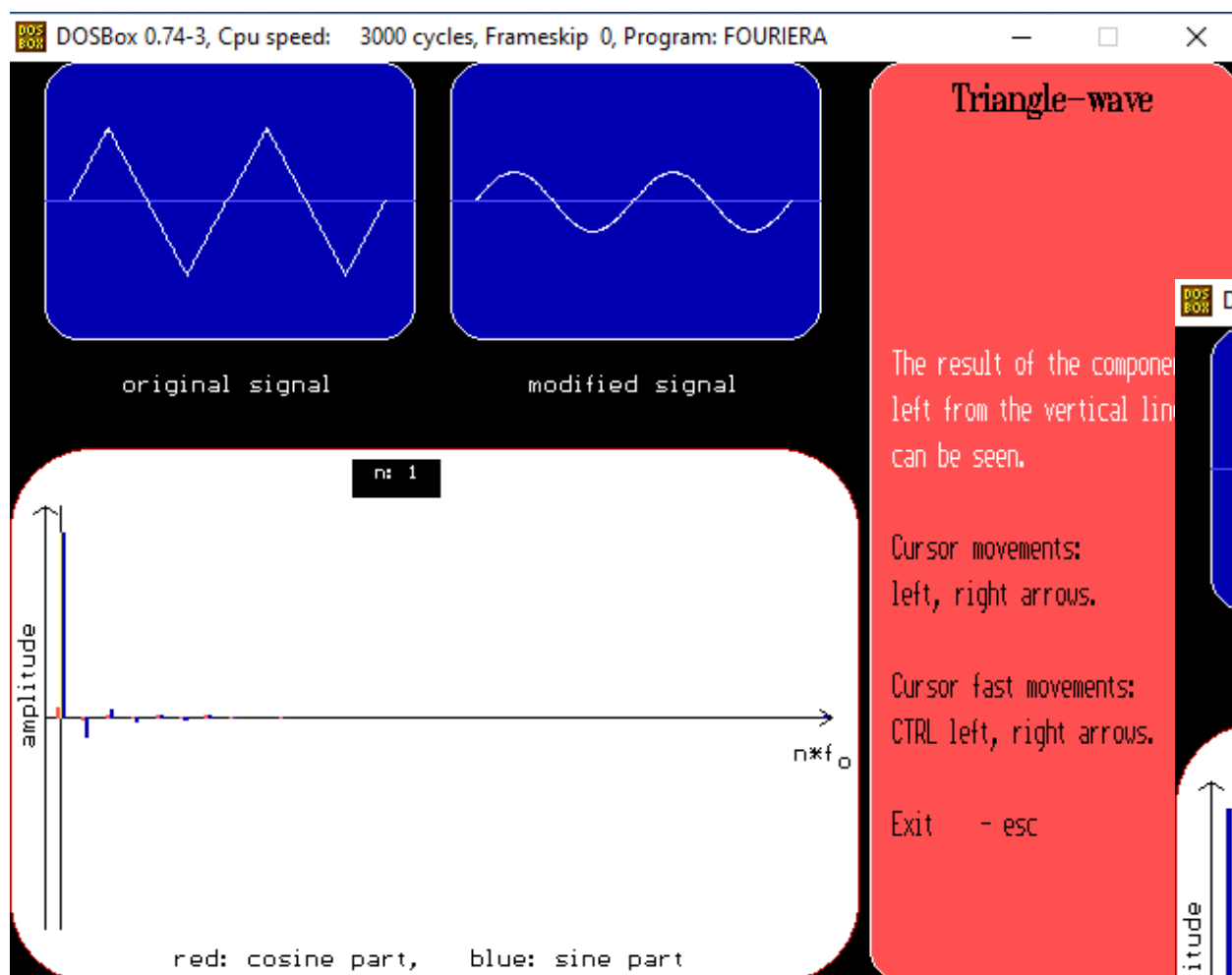


Periodikus jelek esetében  $\omega_i = k \cdot f$ ,  $f = 1/T$  és  $k = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$

alapharmonikus      felharmonikusok

## Erősítők vizsgálata

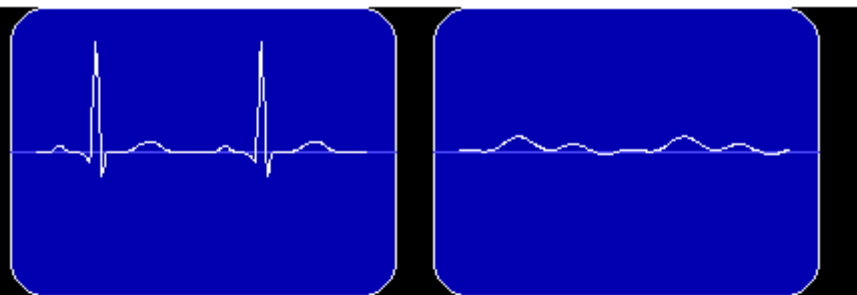
$$\text{Signal}(t) \longleftrightarrow \sum_i A_i \cdot \sin(\omega_i t) + B_i \cos(\omega_i t)$$



## Erősítők vizsgálata

$$\text{Signal}(t) \leftrightarrow \sum_i A_i \cdot \sin(\omega_i t) + B_i \cos(\omega_i t)$$

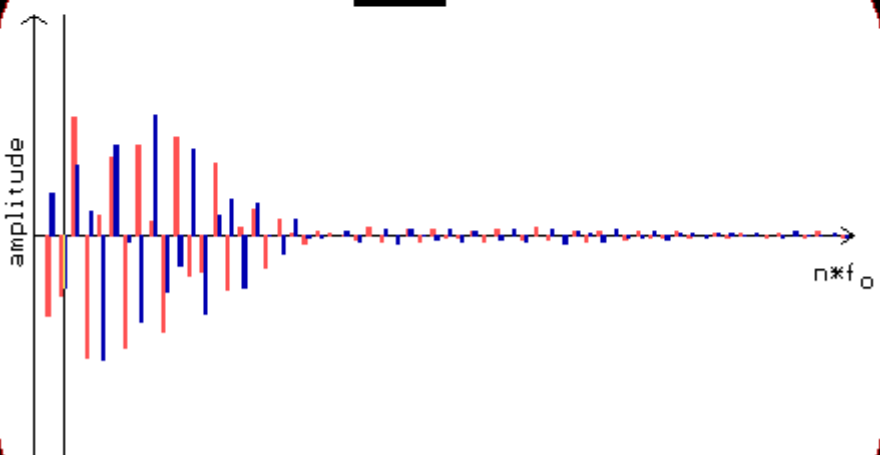
DOSBox 0.74-3, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: FOURIERA



original signal

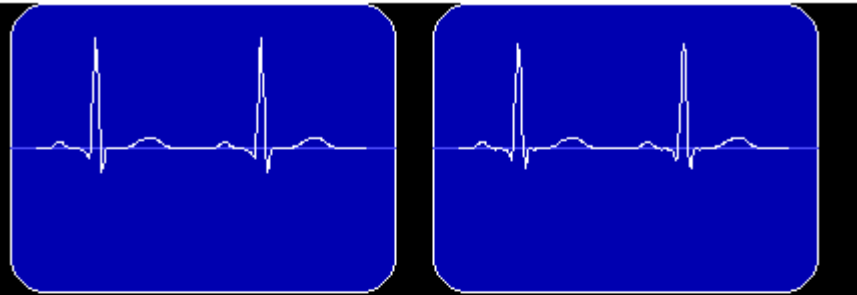
modified signal

n: 2



red: cosine part, blue: sine part

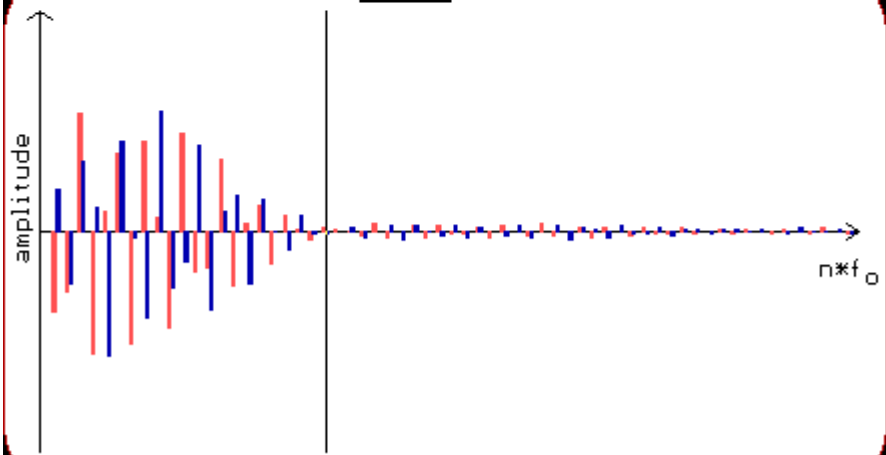
DOSBox 0.74-3, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: FOURIERA



original signal

modified signal

n: 22



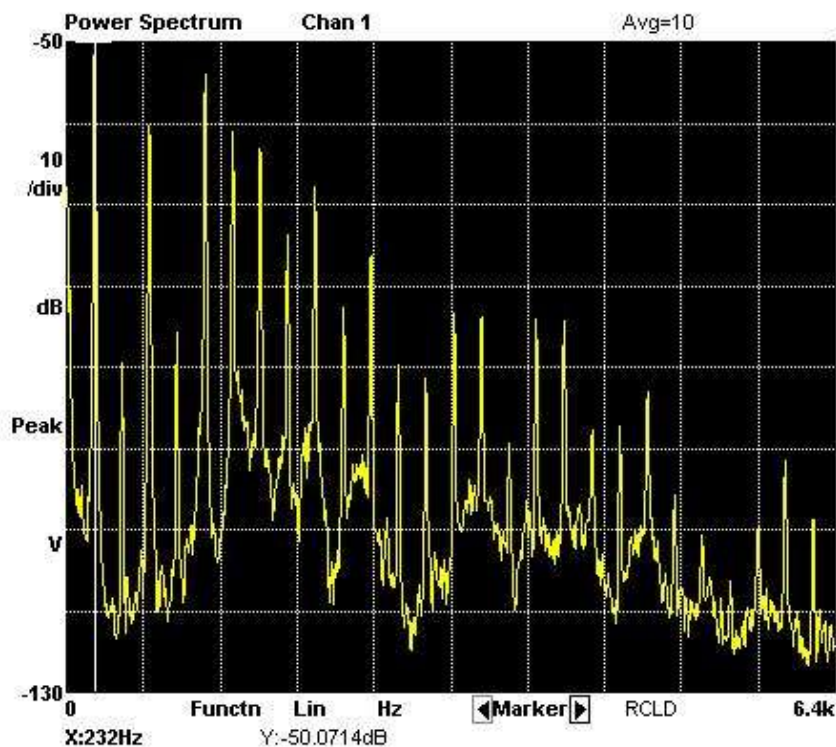
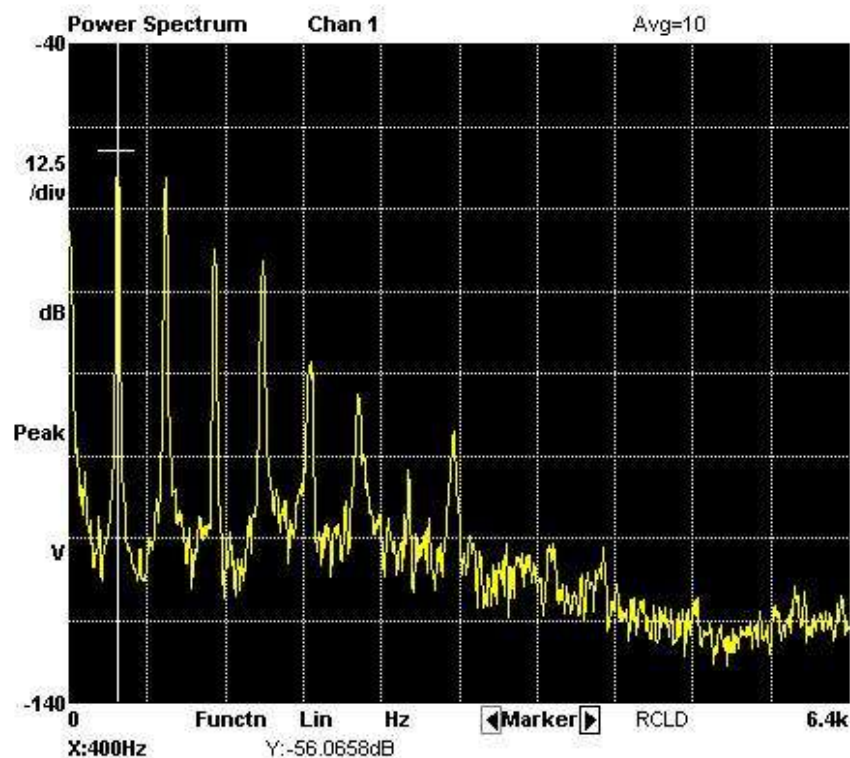
red: cosine part, blue: sine part

## Erősítők vizsgálata

Nem-periodikus jelek esetében:  
Fourier.transzformáció (folytonos spektrum)

$$\text{Signal}(t) \leftrightarrow \sum_i A_i \cdot \sin(\omega_i t) + B_i \cos(\omega_i t)$$

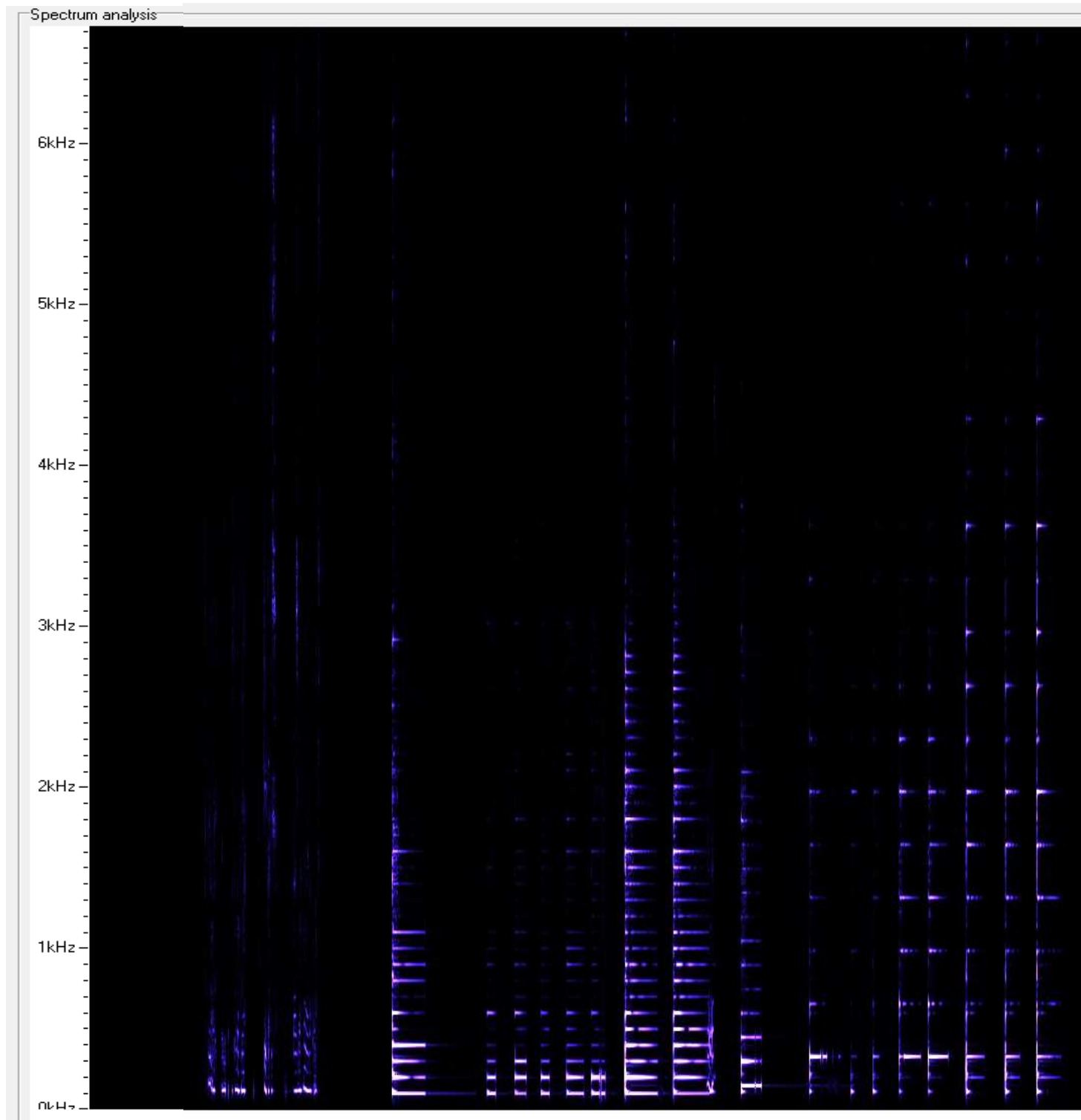
$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{i\omega t} dt$$







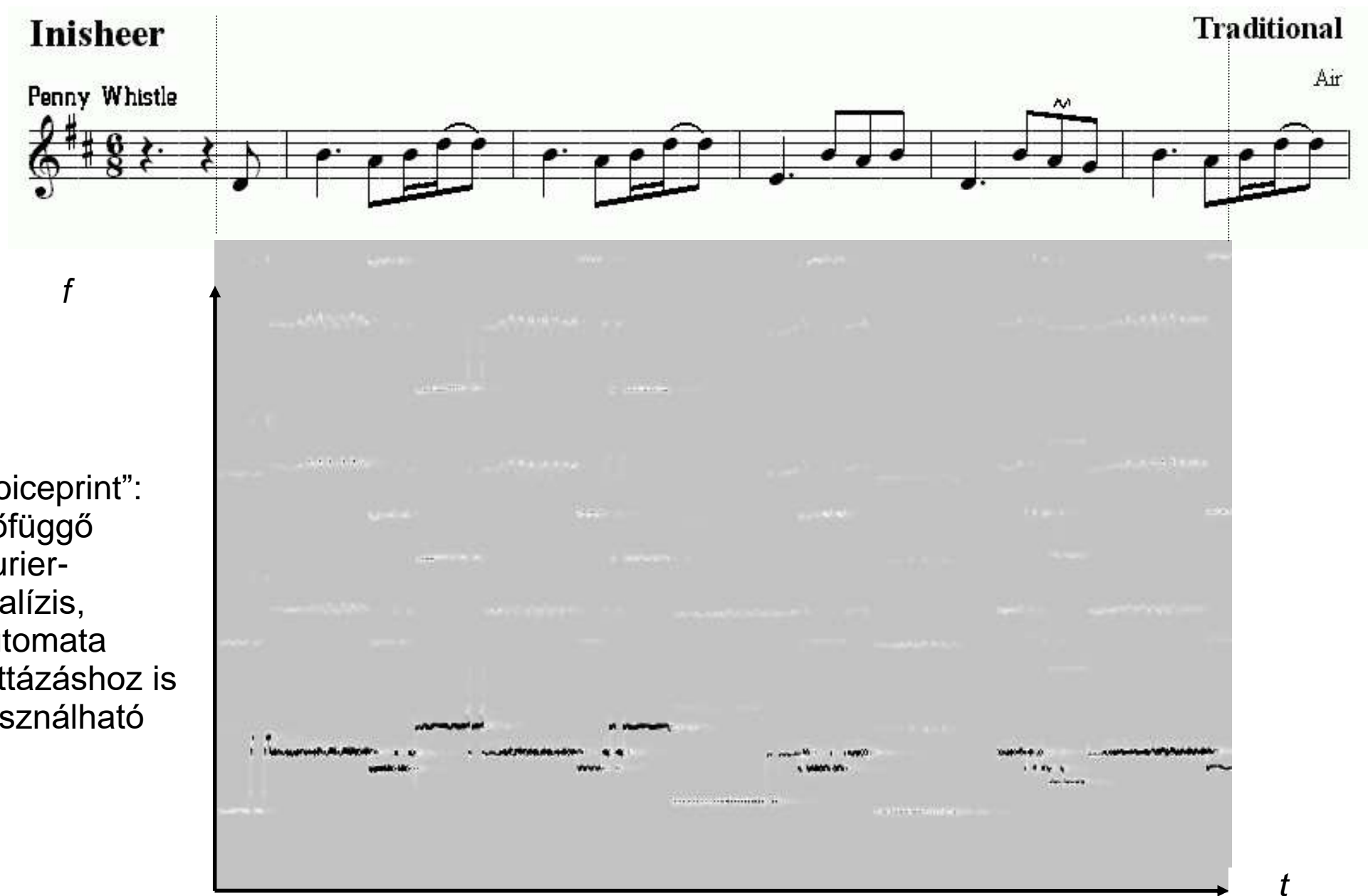
Frekvencia-analízis:  
A jel spektrumát adott  
tartományban  
rögzítjük



## Erősítők vizsgálata

$$\text{Signal}(t) \leftrightarrow \sum_i A_i \cdot \sin(\omega_i t) + B_i \cos(\omega_i t)$$

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{i\omega t} dt$$



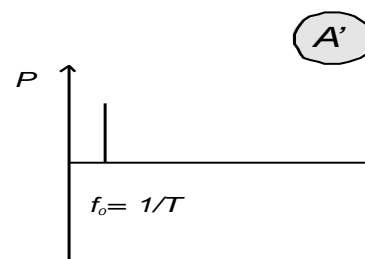
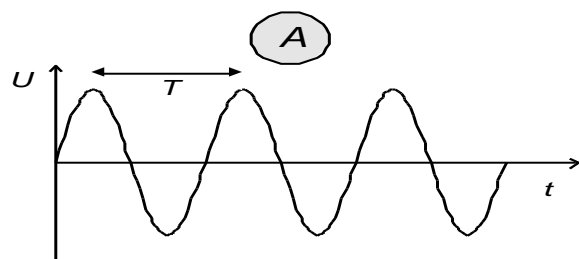


# Erősítők vizsgálata

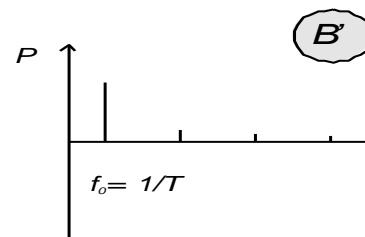
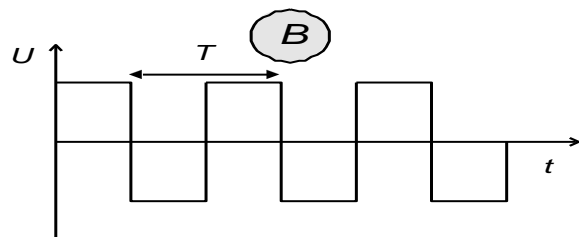
Nem periodikus jelek: Fourier transzformáció

$$\text{Signal}(t) \leftrightarrow \sum_i A_i \cdot \sin(\omega_i t) + B_i \cos(\omega_i t)$$

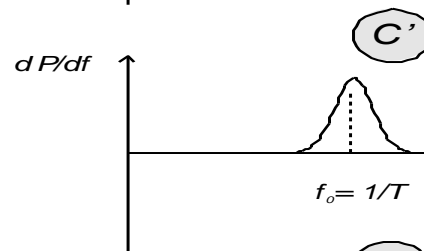
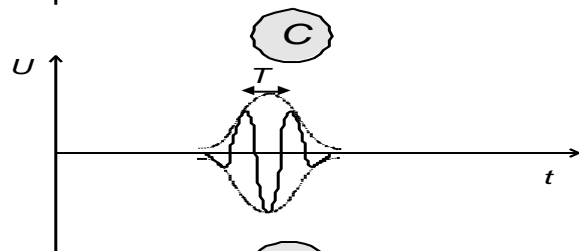
$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{i\omega t} dt$$



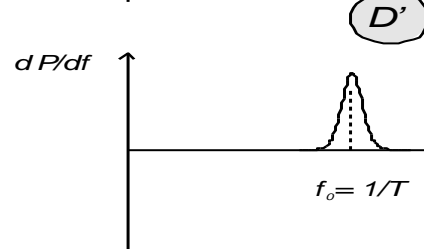
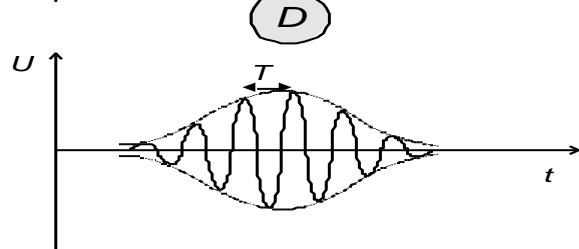
Egy tökéletes sin spektruma vonalas



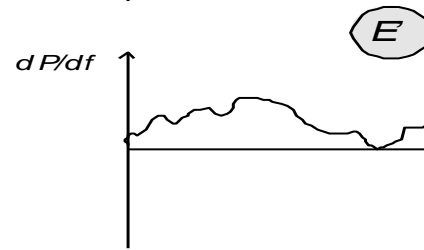
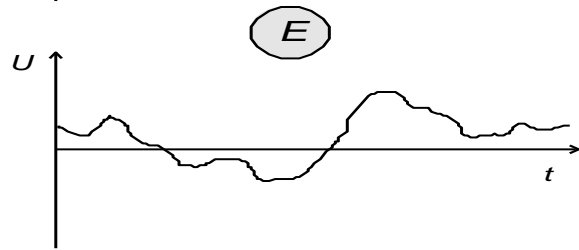
Időfüggő jel



Fourier-spektrum



Rövid sin szakasz spektruma sávos, Az impulzus hosszától függően



## Erősítők vizsgálata

$$\text{Signal}(t) \leftrightarrow \sum_i A_i \cdot \sin(\omega_i t) + B_i \cos(\omega_i t)$$

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{i\omega t} dt$$

Minden jel az információ egyfajta megjelenítése

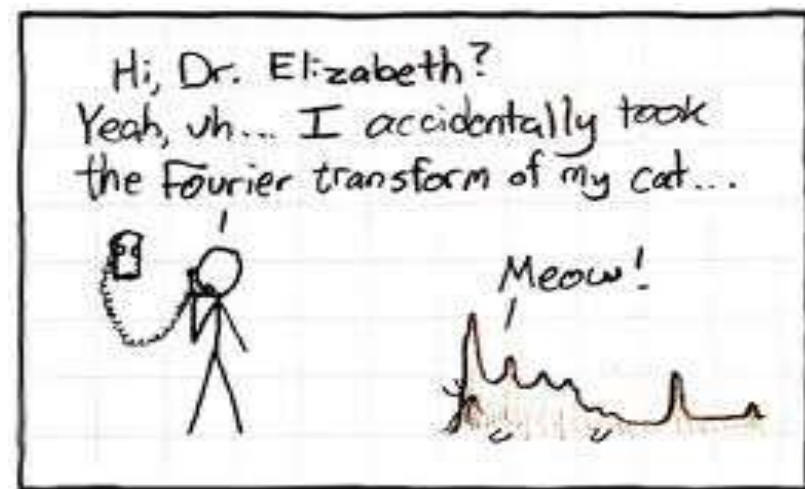
Ugyanazt a jelet megjelölhetjük az idő függvényében,

vagy

a spektrumot ábrázoljuk, a kettő ugyanannak a jelnek a két formája.

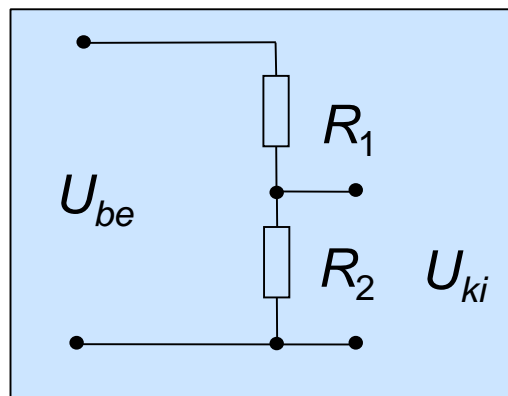
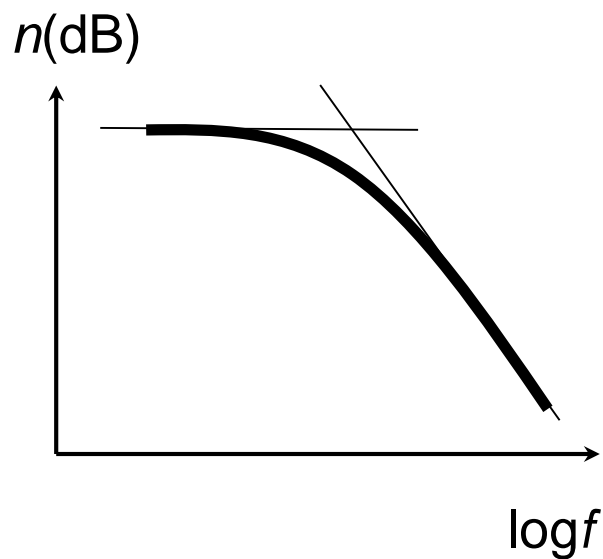
Csak tudni kell „olvasni”

(Picasso: La Crucifixion)



# Erősítők vizsgálata - átviteli függvény

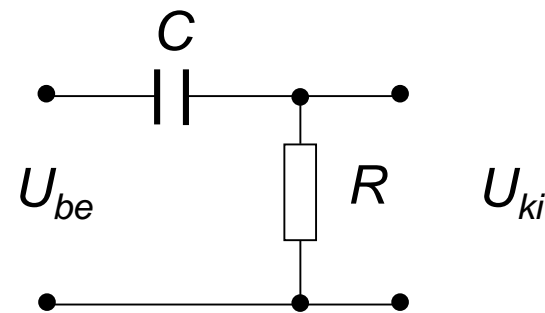
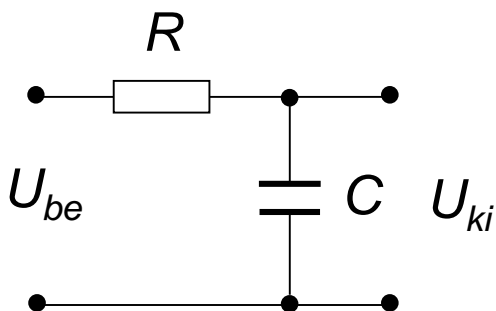
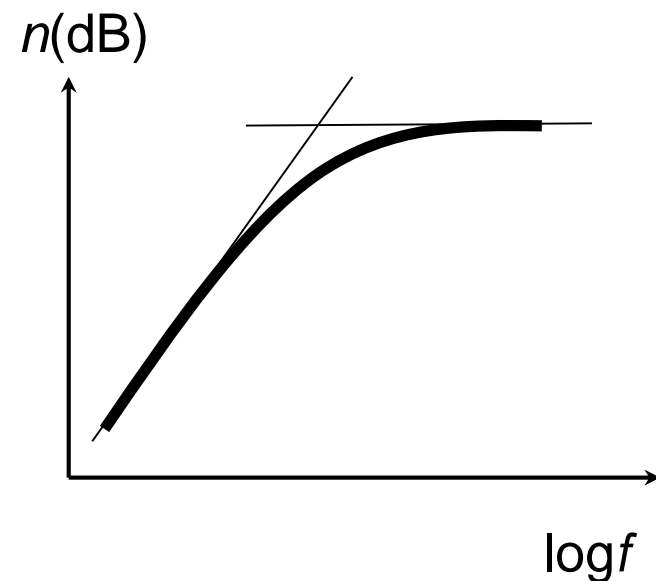
Alul-áteresztő szűrő



$$U_{output} = U_{input} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

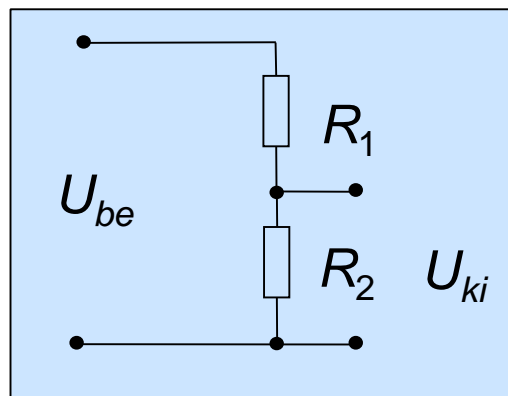
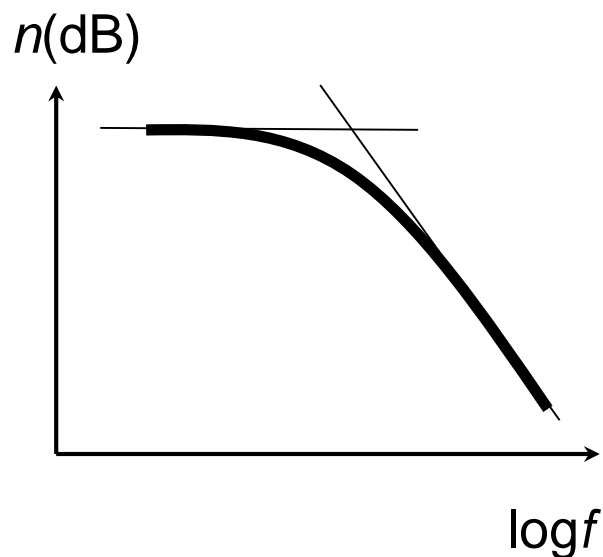
A „sima” feszültségosztóban az egyik R-t C-re cseréljük

Felül-áteresztő szűrő



# Erősítők vizsgálata - átviteli függvény

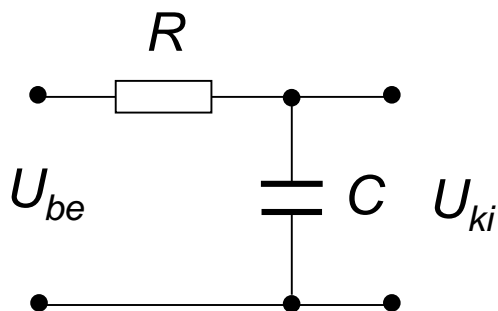
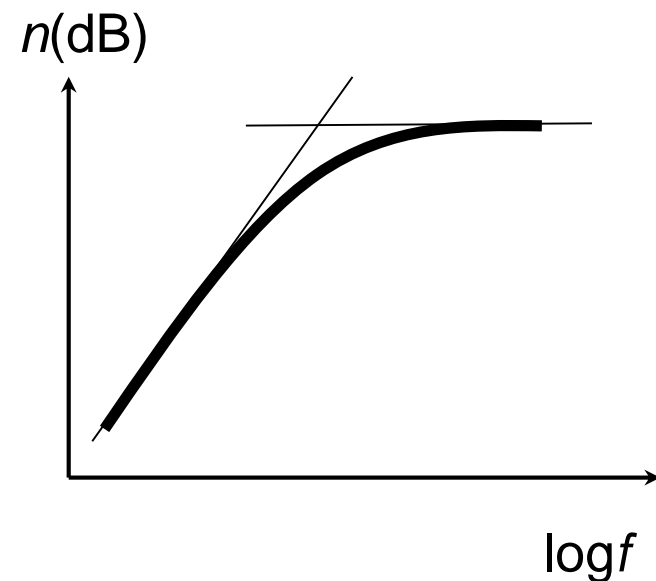
Alul-áteresztő szűrő



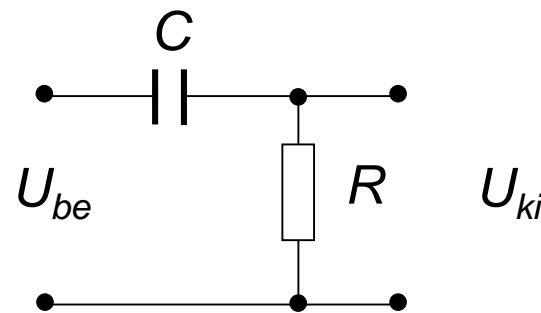
$$U_{output} = U_{input} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

A „sima” feszültségosztóban az egyik R-t C-re cseréljük

Felül-áteresztő szűrő

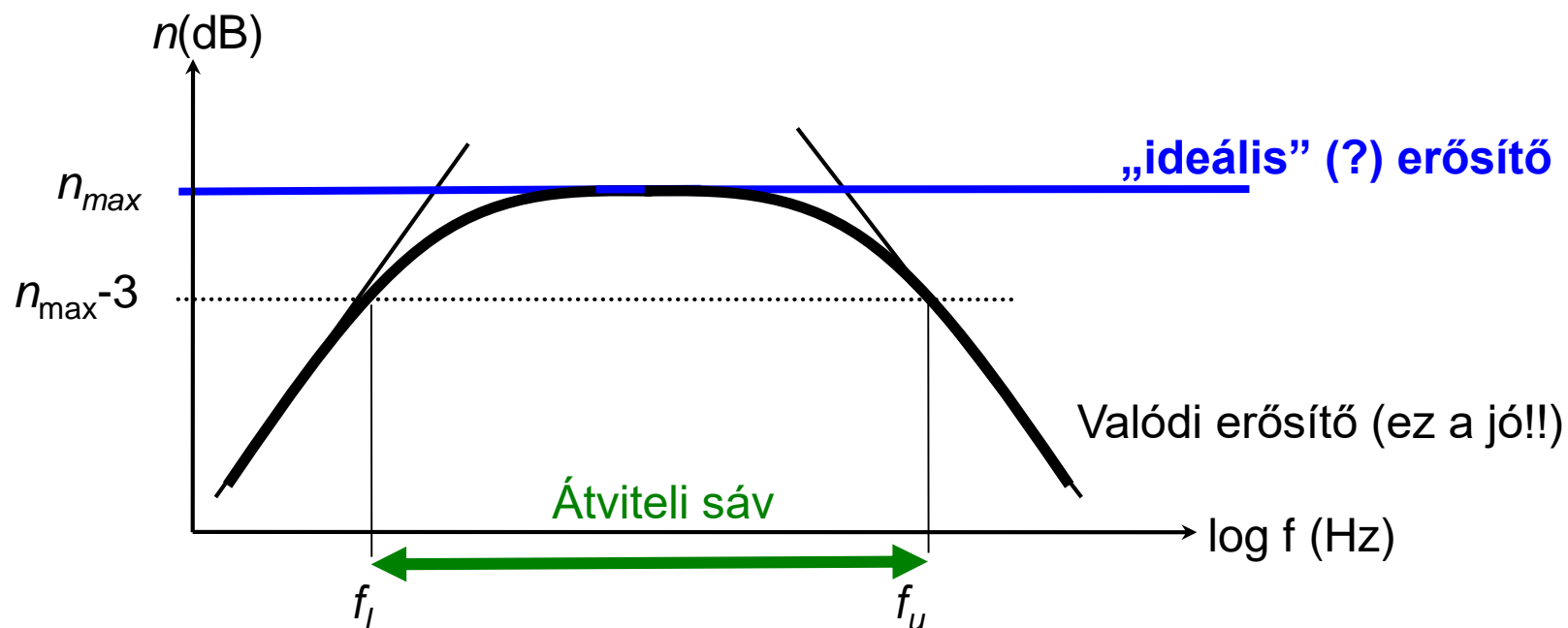
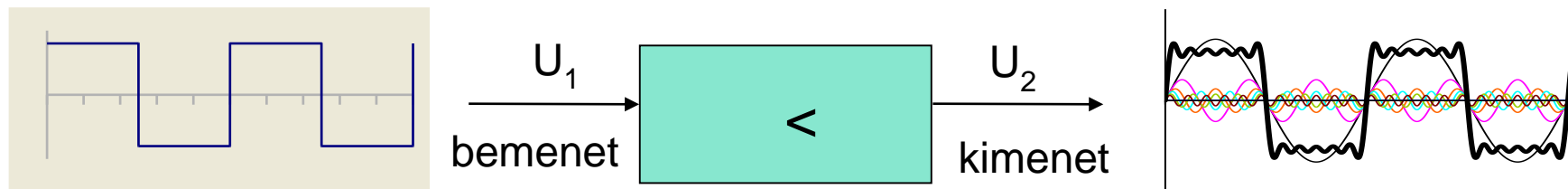


$$U_{ki} = \frac{1}{\sqrt{1 + R^2 C^2 \omega^2}} U_{be}$$



$$U_{ki} = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + R^2 C^2 \omega^2}} U_{be}$$

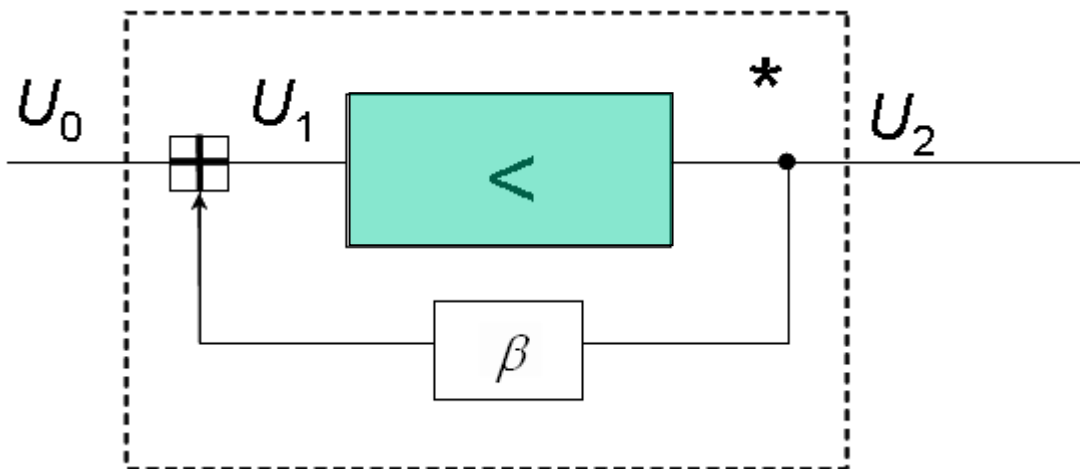
## Erősítők vizsgálata - átviteli függvény



**Az átviteli sávnak tartalmaznia kell a hasznos jel minden frekvencia-komponensét**

**De szélesebbnek sem kell lennie, hiszen a többi frekvencia csak a zajtól származhat!**

## Erősítők vizsgálata - átviteli függvény



visszacsatolással

## Az átviteli sáv módosítható

**+ Összegzési pont:**

$$\textcircled{C} \frac{\overset{*}{A}}{B} \frac{UUA(U/B)A}{UUU} = \frac{UUA(U/B)A}{UUU} \frac{A+B}{B} \frac{A+A^*}{B}$$


 fesz.erősítés visszacsatolással

$\beta > 0$  : positive feedback

$\beta < 0$  : negative feedback

$A_{ii}\beta = 1$  : oscillator (output without input signal: signal generator)

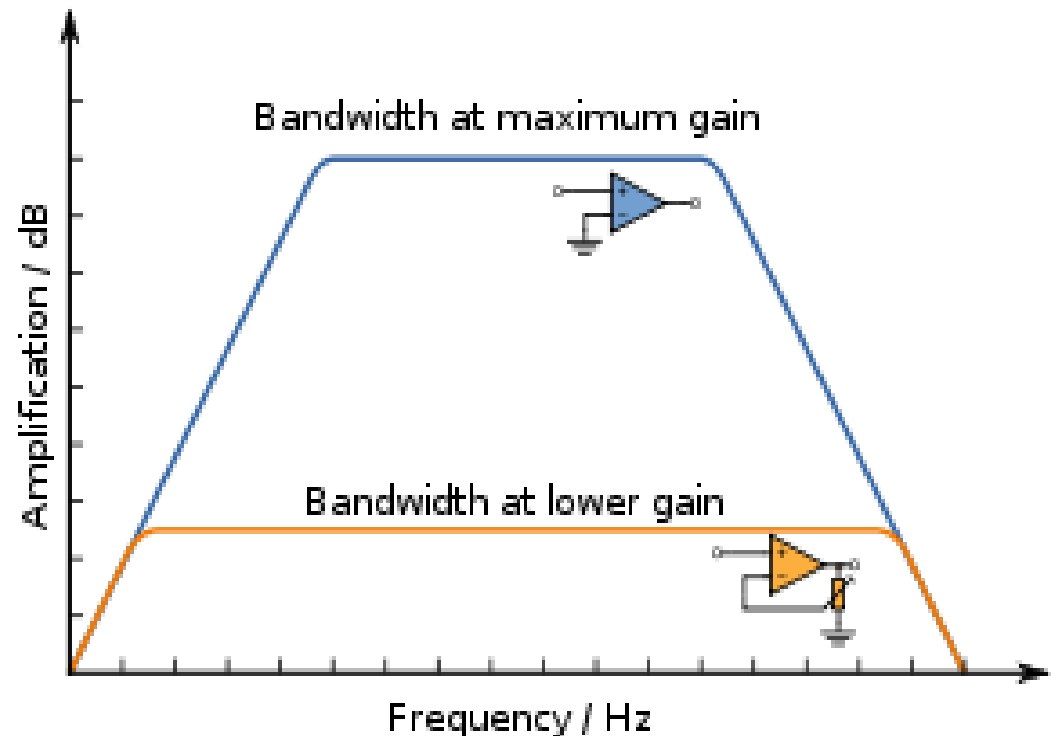
## Vigyázat: $n=20 \cdot \log A$

# Erősítők vizsgálata - átviteli függvény

## Gain Bandwidth Product

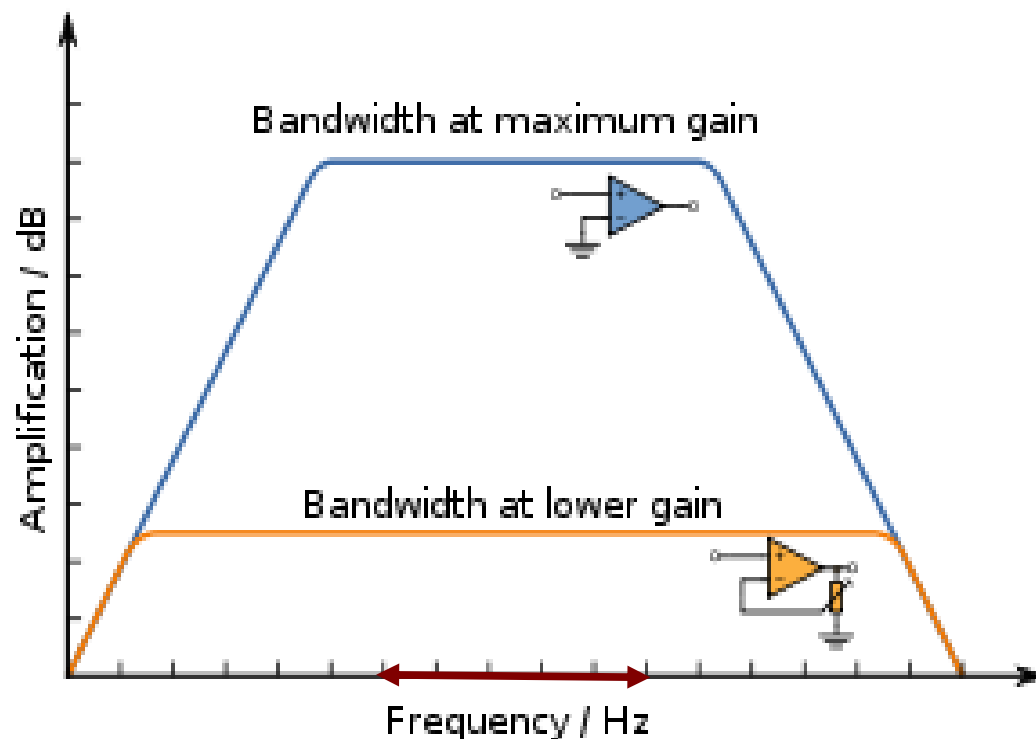
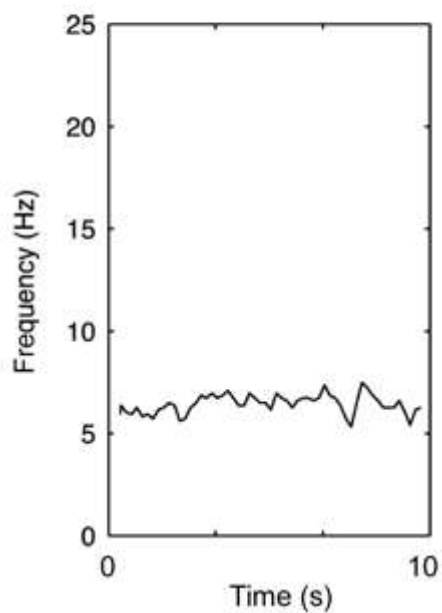
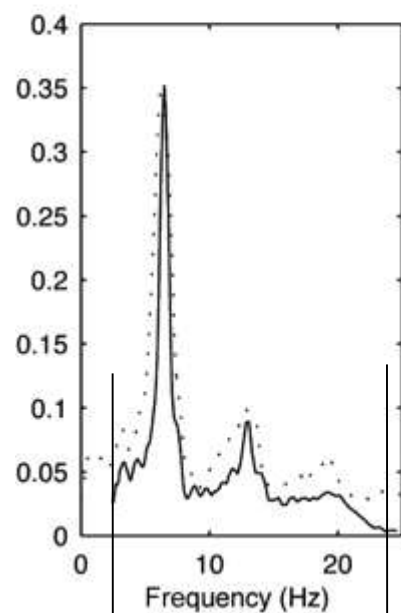
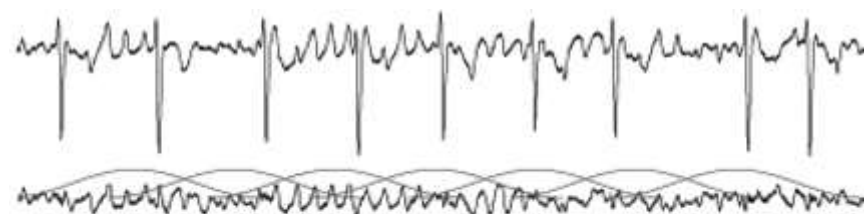
Erősítési tényező · sávszélesség = állandó

Az erősítő által hozzátett energiát vagy széles sávban alacsonyabb erősítésre, vagy keskeny sávban nagyobb erősítésre lehet használni.





## Erősítők vizsgálata - átviteli függvény



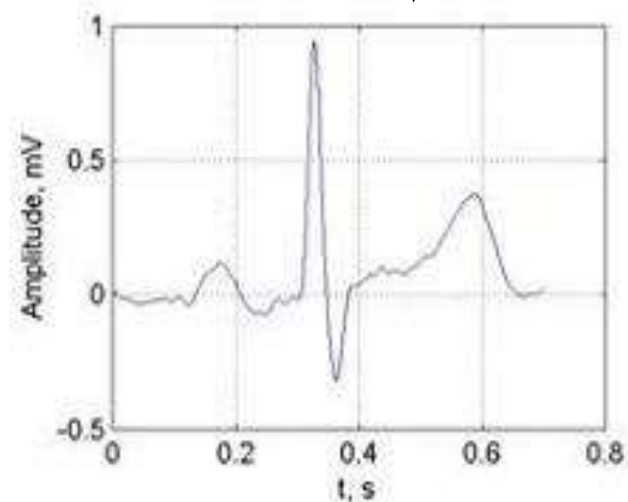
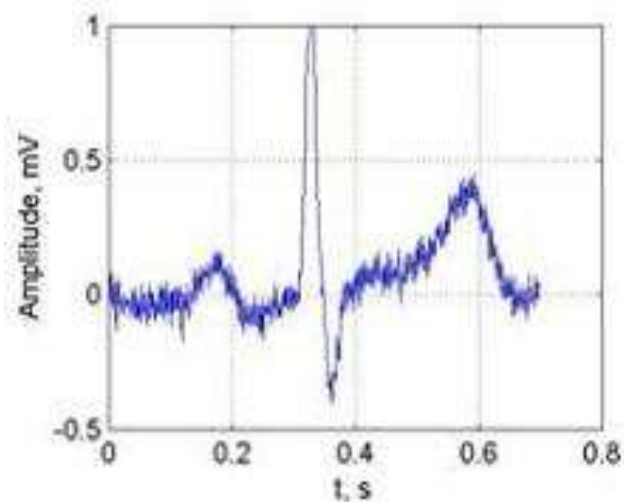
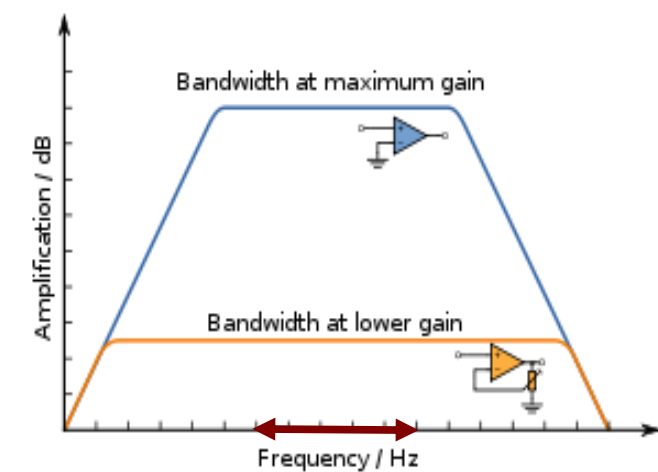
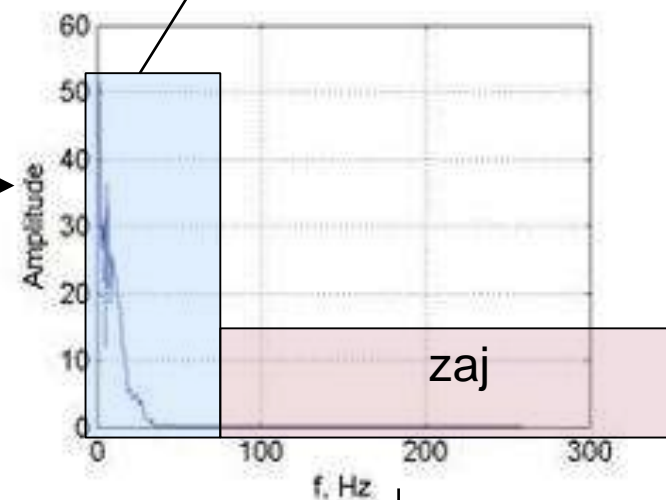
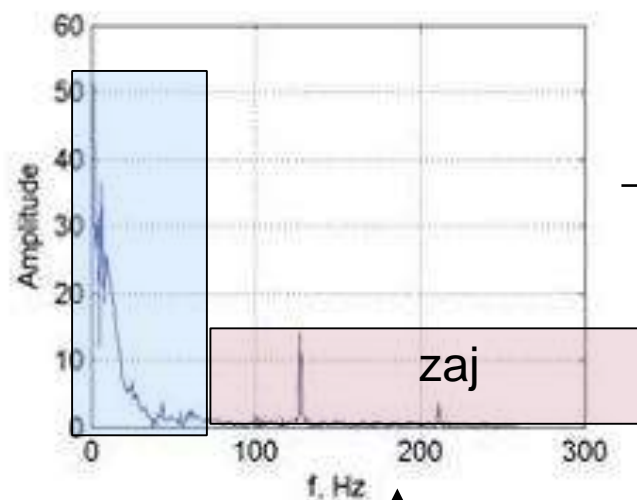
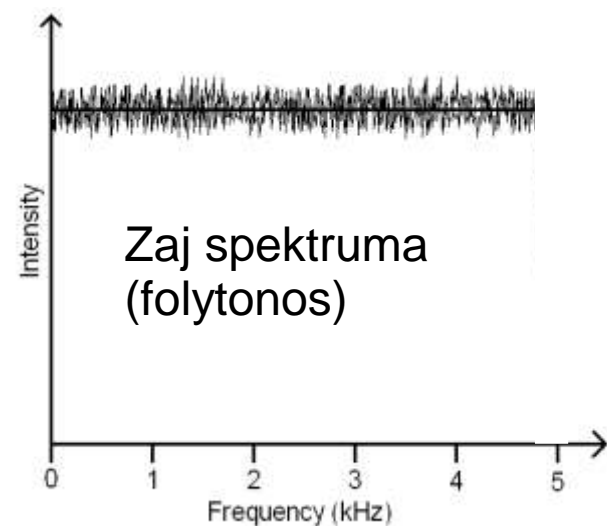
A jel frekvencia-spektrumához kell igazítani az átviteli sávot!

**Információ megőrzés = spektrum-megőrzés.**

# Erősítők vizsgálata - átviteli függvény

## Fourier-szűrés

Csak azt a részt visszük át (tovább)  
ami a hasznos jelet tartalmazza



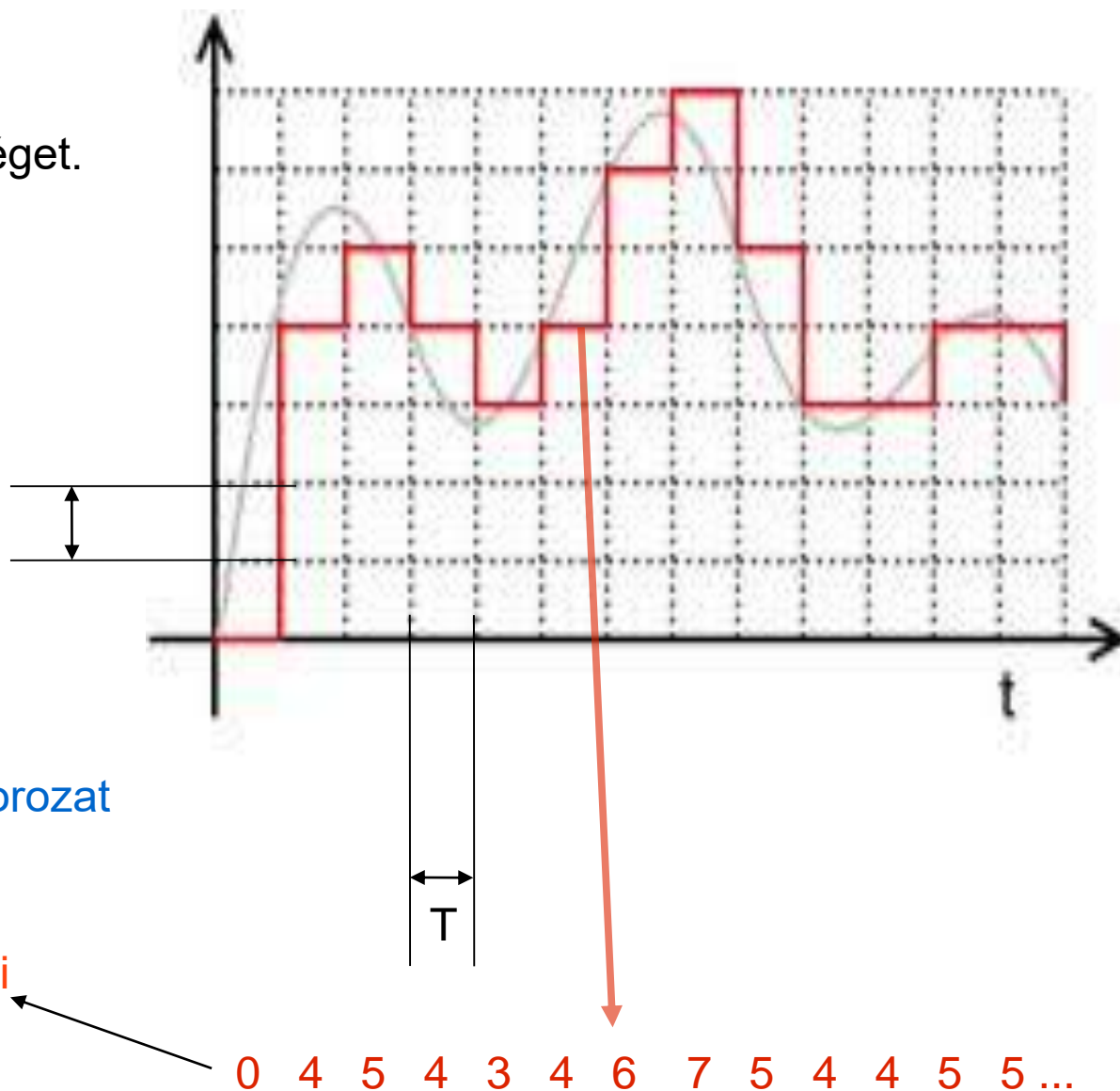
## Digitális jelek– A/D átalakítás (ADC)

Az analóg jelet  $T$  időközönként  
mintavételezzük,  
Azaz megmérjük pl. a feszültséget.  
A mért értékeket számsorként  
tároljuk

Mérési pontosság  
(bitek száma!)

Időben és értékekben diszkrét sorozat

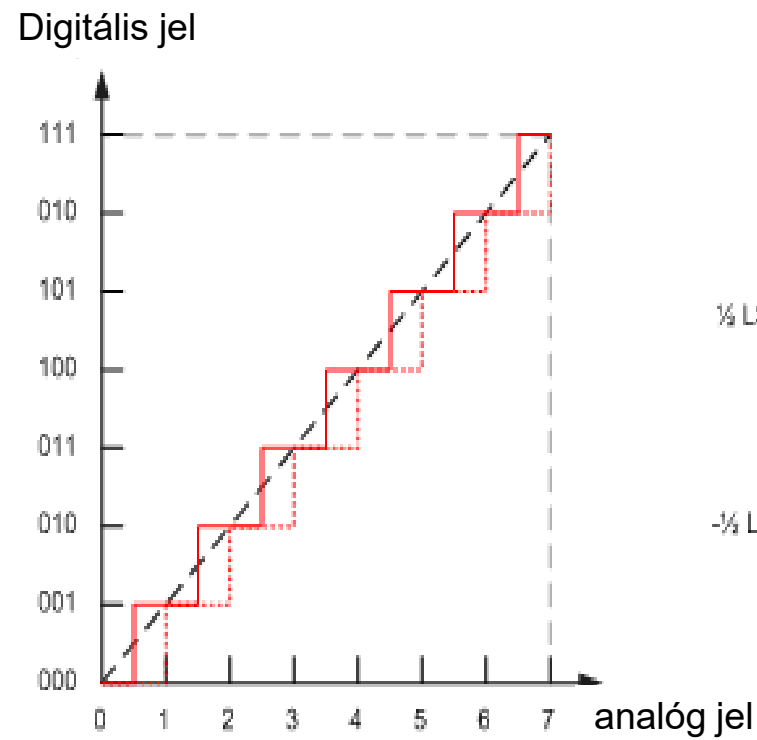
A számsort veszteség és további zaj  
nélkül lehet feldolgozni és továbbítani



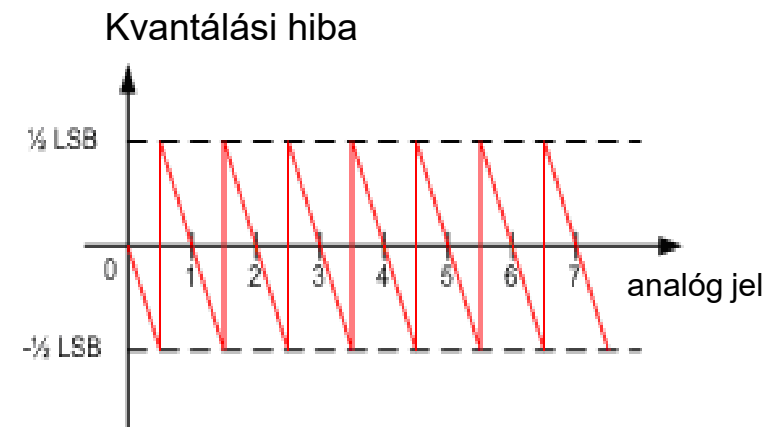
## Digitális jelek - Kvantálás

Mi történik a köztes értékekkel?

Elvesznek!



(a)

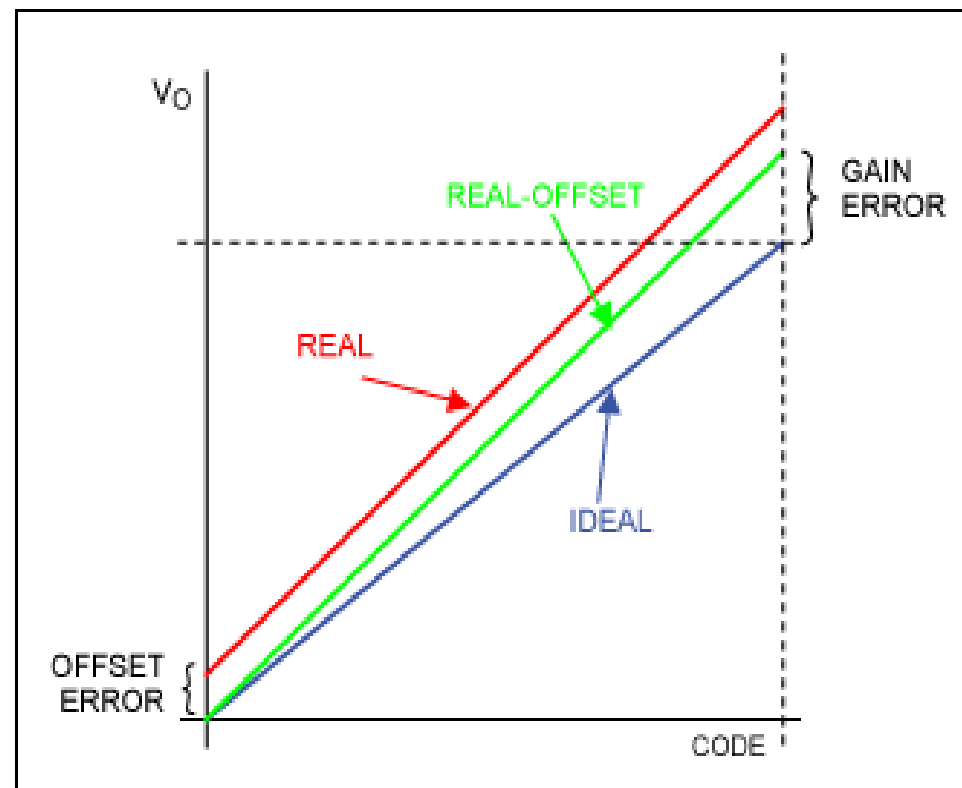
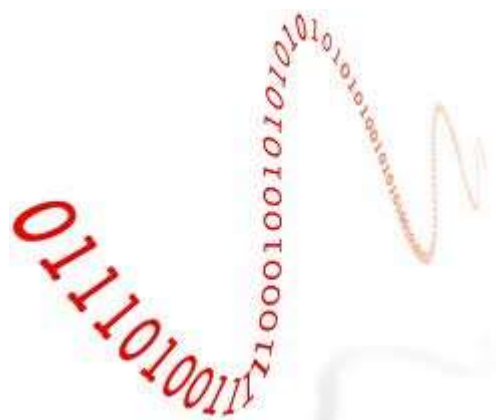


(b)

## Digitális analóg átlalkítás (DAC)

Számsorból analóg jel visszanyerése

Ez technikailag egyszerűbb,  
kész megoldások vannak



Lehetséges hibák  
(elkerülhető)

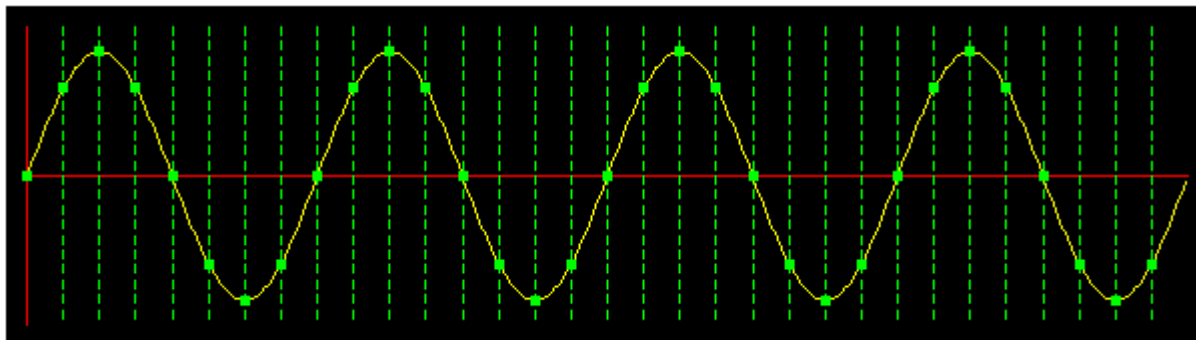
## Digitális jelek – Mintavételezés

Ha nem szinuszos a jel: minden frekvencia-komponenst kezelni kell.

$$f = 1000 \text{ Hz}$$

$$f_s = 8000 \text{ Hz}$$

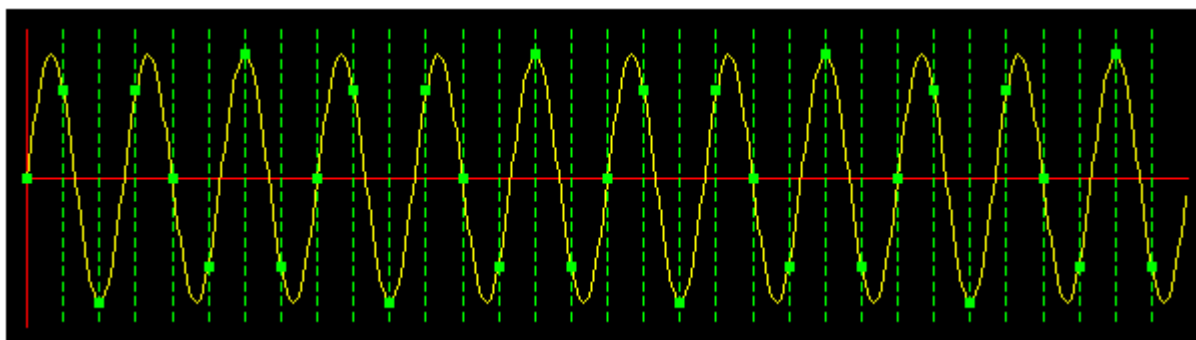
OK



$$f = 3000 \text{ Hz}$$

$$f_s = 8000 \text{ Hz}$$

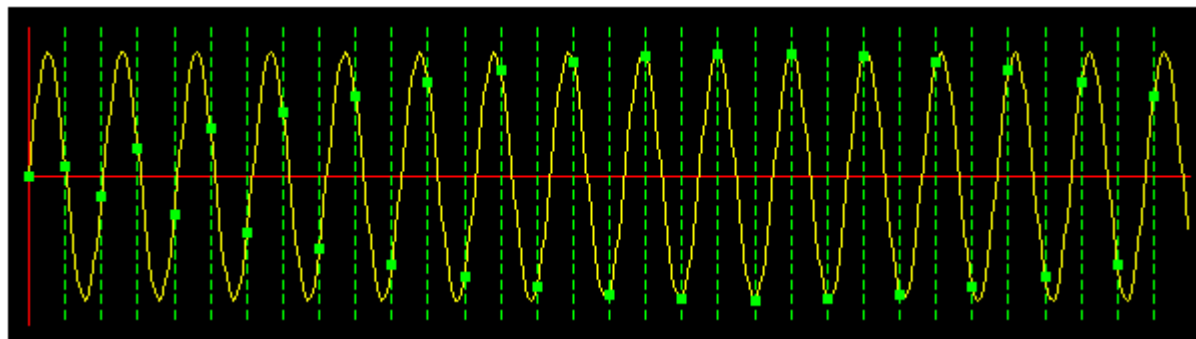
Még jó



$$f = 3900 \text{ Hz}$$

$$f_s = 8000 \text{ Hz}$$

Még jó



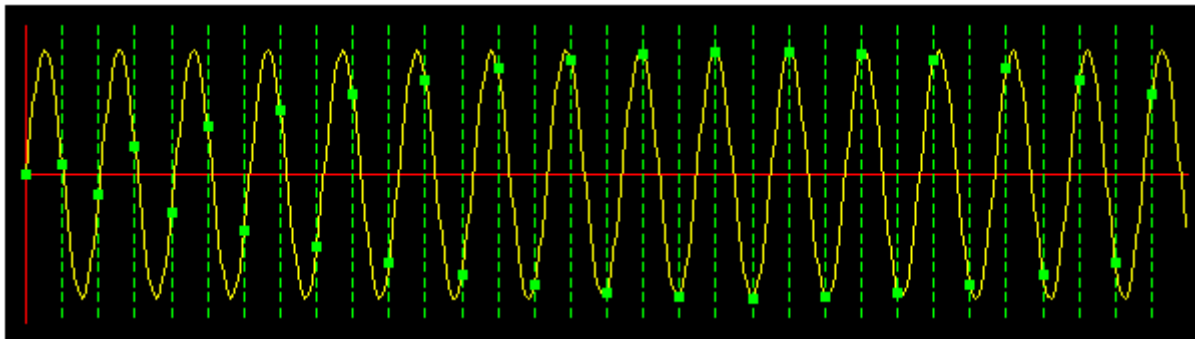
## Digitális jelek – Mintavételezés

Ha nem szinuszos a jel: minden frekvencia-komponenst kezelni kell.

$$f = 3900 \text{ Hz}$$

$$f_s = 8000 \text{ Hz}$$

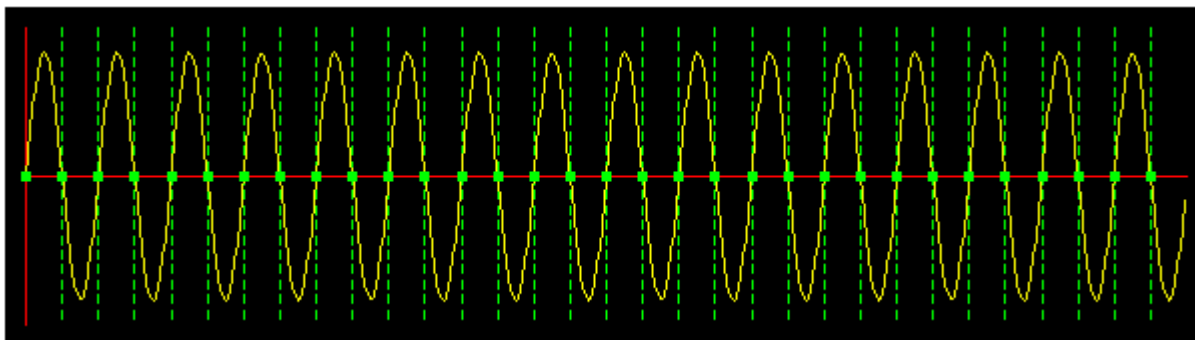
Még jó



$$f = 4000 \text{ Hz}$$

$$f_s = 8000 \text{ Hz}$$

elvesztettük

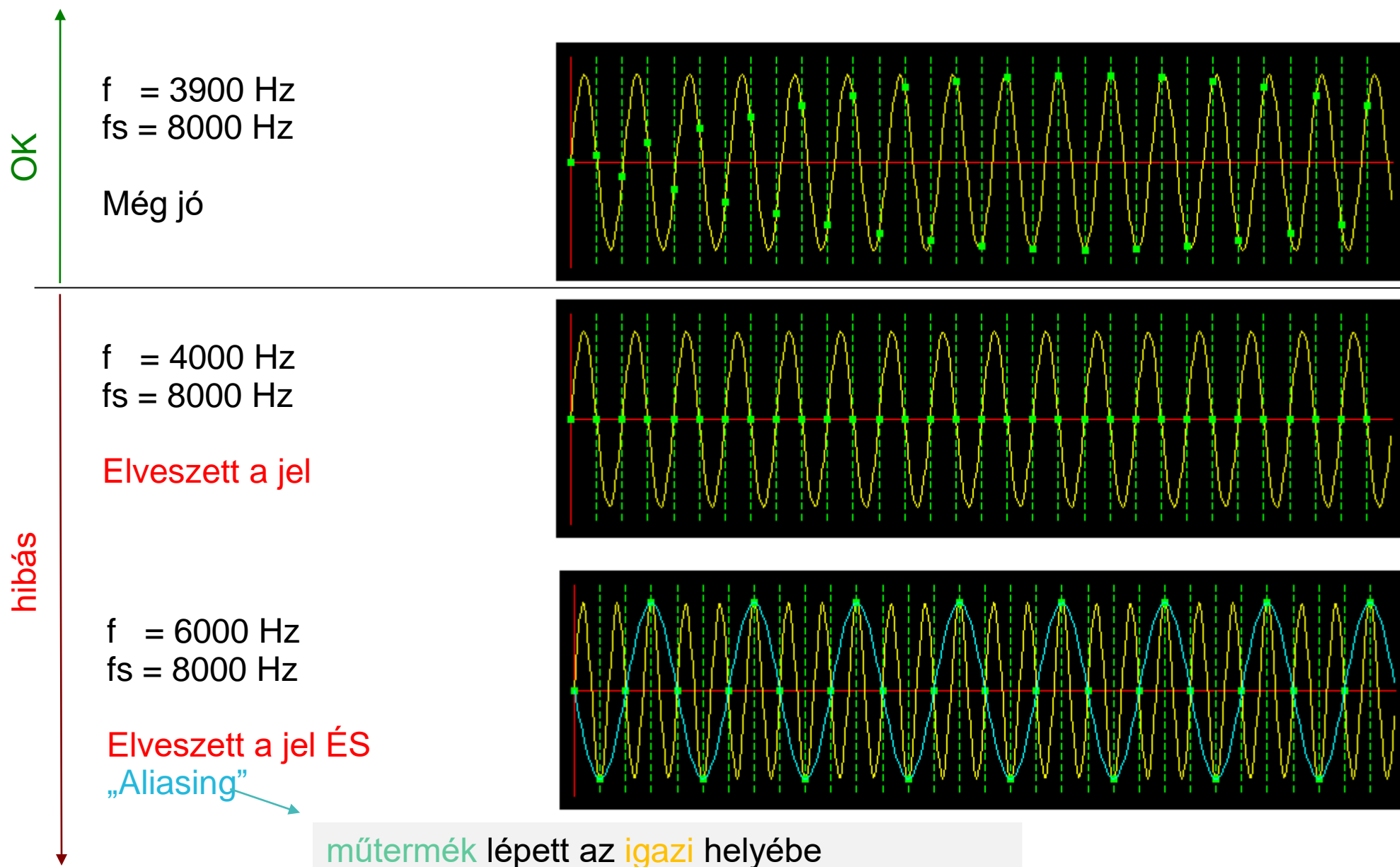


**Nyquist tétel:** a mintavételezési frekvencia ( $f_s$ ) legalább a maximális jel-frekvencia 2x-ese legyen

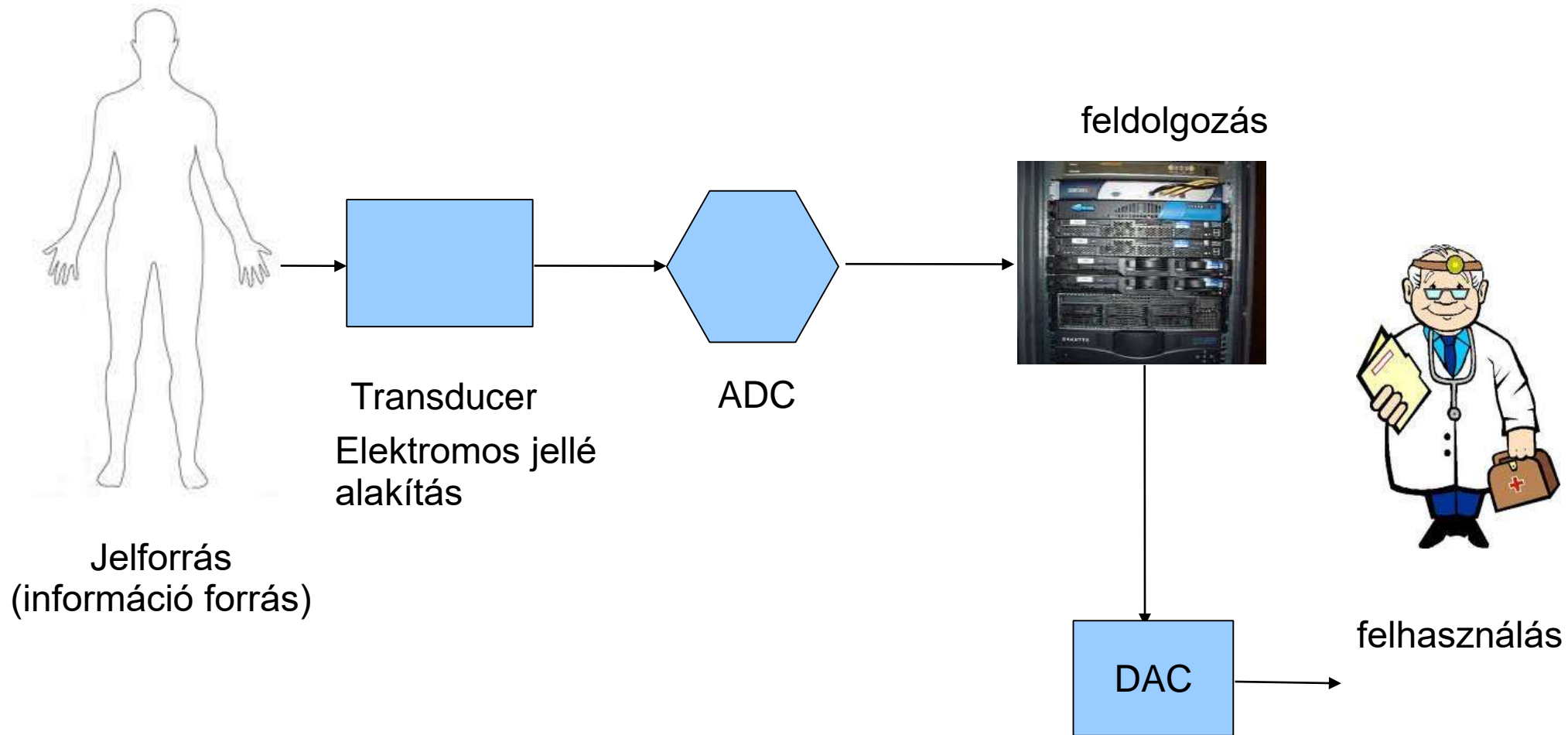


## Digitális jelek – Mintavételezés

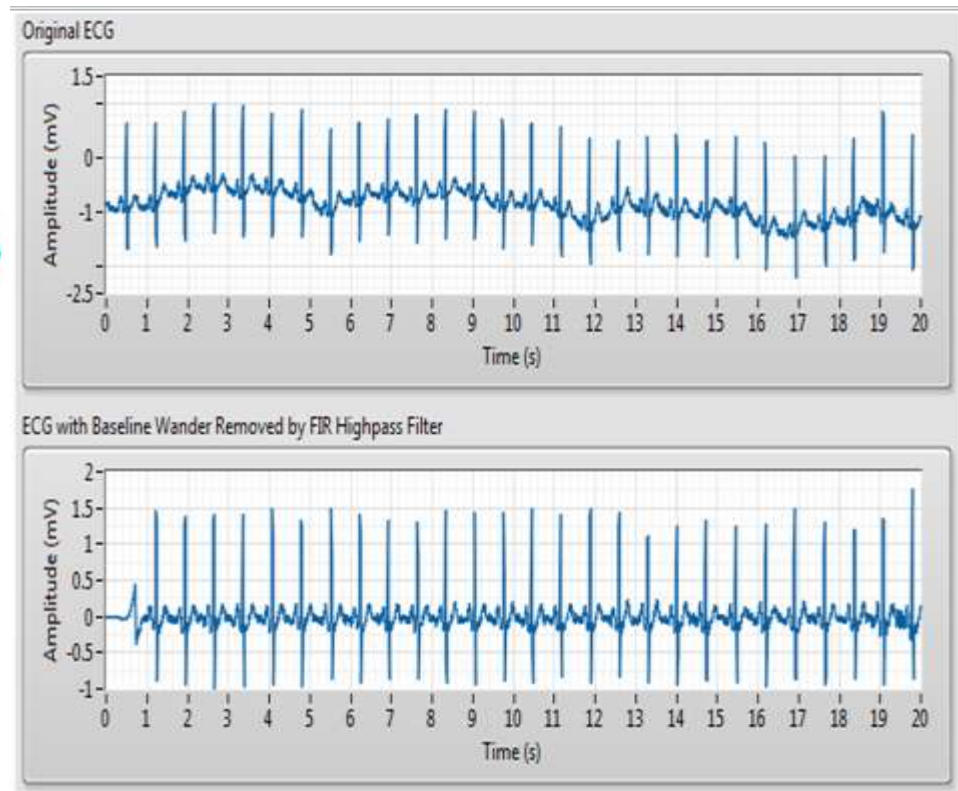
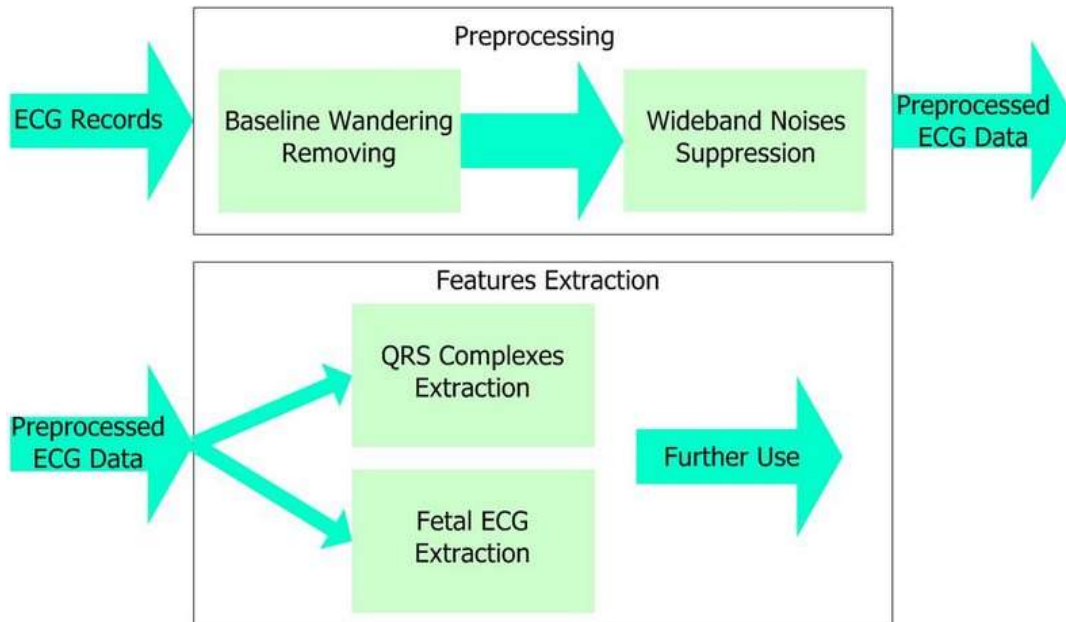
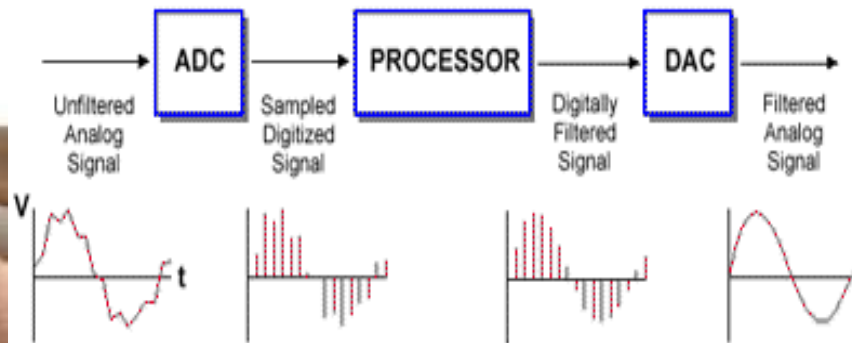
**Nyquist tétel:** a mintavételezési frekvencia ( $f_s$ ) legalább a maximális jel-frekvencia 2x-ease legyen



# Digitális jelfeldolgozás (DSP: Digital Signal Processing)



# Körülvesz bennünket a digitális jelfeldolgozás

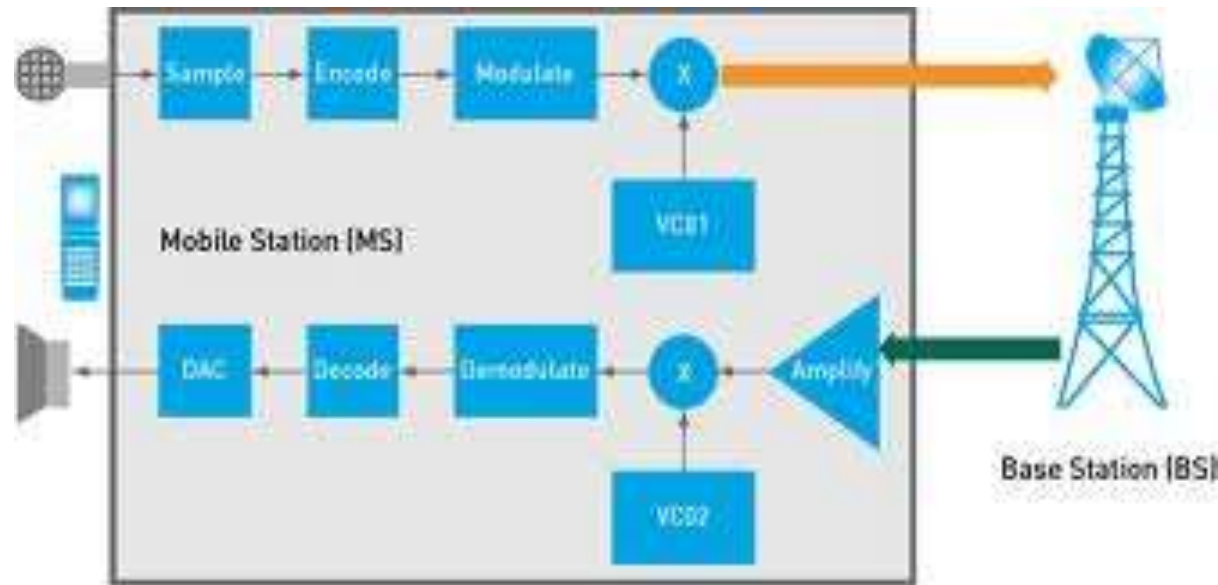


## DSP in everyday life

Digital data can be further manipulated : encoded/decoded/compressed,etc.

Cell phone

Sample, encode,transmit,decode,DAC



CD/DVD player

Light: digital 1010110...

DAC: from stream of numbers

Analog music / video

