

# Kommunikációs hálózatok 2

## A fizikai rétegről

*Németh Krisztián*

*BME TMIT*

*2017. febr. 27.*

Hajnalka névnap  
Színházi világnap  
A whisk(e)y világnapja :)\*

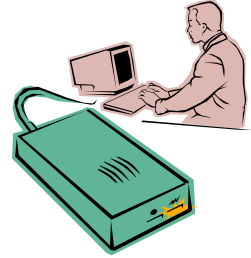
\*Skót, kanadai, japán: whisky, ír, amerikai: whiskey  
A világnap a Parkinson-kór kutatást támogatja a  
whisky élvezete mellett :)



# A tárgy felépítése

---

- 1. Bevezetés
- **2. IP hálózatok elérése távközlő, kábel-TV és optikai hálózatokon**
- 3. IPTV, Internet TV
- 4. VoIP, beszédkódolók
- 5. Mobiltelefon-hálózatok
- 6 Jelzésátvitel
- 7. Gerinchálózati technikák



# Áttekintés

---

- **2.1 A fizikai rétegről** ←
- 2.2 Telefonvonalali modemek
- 2.3 ADSL, xDSL
- 2.4 Kábeltévés Internet-elérés
- 2.5 Optikai hozzáférési hálózatok



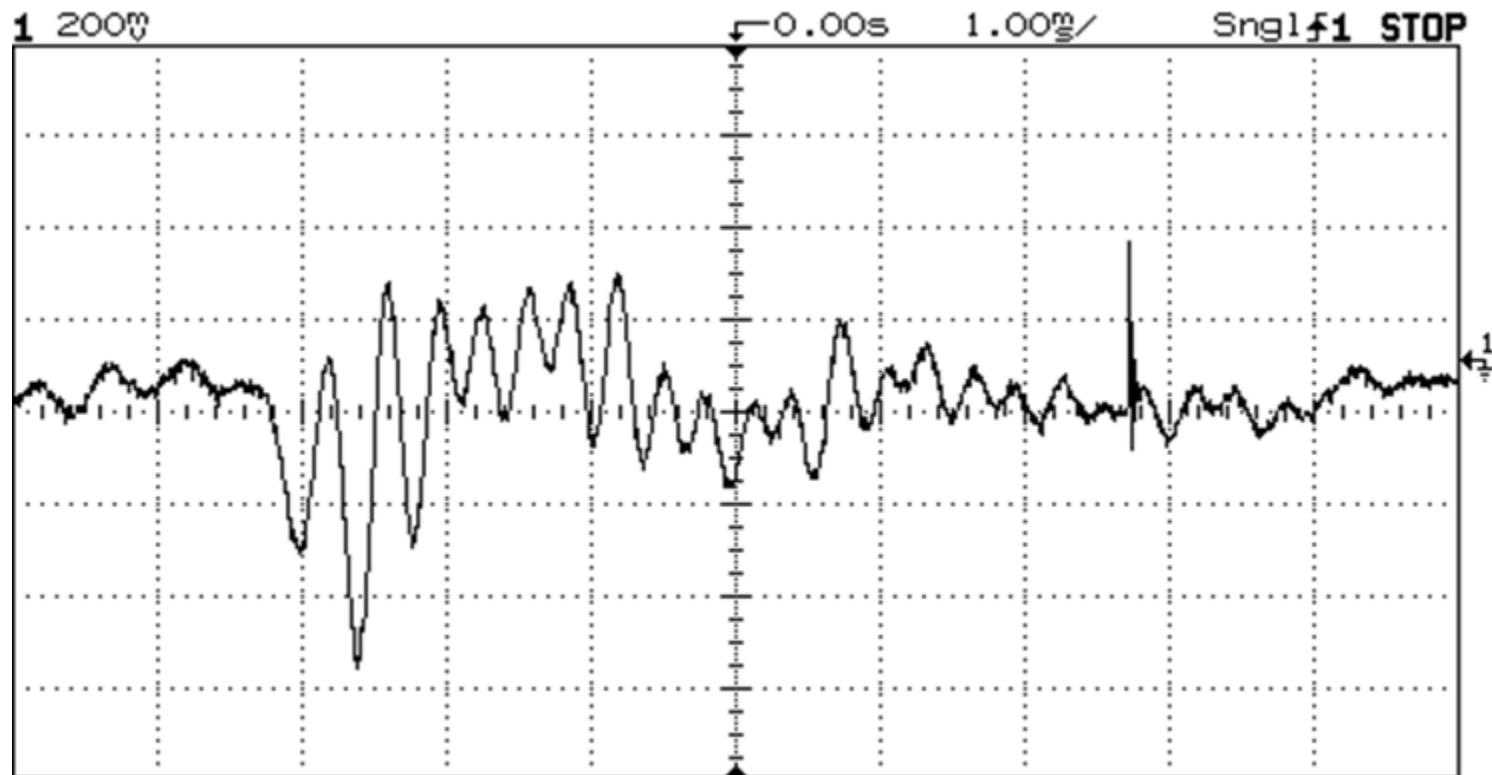
# Disclaimer

---

- ❑ A következő diák anyagát a Rendszerelmélet c. tantárgy tárgyalta részletesen
- ❑ Itt csak egy összefoglaló, emlékeztető következik
- ❑ *A teljesség (és néha a teljes pontosság) igénye nélkül!*

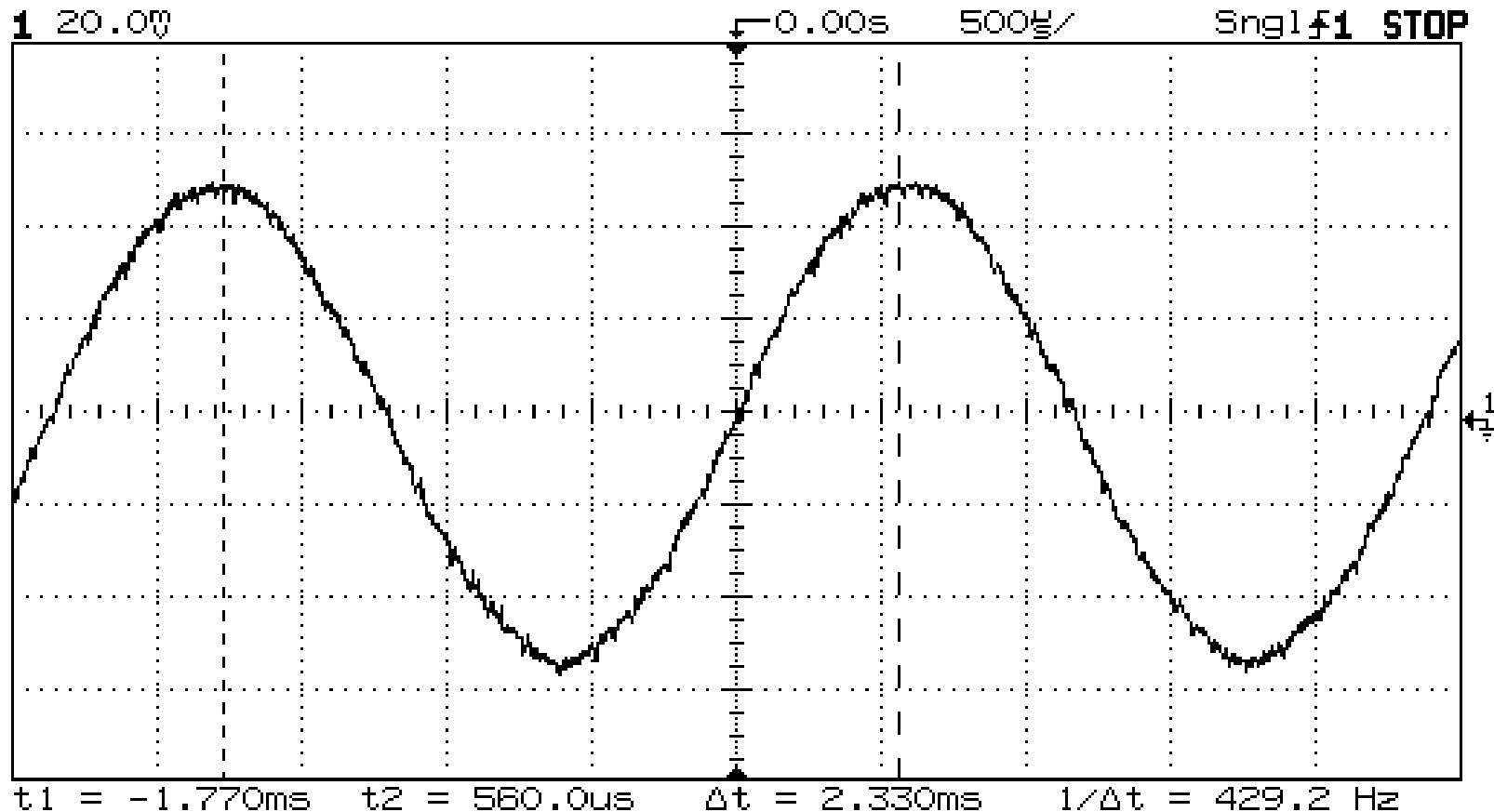
# Jelek az időtartományban

- Információátvitel vezetéken:
  - valamely fizikai jellemző (feszültség, áramerősség) megváltoztatása
  - $f(t)$  függvény
- Példa:  $U(t)$  egy beszédhang esetében, oszcilloszkóppal mérve:



# Jelek az időtartományban

- Példa:  $U(t)$ : telefon tárcsahang



- Periódusidő ( $T$ ) = egy teljes periódus ideje [s]
- Frekvencia ( $f$ ) = a másodpercenkénti teljes periódusok száma [Hz]
- $f=1/T \Rightarrow \text{Hz}=1/\text{s}$

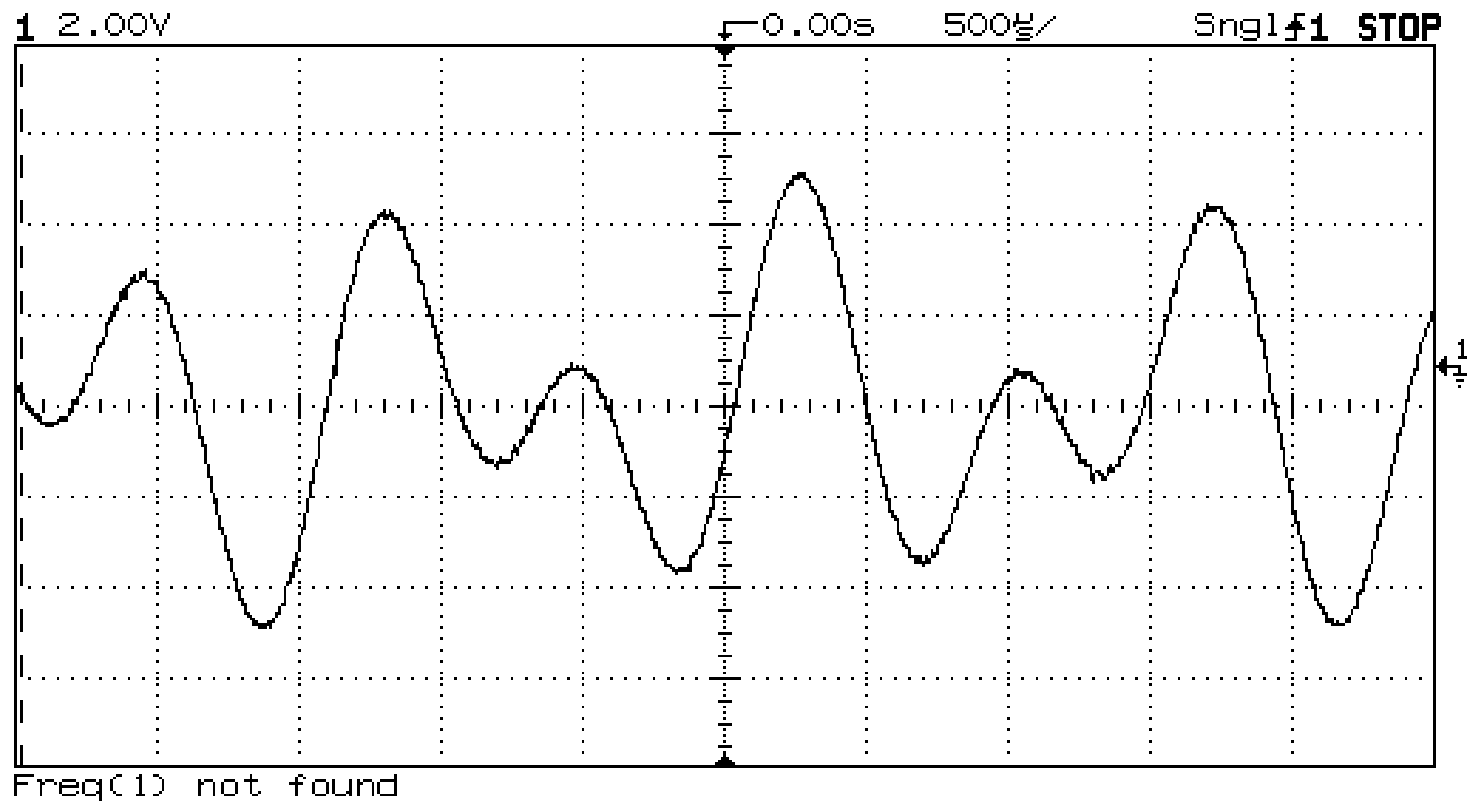
# Jelek az időtartományban

- Példa:  $U(t)$ : DTMF jelzés
- DTMF: Dual Tone Multi Frequency, kéthangú többfrekvenciás jelzésátviteli rendszer
  - „dallamkódos tárcsázás”
  - minden gombhoz egy hang, ami *két szinuszos jel összege*

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

# Jelek az időtartományban

- Példa:  $U(t)$ : DTMF jelzés



# Jelek a frekvenciatartományban

## □ Fourier sorfejtés:

- periodikus  $f(t)$  függvények (jelek) felírhatóak
  - $\sin(\frac{2\pi}{T}nt)$  és  $\cos(\frac{2\pi}{T}nt)$  tagok súlyozott összegeként
  - ahol  $T$  a periódusidő

### ■ konkrétan:

- $$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi}{T}nt\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi}{T}nt\right) \right)$$

### ■ ahol

- $$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^T f(t) \cos\left(\frac{2\pi}{T}nt\right) dt \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

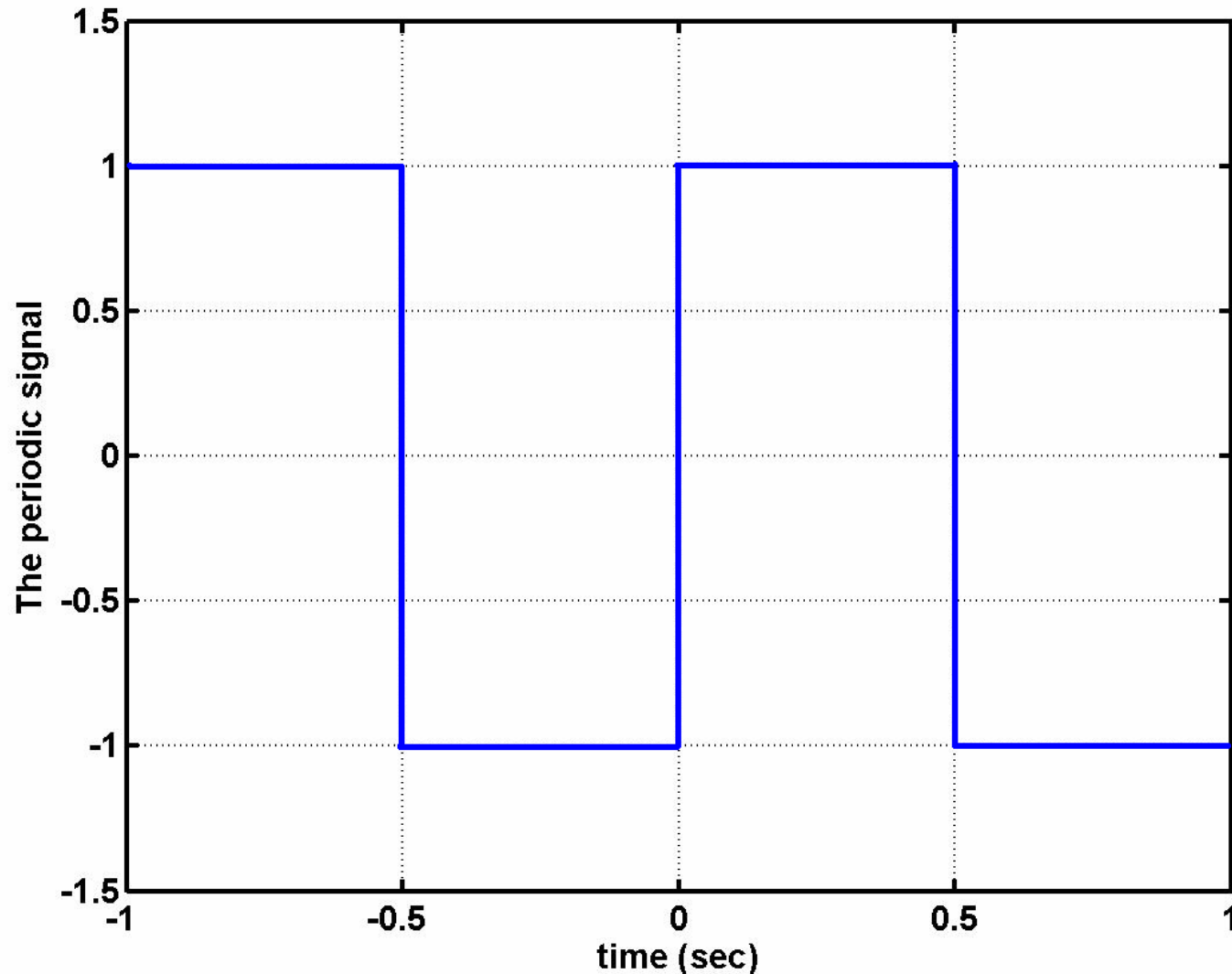
- $$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^T f(t) \sin\left(\frac{2\pi}{T}nt\right) dt \quad (k = 1, 2, \dots)$$

- Az  $\{a_n\}, \{b_n\}$  Fourier-együtthatók egyértelműen megadják/leírják az  $f(t)$  függvényt



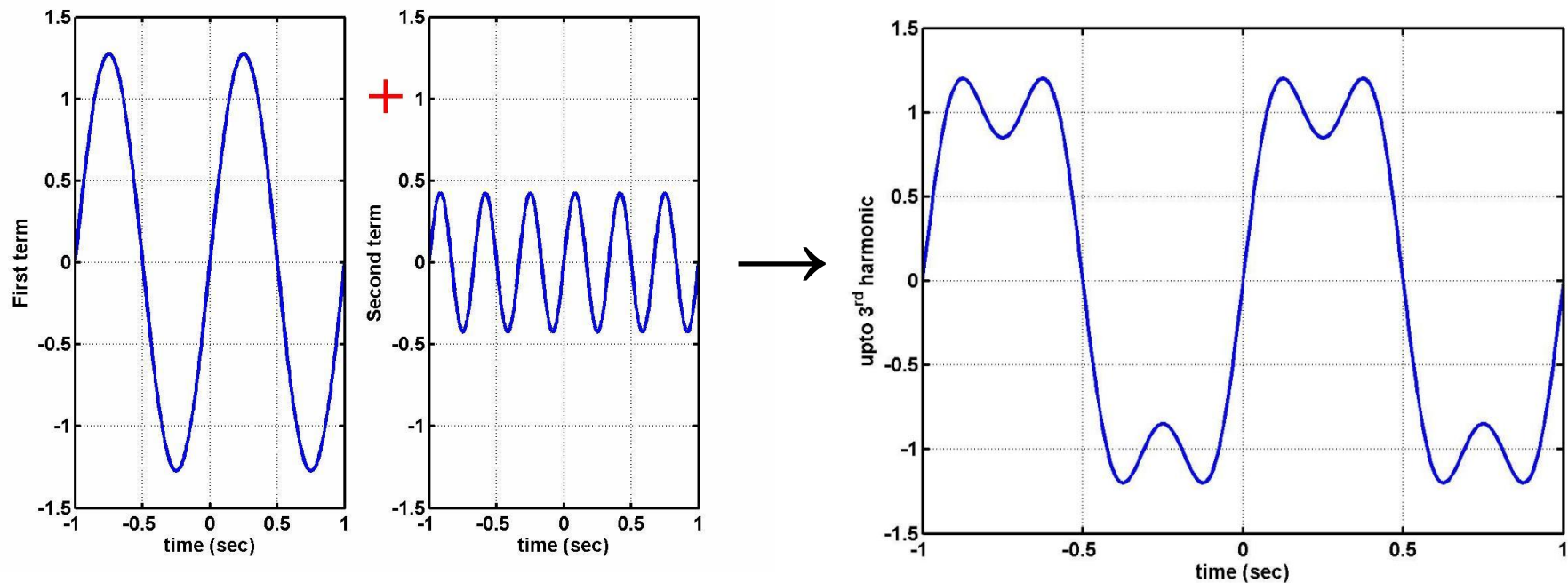
- $a_1, b_1$ : alapharmonikus  $\{a_n\}, \{b_n\}, n > 1$  felharmonikusok<sup>9</sup>

# Fourier-sorfejtés példa: négyszögjel



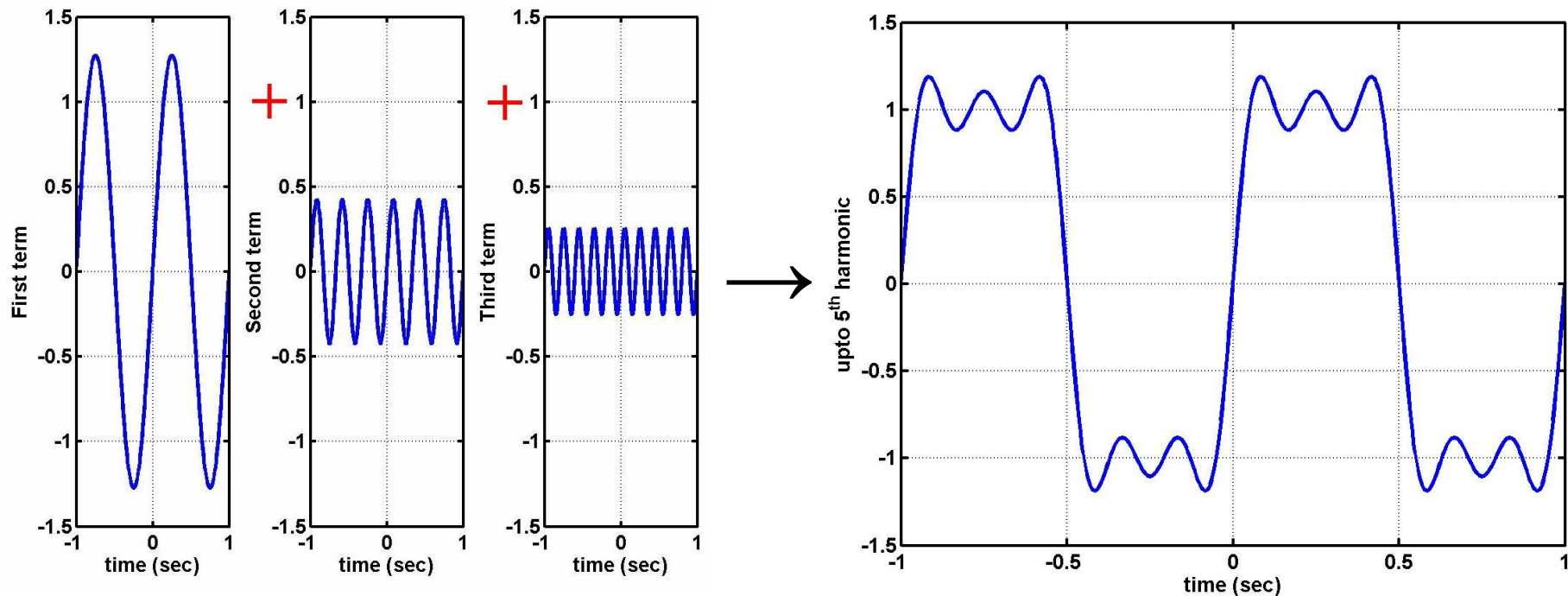
# Fourier-sorfejtés példa: négyszögjel

- Csak szinuszos tagok lesznek
- Az első kettő tag:



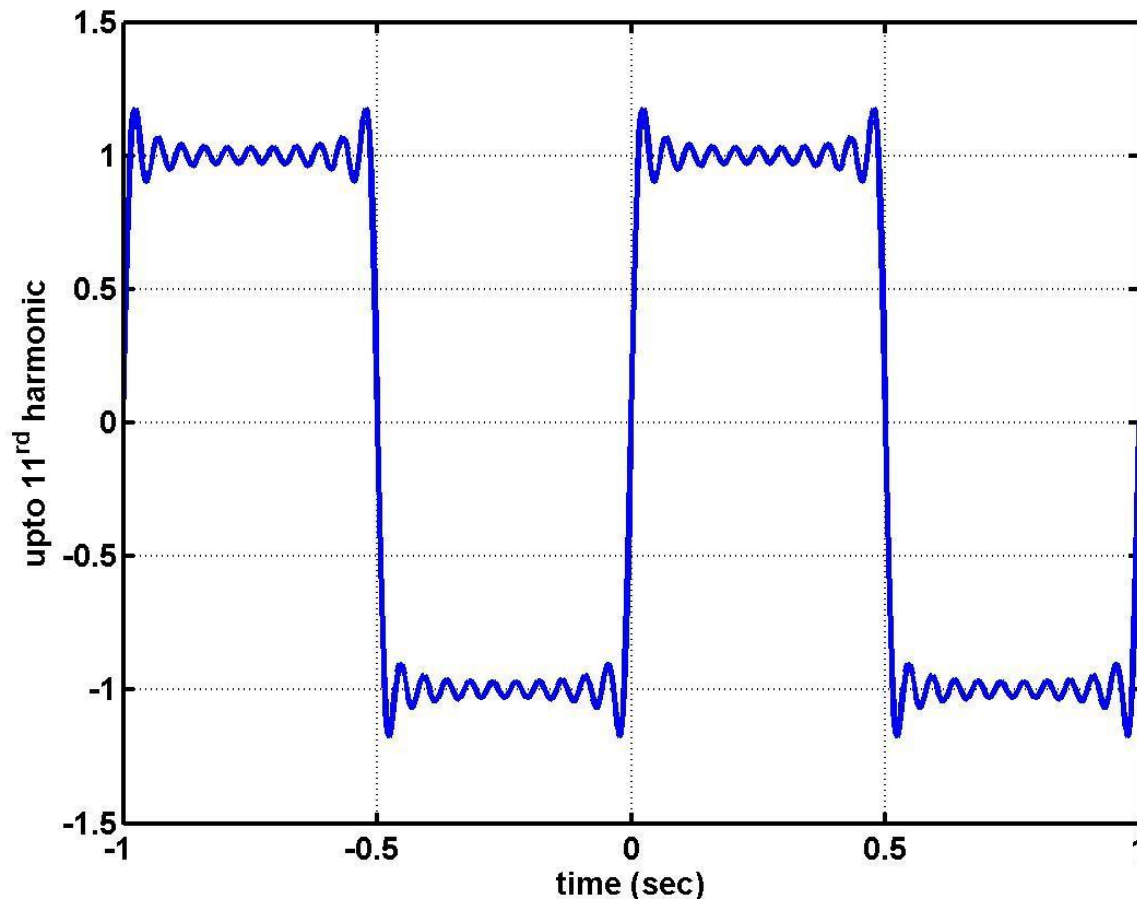
# Fourier-sorfejtés példa: négyszögjel

□ Az első három tag:



# Fourier-sorfejtés példa: négyszögjel

□ Az első hat tag:



# Fourier-transzformáció

- Aperiodikus (nem periodikus) jelre is hasonló
- $f(t)$ -t nem két diszkrét sorozattal  $(\{a_n\}, \{b_n\})$  írjuk le, hanem egy folytonos (és komplex) függvénnyel :
  - $f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\xi) e^{j2\pi\xi t} d\xi$  (ez az inverz Fourier transzformáció)
  - itt  $\xi$  a frekvencia [Hz]
    - gyakran  $\omega = 2\pi\xi$  körfrekvenciát használnak inkább
  - a  $\hat{f}(\xi)$  függvény  $f(t)$ -ből meghatározható:
    - $\hat{f}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi\xi t} dt$  (ez a Fourier transzformáció)
- $f(t)$  és  $\hat{f}(\xi)$  tehát (bizonyos feltételek teljesülése esetén) egyenértékűen leírják a jelet



# Kitérő: Euler-képlet

□ Miért hasonlít egymásra a Fourier-sorfejtés és a Fourier transzformáció?

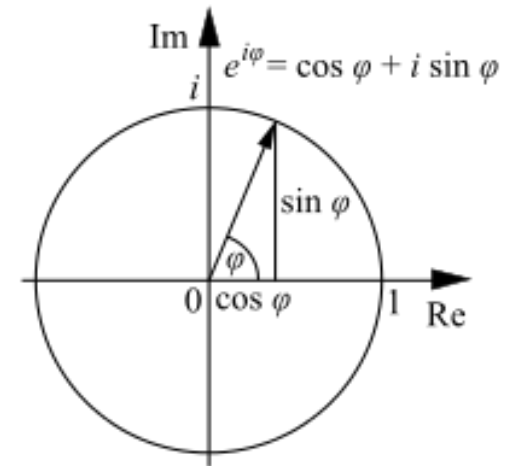
- első ránézésre nem hasonlít
- a trükk: az Euler-képlet

□  $e^{jx} = \cos(x) + j \sin(x)$

□ A „legszebb képlet”

■  $x = \pi$ -re:

■  $e^{j\pi} = -1$



# Mire jó mindez?

---



# Mire jó mindez?

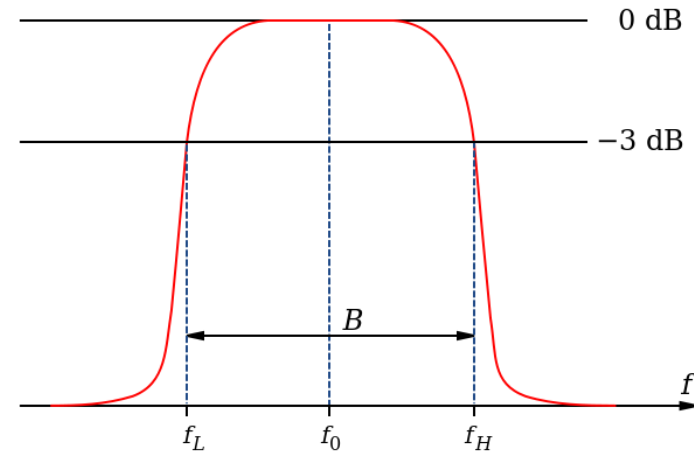
- Számptalan dologra... látni fogjuk a félév során
- Egy példa: „Beküldünk egy jelet egy vezetékpár egyik végén, mi jön ki a másik oldalon?”
- Egy (gyakorlatban használt) átviteli rendszert jól leír a Dirac-delta gerjesztésre adott  $h(t)$  impulzusválasza
- Egy tetszőleges  $u(t)$  bemenetre a kimenet (a rendszer „válasza”):
  - $y(t) = h(t) * u(t)$
  - $*$  : konvolúció – bonyolult
- Ha a jelet és az impulzusválaszt is Fourier-transzformáljuk, akkor a konvolúció helyett szorzást kapunk:
  - $Y(j\omega) = H(j\omega)U(j\omega)$
  - $H(j\omega)$  : átviteli karakterisztika
  - pl. egy hangszóróé:



# Sávszélesség

## □ Többféle definíció, egy tipikus:

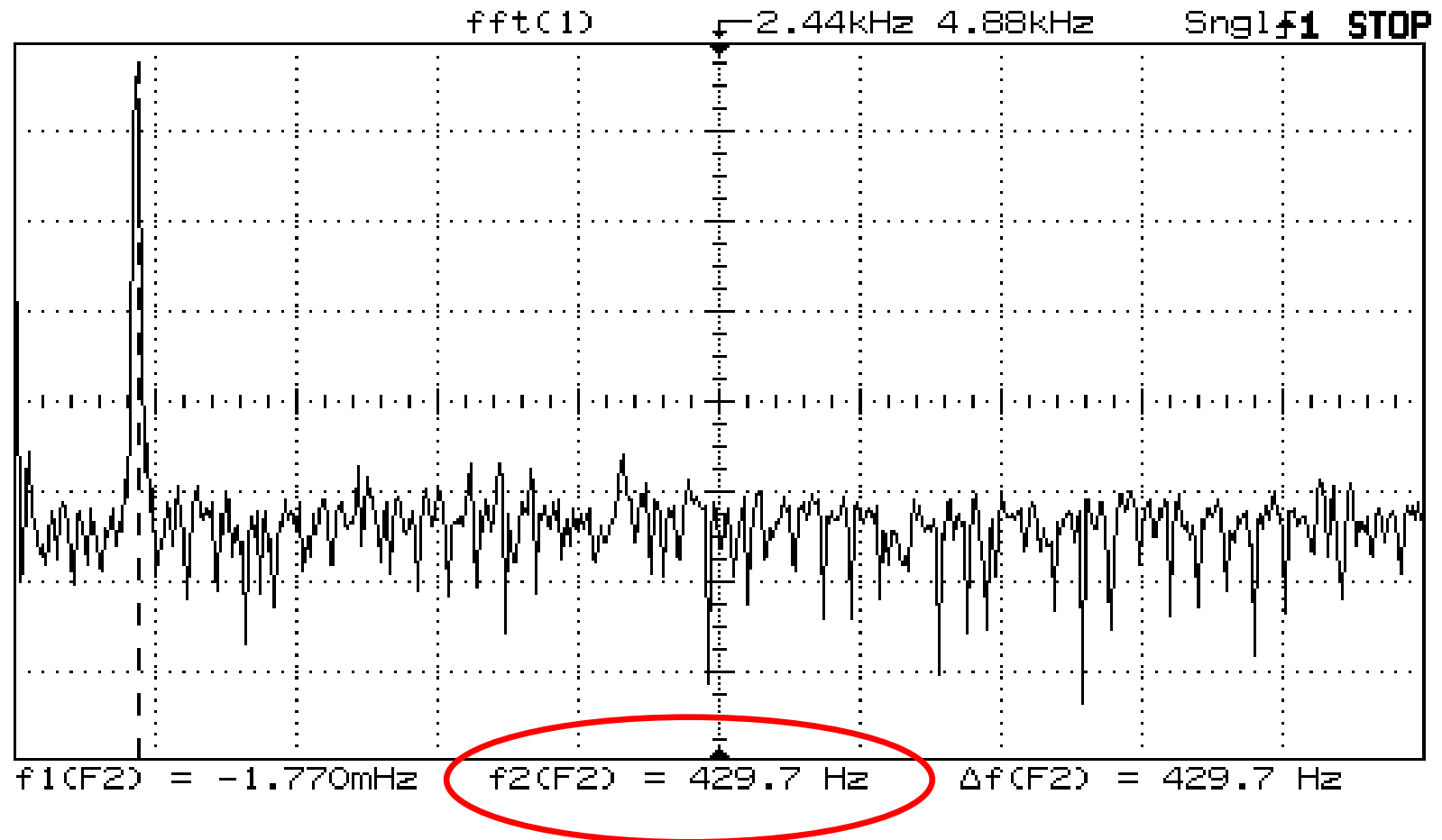
- a jel azon frekvenciatartományának szélessége, ami egy adott szint felett van
- a szint gyakran a max. szint - 3 dB
- ez spektrális sűrűségben a max. fele, amplitúdóban a max. 70,7%-a



- Sávszélessége jelnek, átviteli közegnek is van
- Sokszor nem csak a szélesség a fontos, hanem az alsó és felső frekvenciák ( $f_L$ ,  $f_H$ )
  - van, hogy a köznapi szóhasználatban ezt a részt nevezik a jel „spektrumának”
- Akkor „jó” az átvitel, ha a közeg átviteli tartományába ( $f_L$ ,  $f_H$  közötti rész) esik a jel  $f_L$ ,  $f_H$  közötti része

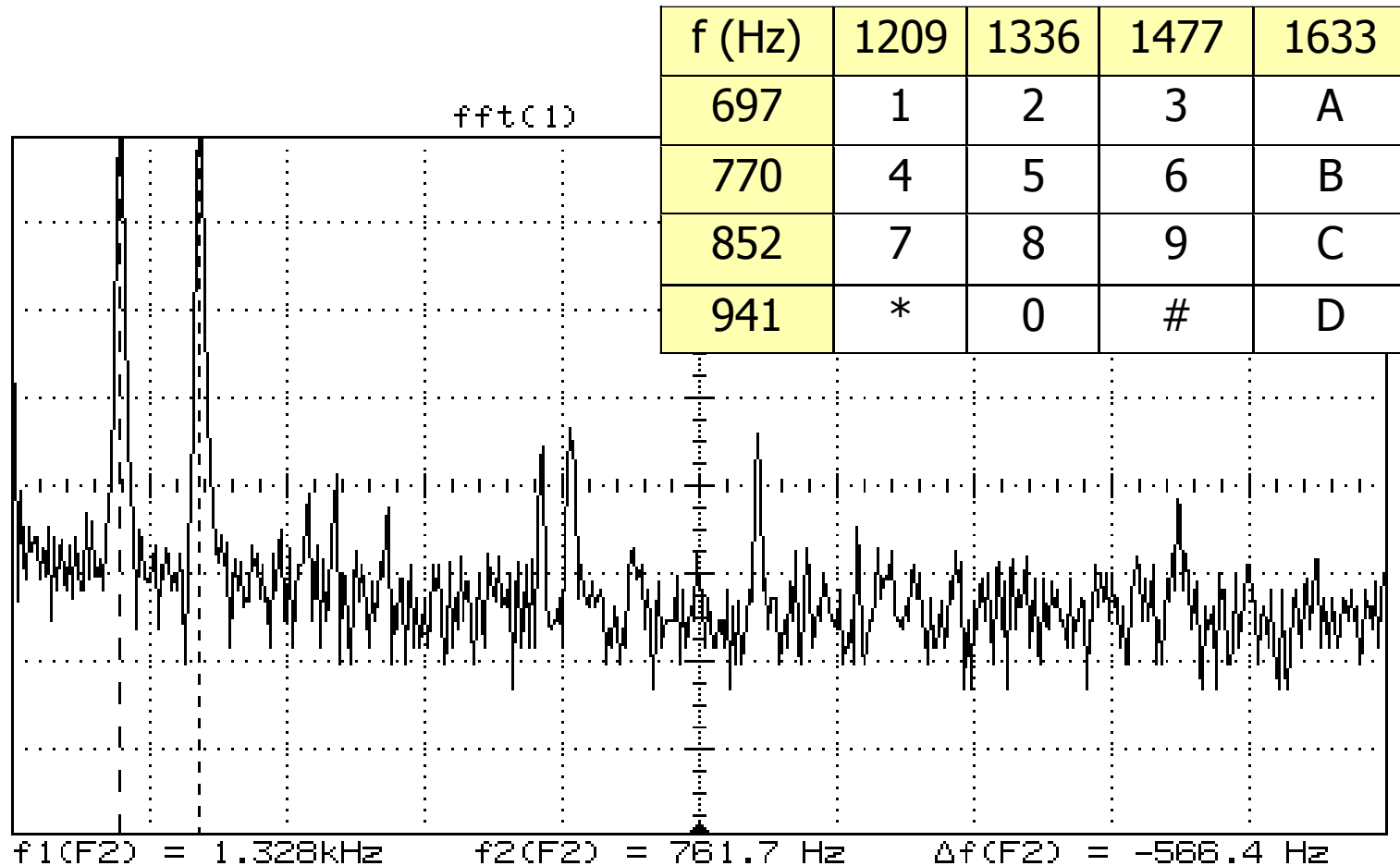
# Jelek a frekvenciatartományban

- Példa: tárcsahang



# Jelek a frekvenciatartományban

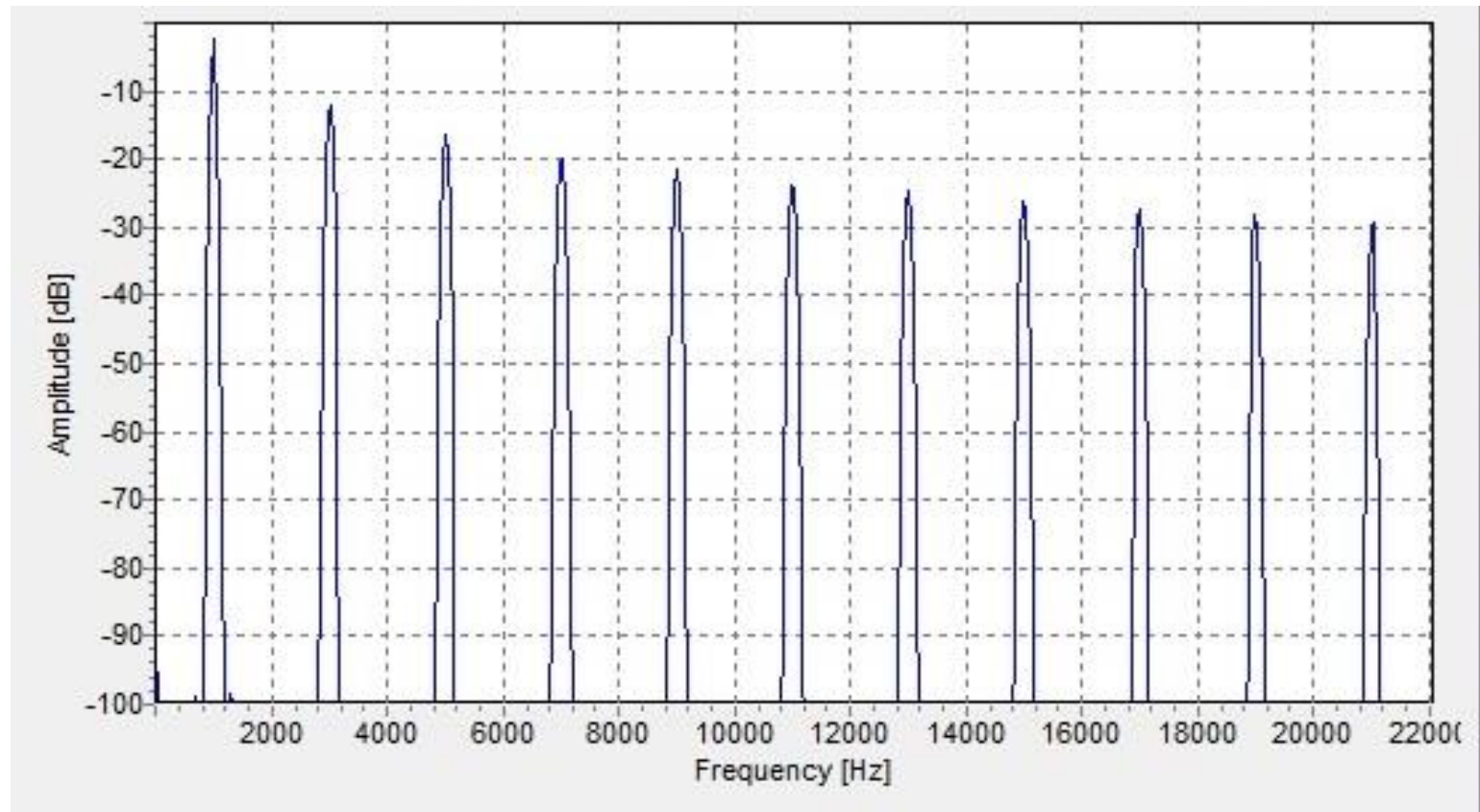
## □ Példa: DTMF jelzés



## □ Ez az 5-ös gomb!

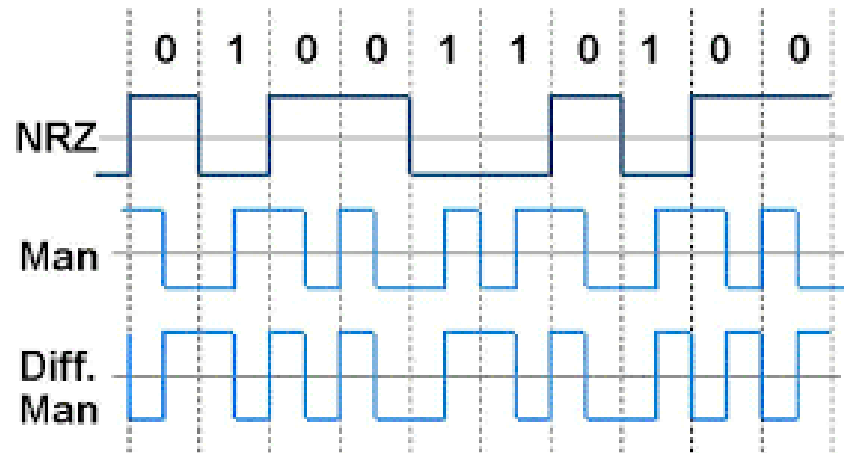
# Jelek a frekvenciatartományban

- Példa: 1000 Hz-es négyszögjel spektruma

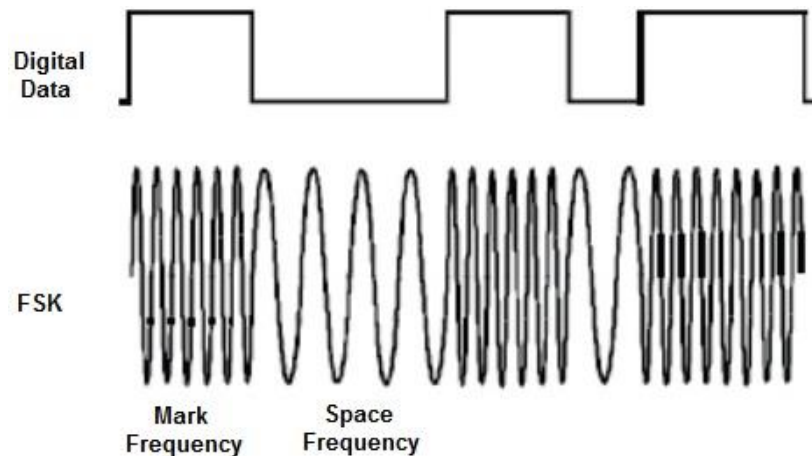


# Digitális jelek analóg csatornán

## □ Vonali kódolás



## □ Moduláció



# Vonali kódolás

---

- Négyszög-szerű jel: jelszintekkel (feszültség szintekkel) reprezentáljuk az adatbitek
- „Alapsávi” átvitel:
  - a jel spektrumának alja ( $f_L$ ) megközelíti a 0 Hz-et
  - a sávszélesség viszonylag nagy
- Egyszerű
- Követelmények:
  - A vonali szimbólumsorozatból az időzítő információ kinyerhető legyen (adó-vevő szinkron)
  - A vonali szimbólumsorozatnak ne legyen egyenáramú komponense (gond pl. távtáplát rendszereknél)
  - Egyértelmű dekódolhatóság, tetszőleges bitsorozat átküldhető legyen

# Vonali kódolás

---

## □ Sebességek:

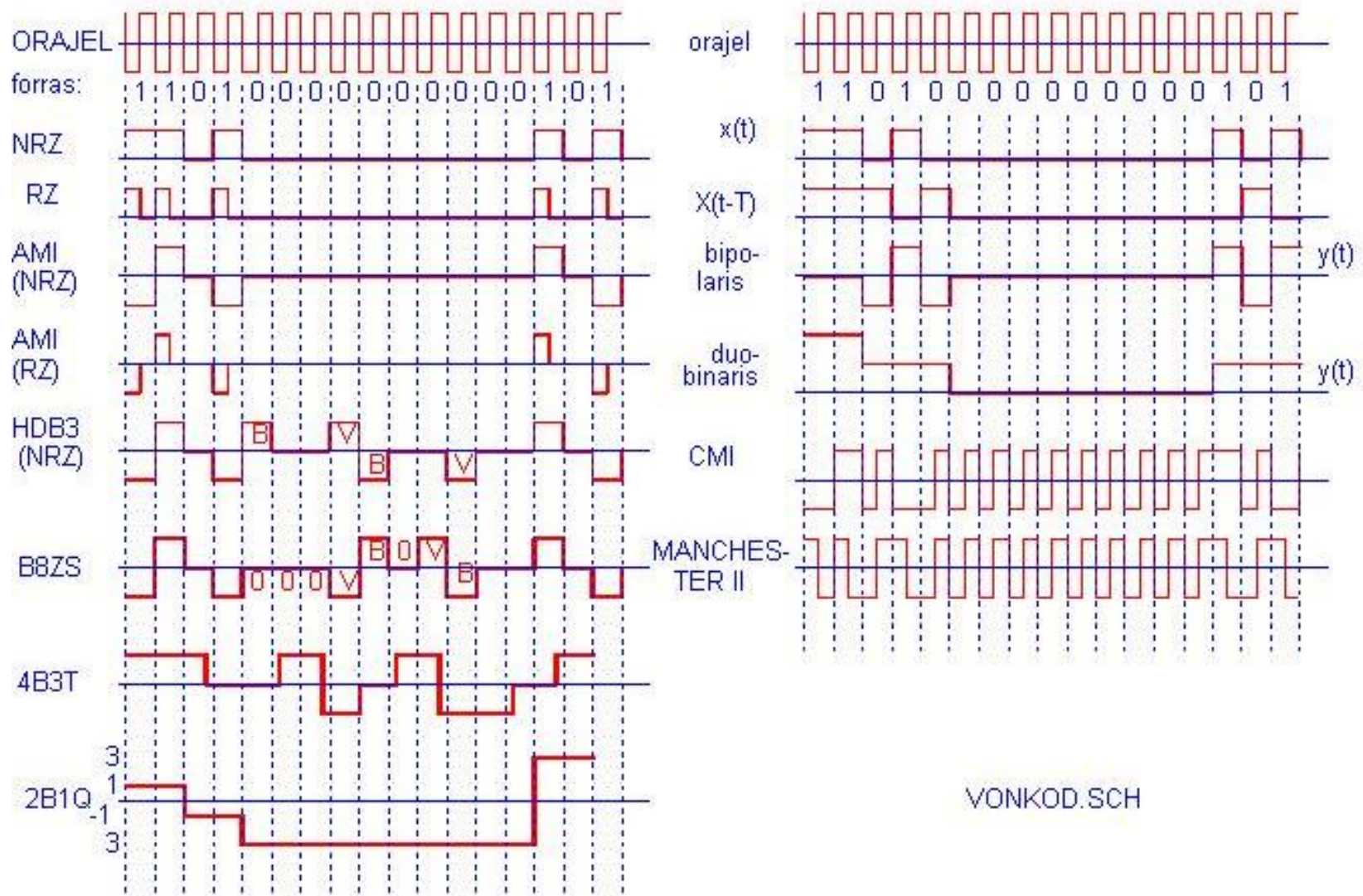
- **bitsebesség:** az időegység alatt továbbított információ mennyisége [bit/s]
- **jelzési sebesség:** az időegység alatt továbbított vonali szimbólumok száma [Baud]
- pl. 8 lehetséges szimbólum esetén jelzési seb.\*3 = bitsebesség
- pl. 2B1Q kódolásnál a jelzési sebesség fele a bitsebességnek

# Vonali kódolás

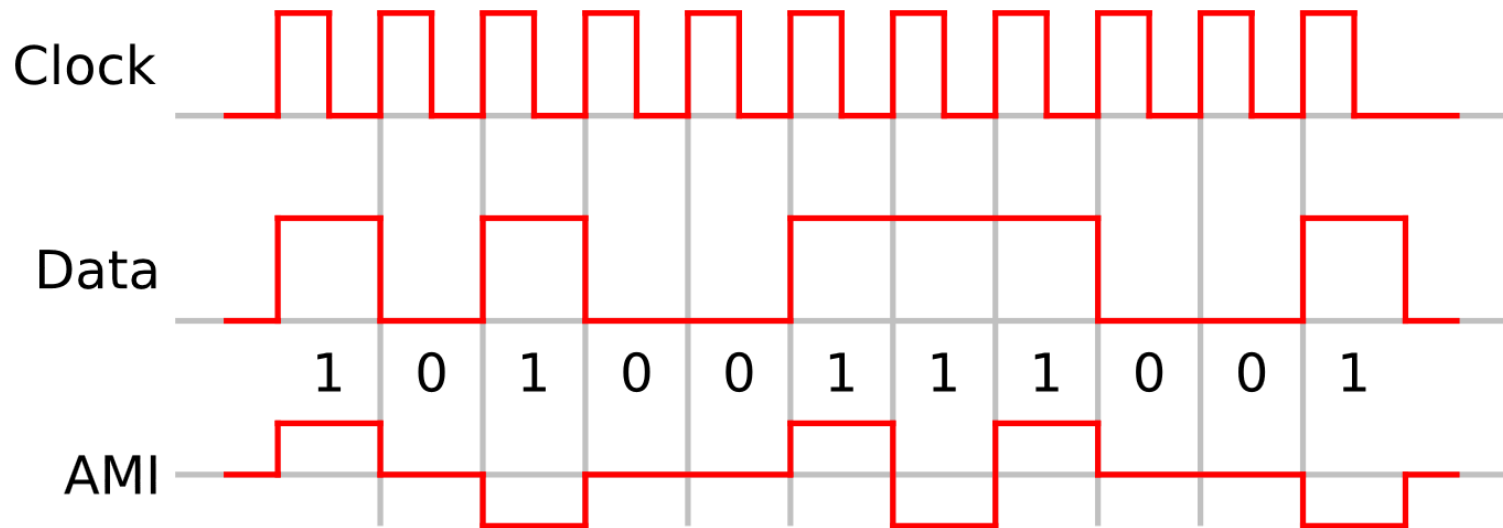
---

- **Szintkódolás:** információ  $\leftrightarrow$  feszültség szint
- **Átmenetkódolás:** információ  $\leftrightarrow$  feszültség szint változása
- **RZ, Return to Zero, nullába visszatérő:**
  - a szimbólumidő egy részében 0 értéket vesz fel a jelszint
- **NRZ, Non-Return to Zero, nullába nem visszatérő:**
  - egy szimbólumidőben a feszültség szint változatlan.
- **Unipoláris:**
  - logikai 0 és 1  $\leftrightarrow$  negatív és pozitív feszültség szint
- **Bipoláris:**
  - logikai 0  $\leftrightarrow$  0 V
  - logikai 1  $\leftrightarrow$  pozitív és negatív feszültség szint felváltva

# Vonali kódolás példák

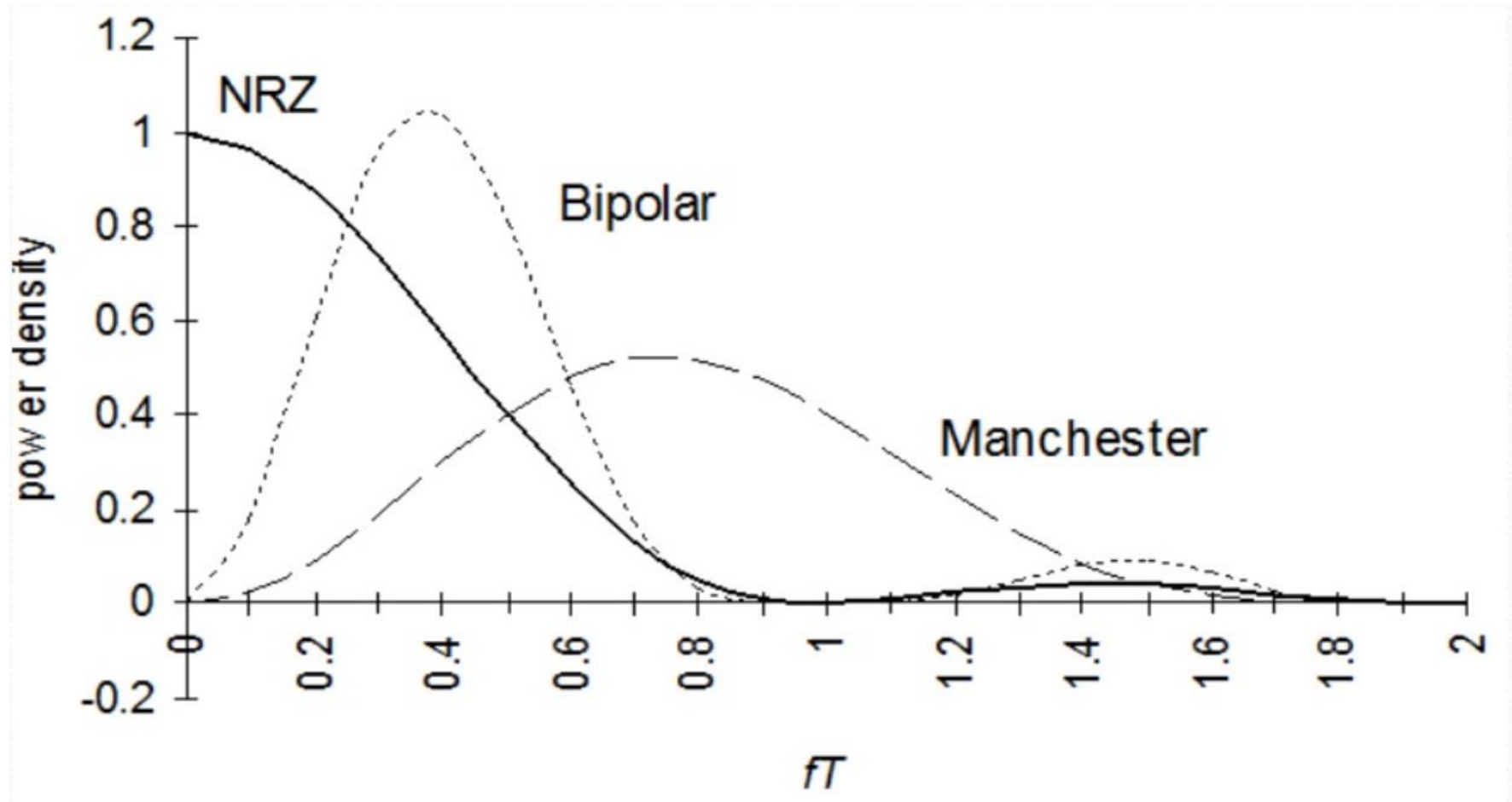


# Példa: AMI



- ❑ AMI: Alternate Mark Inversion
- ❑ NRZ, bipoláris, szintkódolás
- ❑ nincs DC komponense
- ❑ kinyerhető az órajel, ha nincsenek hosszú 0 sorozatok
  - mivel lehetnek: célszerű a bitsorozatot átvitel előtt megváltoztatni
  - és persze az átvitel végén visszaalakítani az eredetire

# Vonali kódolások spektruma



Forrás: <https://www.slideshare.net/rinaahire/line-coding-15852152>  
(érdemes ránézni, részletes és jól érthető összefoglaló a témáról)

# Moduláció

---

- Tipikusan egy szinuszos „vivőjelet” változtatunk meg kicsit, így visszük át az információt
  - a kapott jel spektruma a vivőjel frekvenciájának környezetében lesz
  - ez akár nagyon nagy (pl. GHz) is lehet
  - a kapott jel sáv szélessége tipikusan viszonylag kicsi (sáv szélesség-takarékos megoldás, főleg a vonali kódolásokhoz képest)
  - használják vezetékes (réz, optika) és vezeték nélküli közegek esetén is

# Moduláció

## □ Analóg átvitt jel:

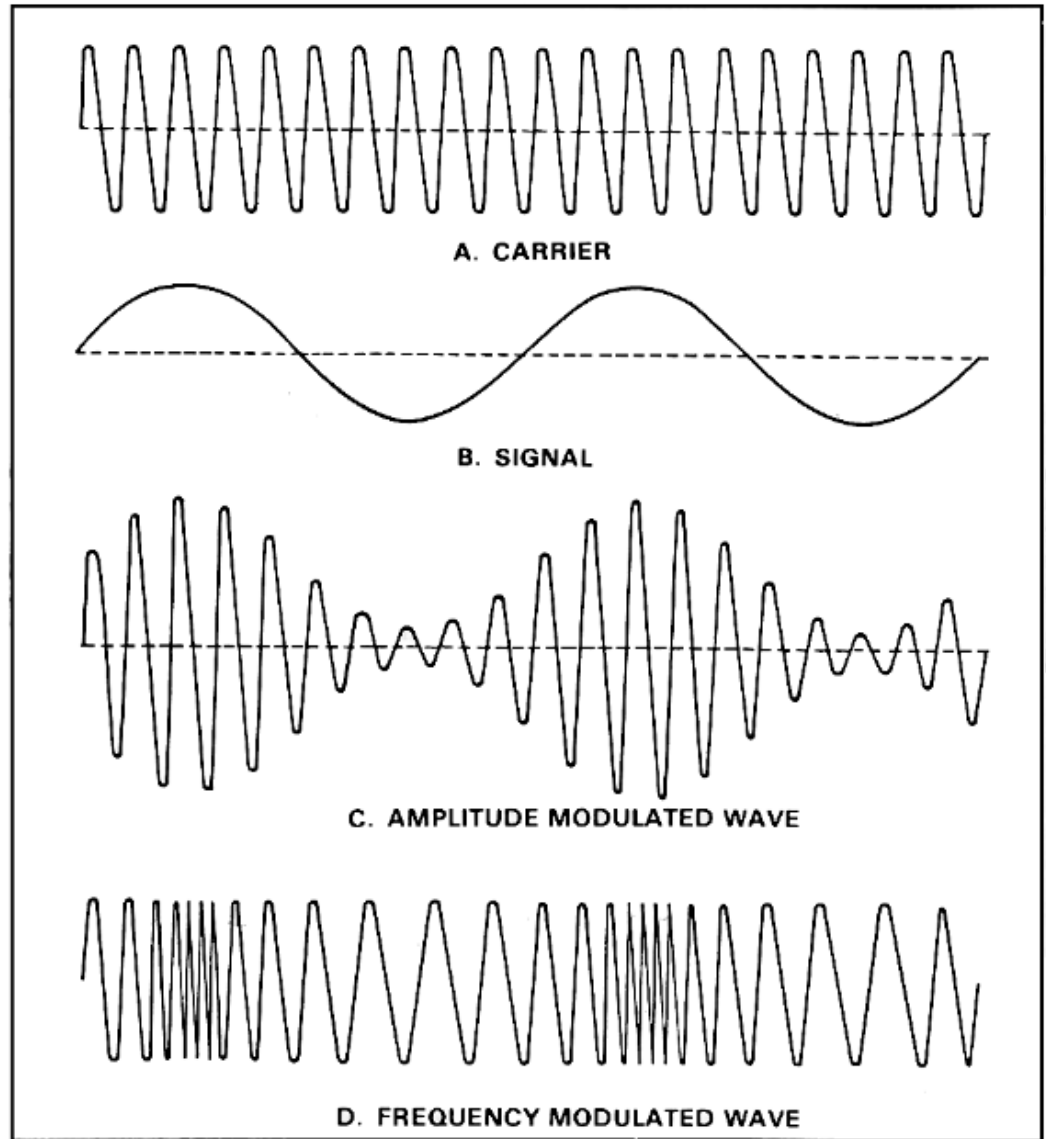
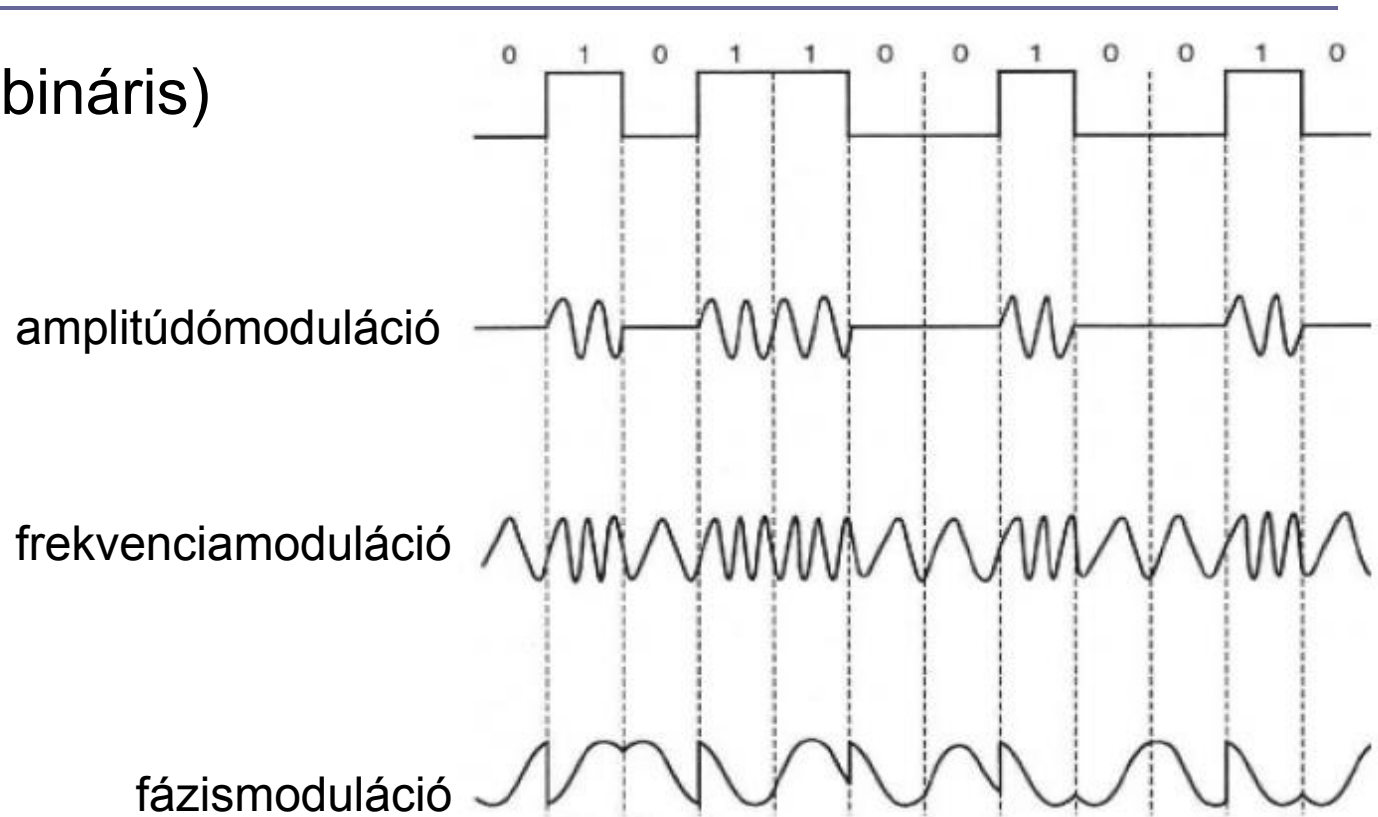


Figure 2-17. Wave shapes.

# Moduláció

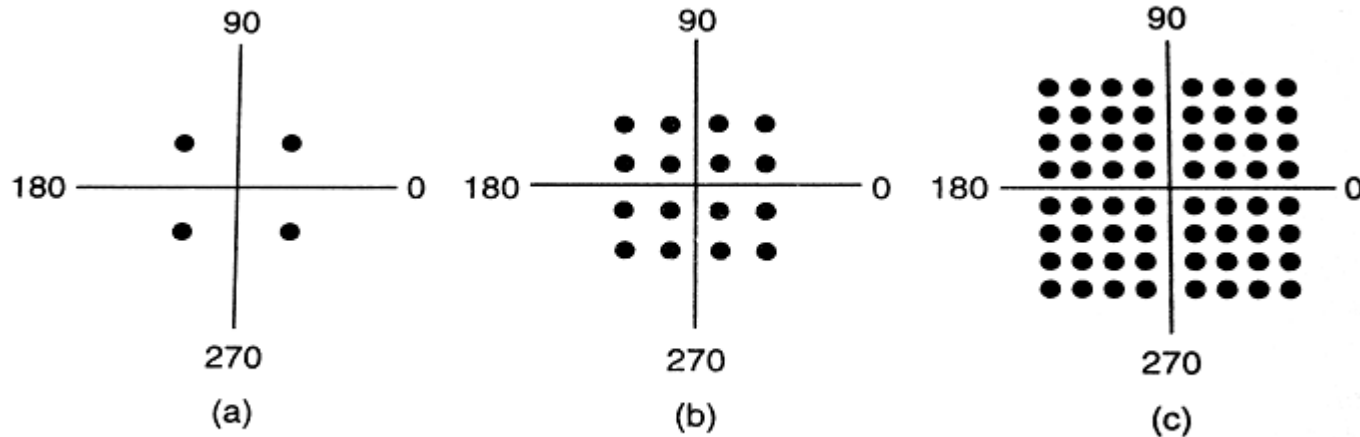
- Digitális (bináris) átvitt jel:



Forrás: Tanenbaum: Számítógép-hálózatok

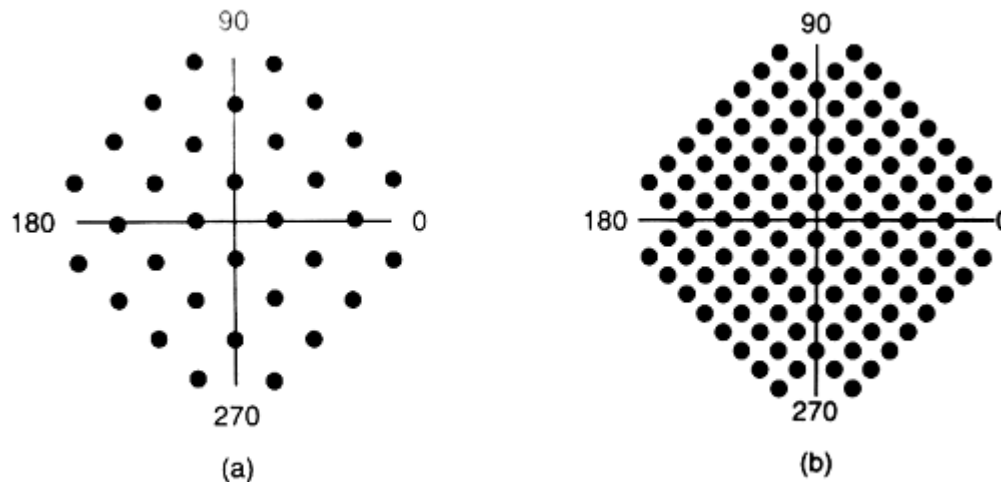
- Bináris esetben inkább a „billentyűzés” szó használatos (pl. frekvenciabilletyűzés, frequency shift keying)

# QPSK, QAM



QPSK: 4 fázisú PSK (a) QPSK. (b) QAM-16. (c) QAM-64

QAM: kvadratúra-amplitúdó moduláció



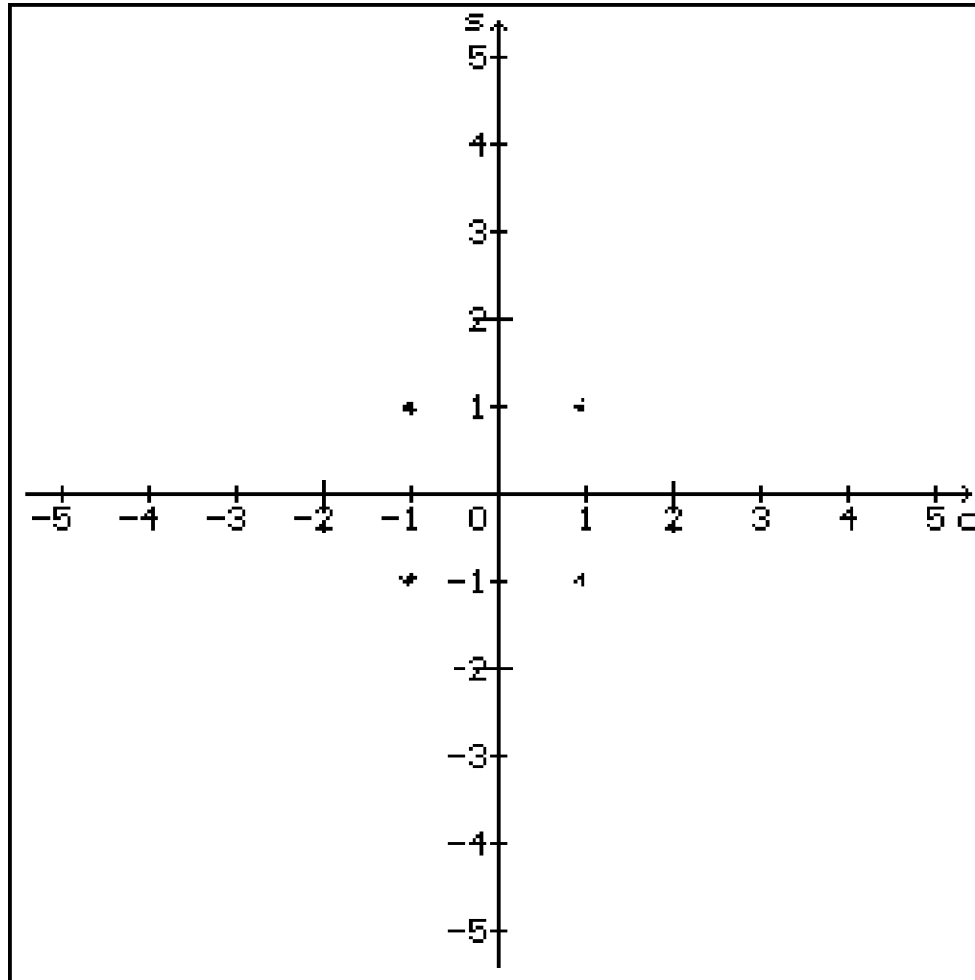
(a) V.32 szabvány 9600 b/s-hoz. (b) V.32 bis szabvány 14 400 b/s-hoz

Forrás: Tanenbaum:  
Szg-h.

□ Egy szimbólumban több lehetséges fázis/amplitúdó kombináció

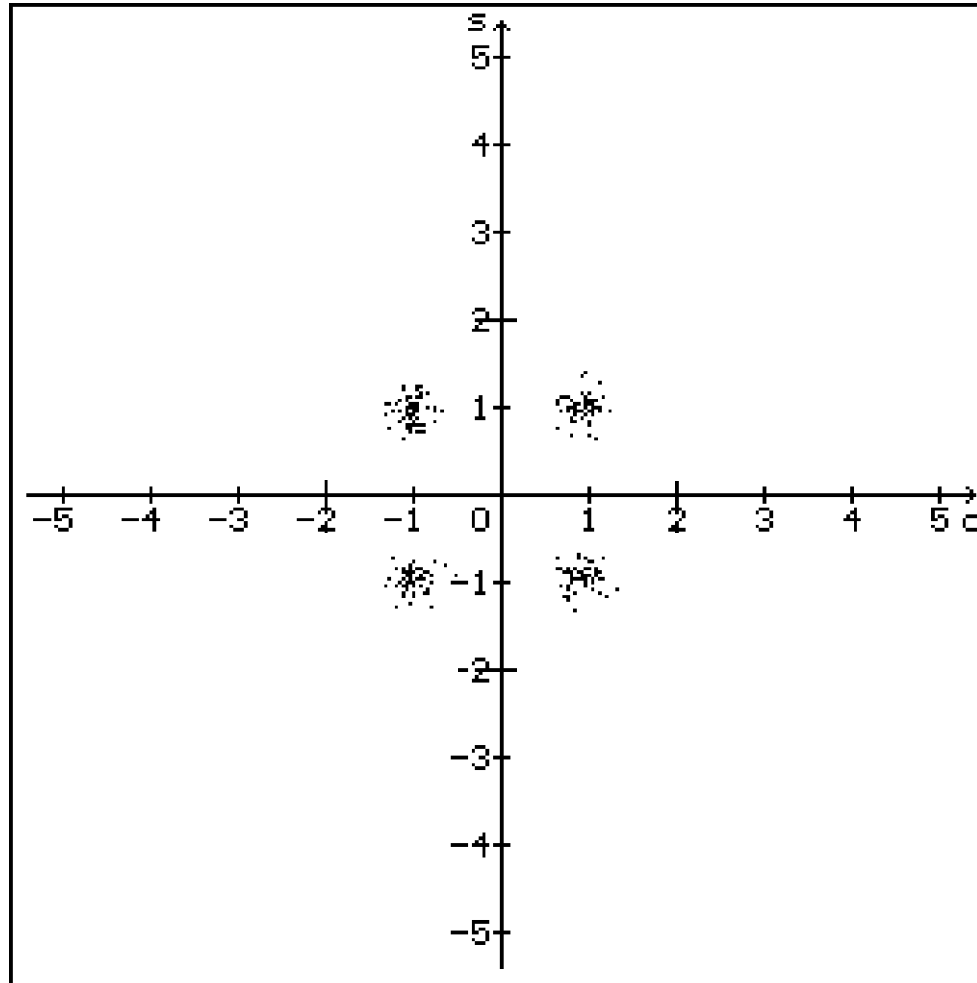
# 1200 bit/s QPSK: mérések

- Jó minőségű átviteli út



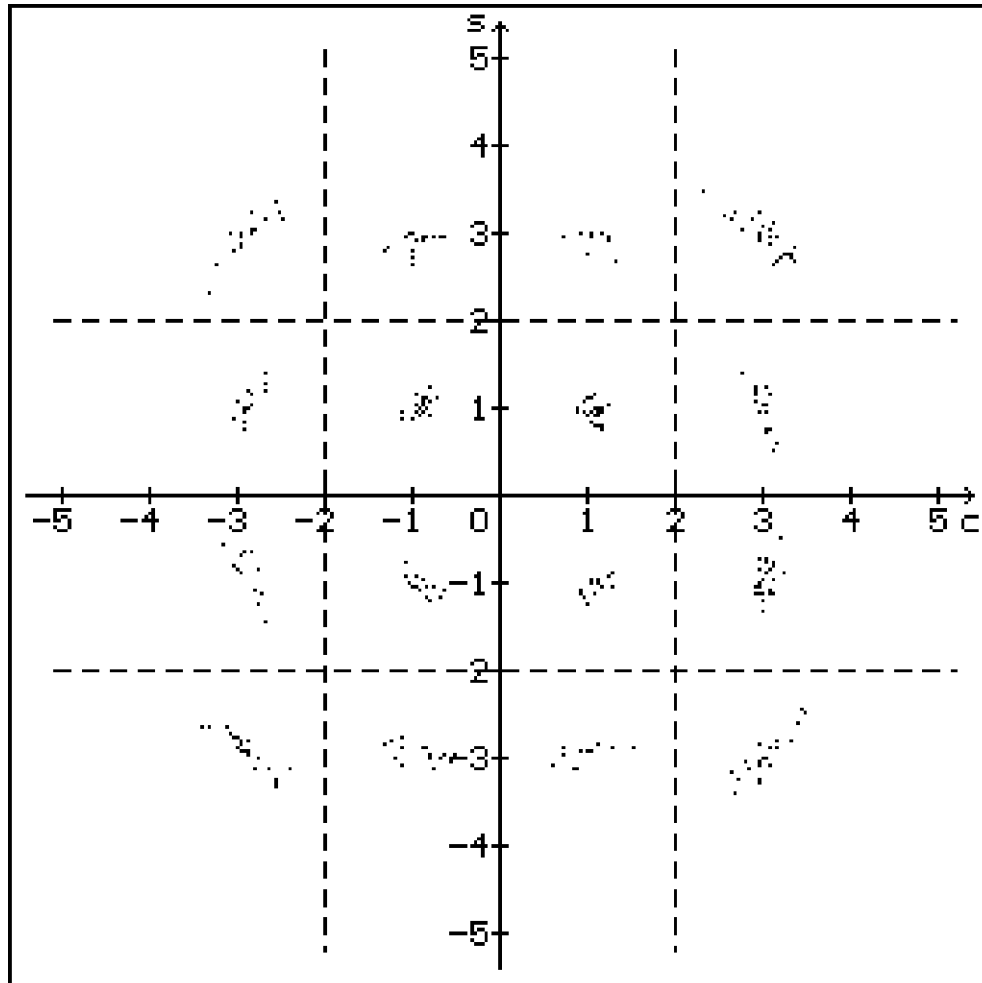
# 1200 bit/s QPSK: mérések

## □ Rossz minőségű átviteli út



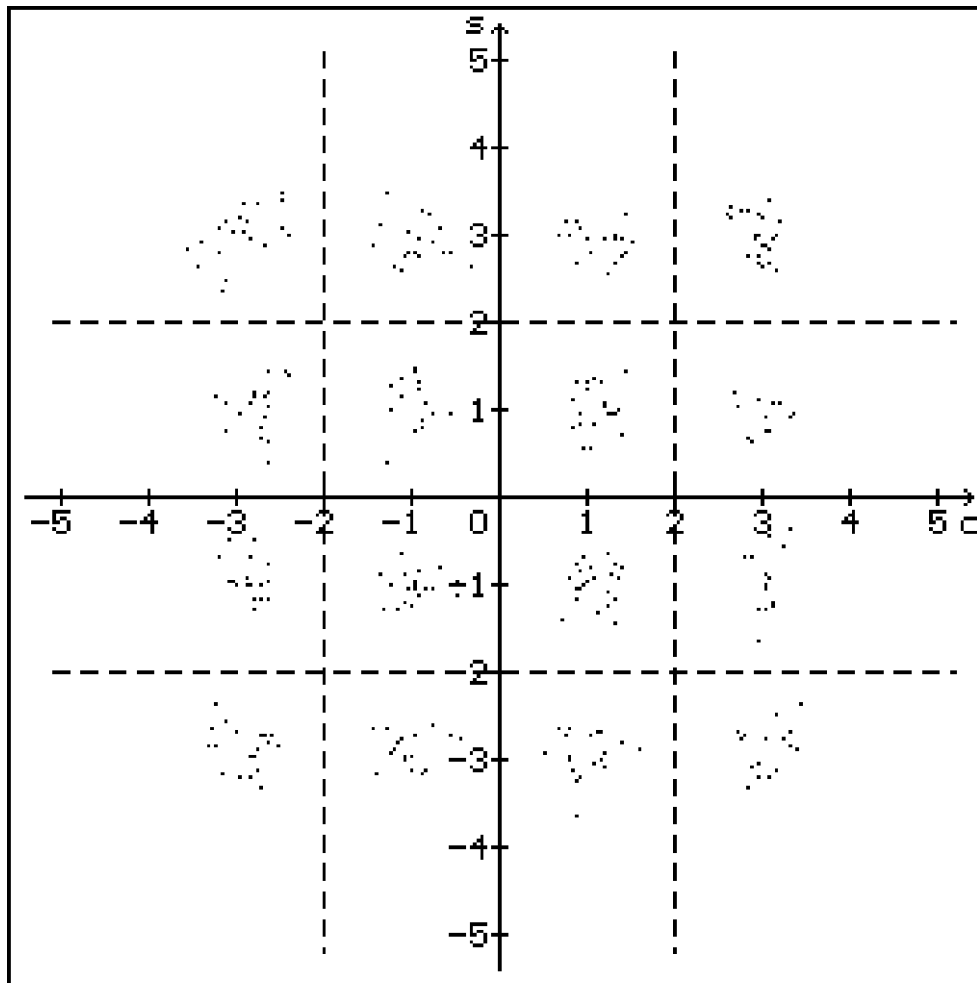
# 2400 bit/s QAM16: mérések

- Elég rossz minőségű átviteli út



# 2400 bit/s QAM16: mérések

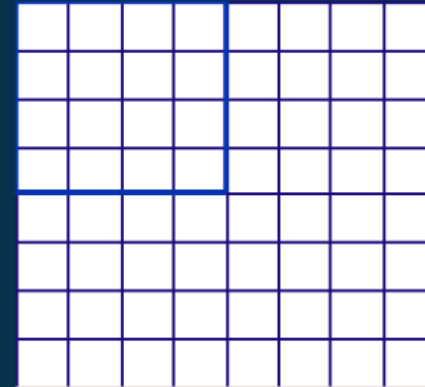
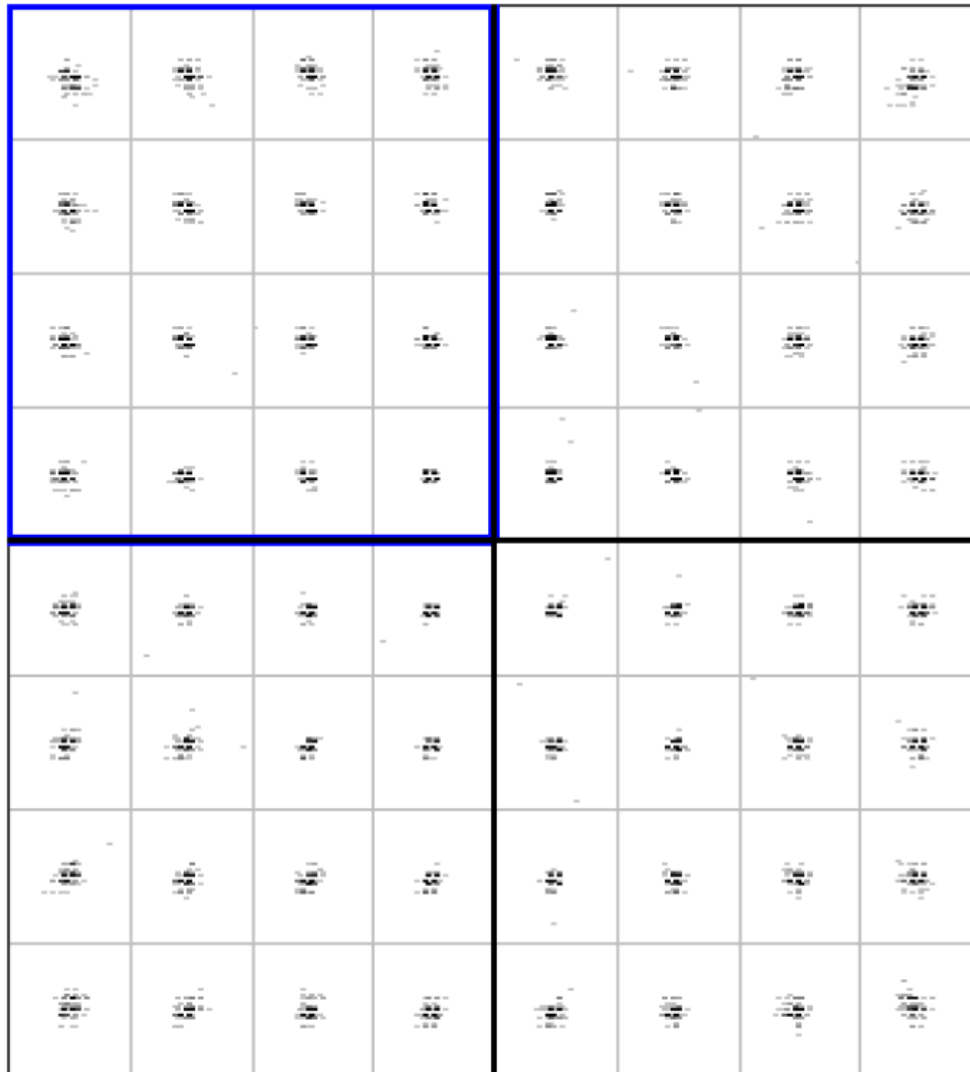
- ❑ Még rosszabb minőségű átviteli út



# QAM64, kábelTV-s mérésből

Samples: 32000

CH28  
DOCSIS@-64 **CH 064**



modulation 64QAM

QAM standard DOCSIS@

symbol rate (Msps) 5.057

AGC Stress

QAM Sensitivity

 543.000 MHz  
**+63.9** dBμV

MER  **+36.1** dB

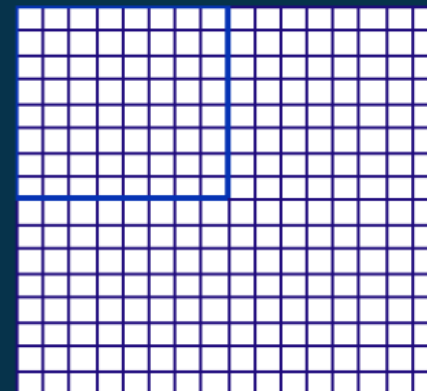
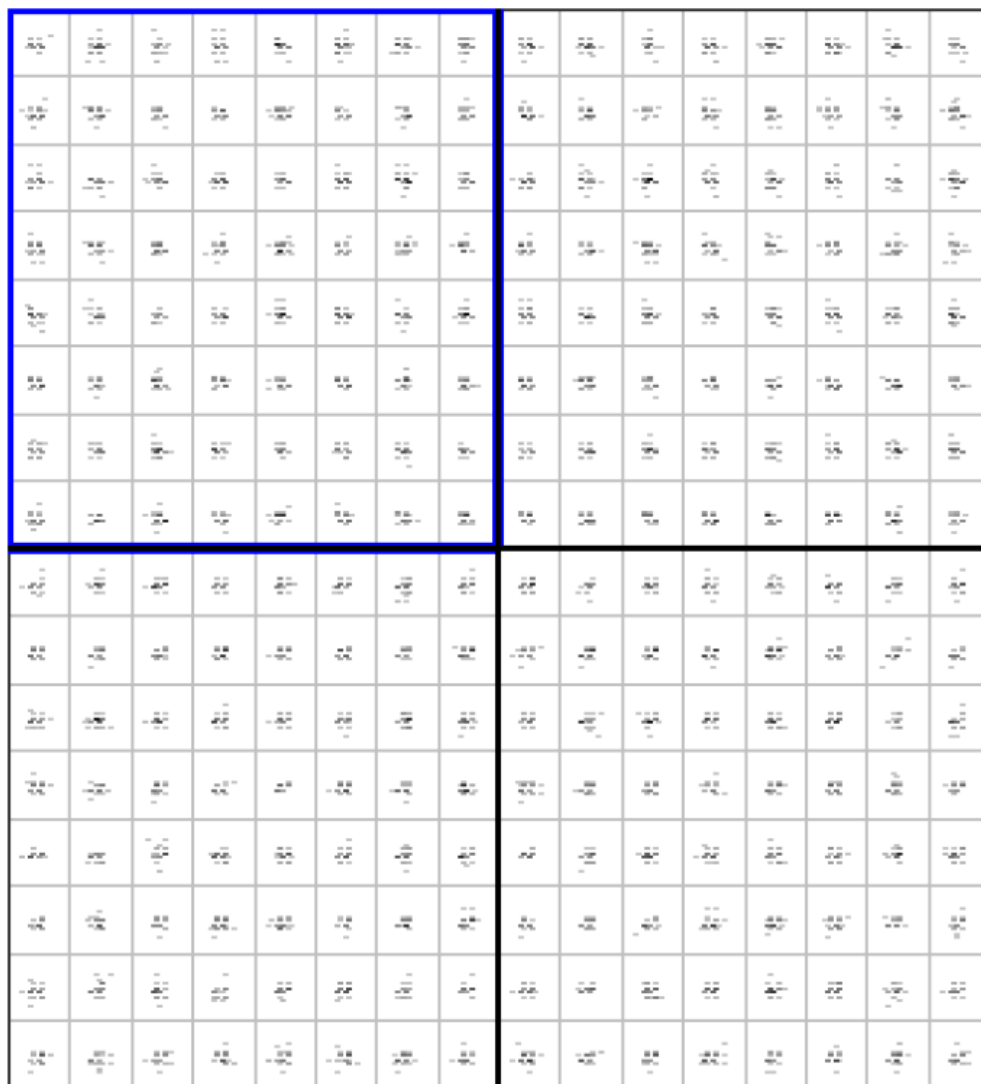
BER  4.7E-6 PRE  
estimated 4.0E-6 POST

interleaver depth 32,4

# QAM256, kábelTV-s mérésből

Samples: 16000

CableMod  
DOCSIS®-256 **CH 012**



modulation 256QAM

QAM standard EuroDOCSIS®

symbol rate (Msps) 6.952

AGC Stress

QAM Sensitivity

 132.000 MHz  
**+62.0** dBμV

MER  **+39.2** dB

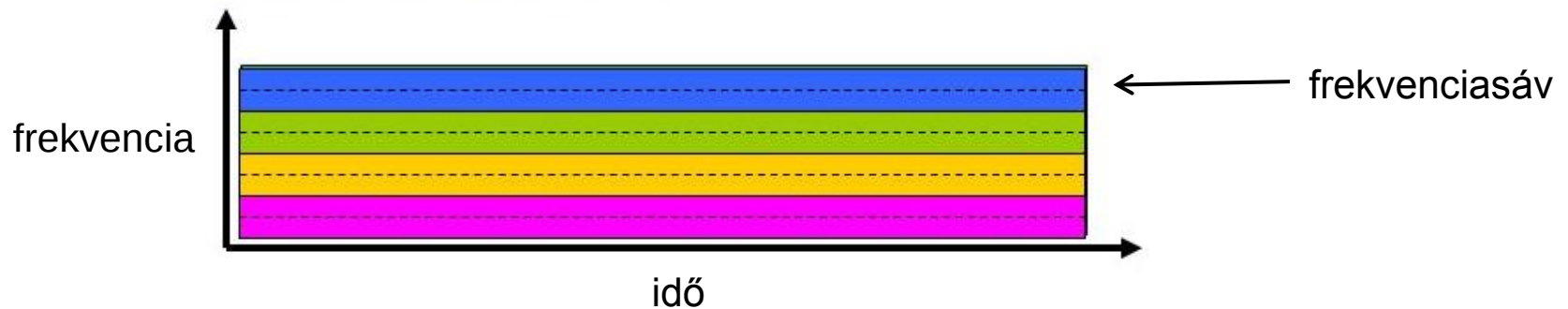
BER  1.0E-9 PRE  
estimated 1.0E-9 POST

interleaver depth 128,1

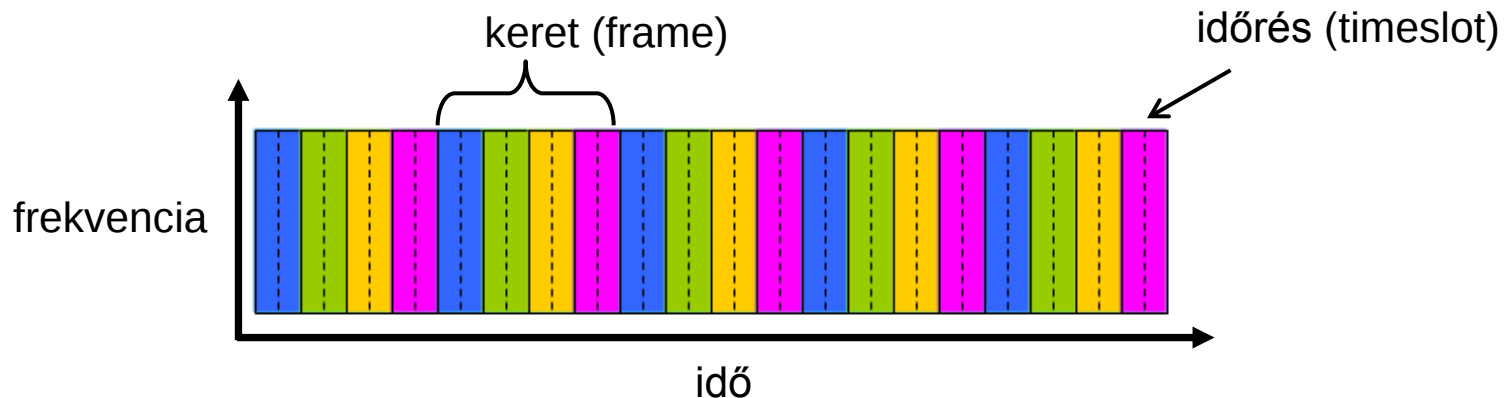
# Nyalábolás (multiplexálás)

- FDM: Frequency Division Multiplexing, frekvenciaosztásos nyalábolás

■ példa: 4 felhasználó: ■ ■ ■ ■

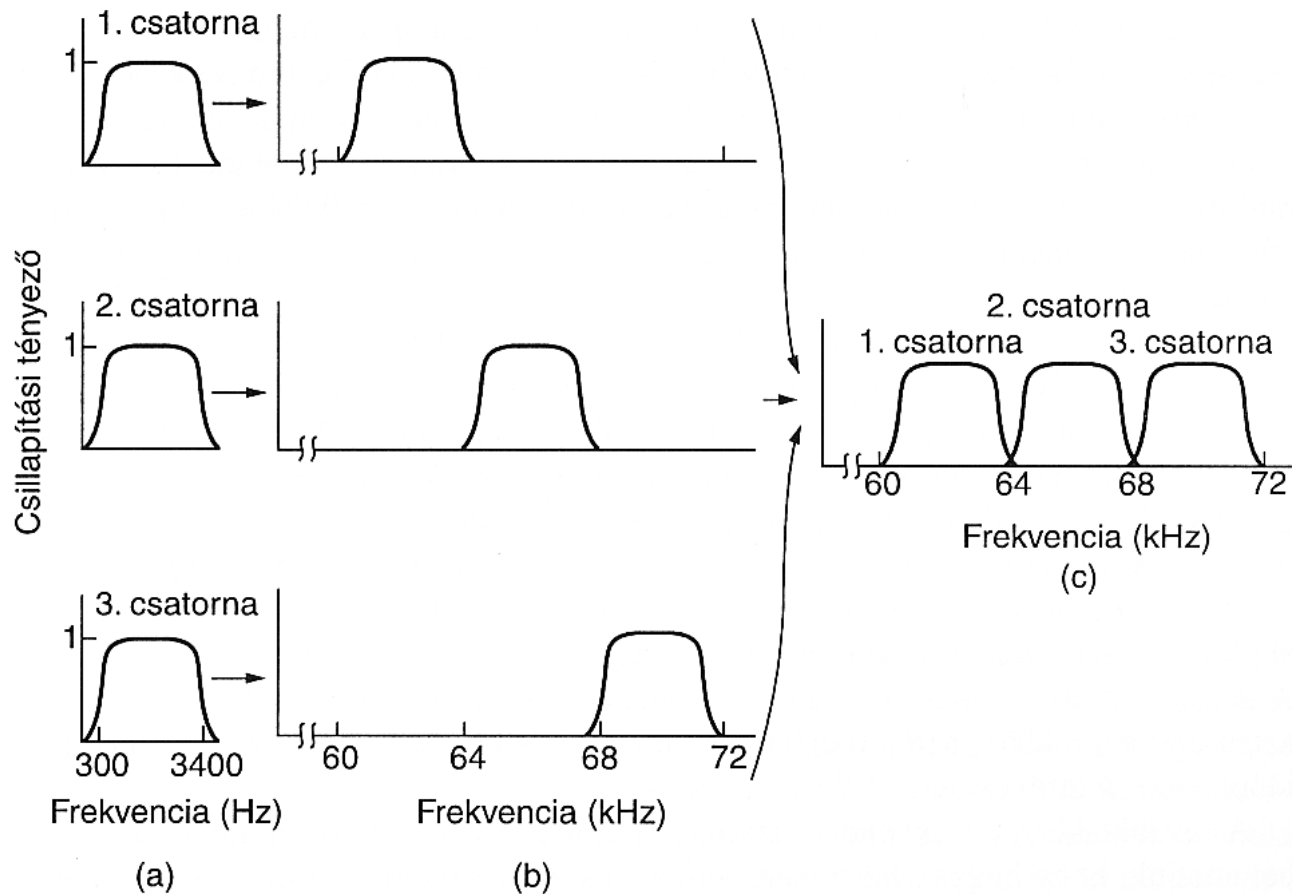


- TDM: Time Division Multiplexing, időosztásos nyalábolás



# FDM példa

## □ Példa: beszédsávi jel, FDM

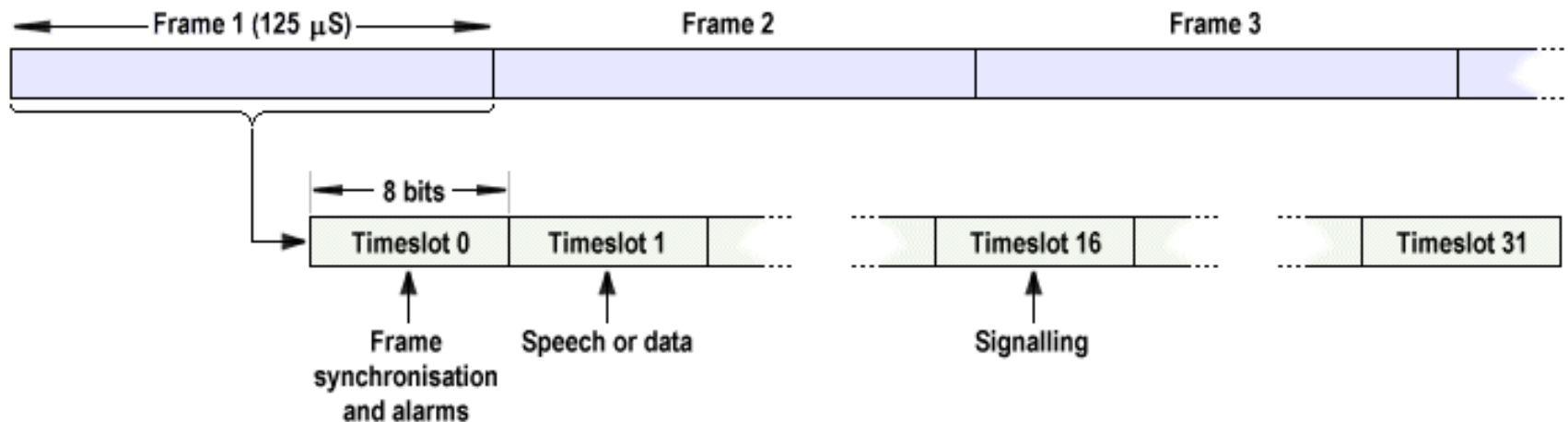


**2.31. ábra.** Frekvenciaosztásos multiplexelés. (a) Az eredeti sáv szélességek.

(b) A frekvenciatartományban eltolt sáv szélességek. (c) A multiplexelt csatorna

# TDM példa

- ❑ Példa: PDH E1 beszédátvitel: 30 beszélgetés csatornánként
- ❑ 32 időrés/keret
- ❑ 8 bit/időrés
- ❑ 0. időrés: szinkronizáció
- ❑ 16. időrés: jelzésátvitel
- ❑ maradék 30 időrés: 1-1 beszédcsatorna



# Többszörös közeghozzáférés (multiple access)

---

- Tulajdonképpen ugyanez az elv: ki mikor/hogyan férhet a közeghez
  - FDMA: frequency division multiple access, frekvenciaosztásos többszörös hozzáférés
  - TDMA: time division multiple access, időosztásos többszörös hozzáférés
  - CDMA: code division multiple access, kódosztásos többszörös hozzáférés
- A CDMA érdekes:
  - egy időben, egy frekvencián kommunikál több adó (!)
  - mégis megértik a vevők: különböző ún. kódokat használnak
  - részletesebben majd a 3G mobiloknál lesz erről szó