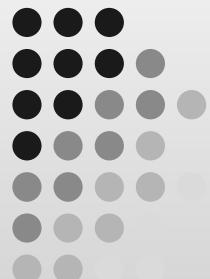


Híradástechnika I.

- Dr. Lukács György
- Mágel Gábor
- Wührl Tibor

HTI - 2006



Híradástechnika fogalma



Jelek tárolása, továbbítása átalakítása és feldolgozása. Azon (elektronikus) műszaki megoldások összessége, amelyek segítségével információt tudunk átvinni bármely két pont között, bármilyen távolságra, lehetőség szerint kis torzítással és hibával, ésszerű költségek mellett.

<u>Információ fajta</u>	<u>Szolgáltatás</u>
Beszéd	Telefon, távkonferencia rádióműsor, Call center infók, stb.
Zene	Rádió műsor, speciális zene csatorna
Szöveg	Távirat, telex, e-mail
Állókép	Fax, számítógépes képek
Mozgókép	TV
Adat	Távmérés Távfelügyelet Távezérlés Számítógép hálózatok



A fejlődés legfontosabb fejezetei

A felfedezés időpontja	Feltaláló(k)
Telefon 1876	A.G. Bell
Rádióhullámok 1887-1907	H. Hertz, A Popov, G. Marconi
Televízió 1936	British Broadcasting Co. (BBC)
Rádiótelefon 1946	Cellás rendszer, Bell Laboratórium
Számítógép 1946	Electronic Numeric Integrator and Computer (ENIAC) University of Pennsylvania
Távközlési műhold 1962	Telstar, Bell Laboratórium
Tároltprogram-vezérlésű telefonközpont 1965	No. 1. ESS, Bell Laboratórium
Mikroprocesszor 1971	Intel Corp.
Fényvezető kábel 1977	Corning Glass Works
Lokális számítógép hálózatok	Ethernet, Xerox-Intel-DEC

3



A Híradástechnika elméleti alapjainak kialakulása

Ismeret	Meghatározó személyek
Hálózatelmélet	Ohm 1827, Kirchoff 1847, Heaviside 1900, Bode 1945
Elektromágneses térelmélet	Maxwell 1873
Forgalomelmélet	Erlang 1917
Jelátvitel, moduláció	Nyquist, és Hartley 1920-28 Amstrong (FM) 1936, Reekecs (PCM) 1937
Hálózatszintézis	Foster 1924, Cauer 1926-44 Brune 1931, Darlington 1939
Statisztikus hírközléselmélet	Rice, Wiener, Kotelnikov 1944-47
Információelmélet és kódolás	Shannon, Hamming 1948-50
Jelfeldolgozás	Cooley és Tukey (FFT) 1965

4

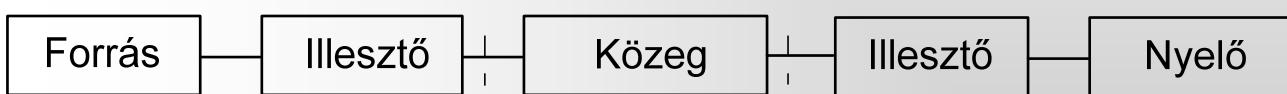
Kiemelkedő magyar alkotók a híradástechnikában



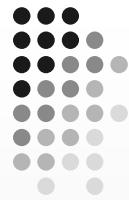
Alkotók	Alkotásaik
Puskás Tivadar (1844-1893)	Telefonközpont 1878, Telefonhírmondó 1893
Pollák Antal (1865-1943)	Gyorstávíró 1898
Virág József (1870-1901)	
Békésy György (1899-1972)	Hallási folyamatok kutatása (Nobel díj 1961) Elektronikus számítógép elve
Neumann János (1903-1957)	
Bay Zoltán (1900-1992)	Radarjel visszaverődése a holdról 1946
Gábor Dénes (1900-1972)	Holográfiai módszer felfedezése (Nobel díj 1971)
Kozma László (1902-1983)	Telefonközpontok tervezése, számítógép építés
Rényi Alfréd (1921-1970)	Információelmélet

5

Az információ továbbítás modellje



6

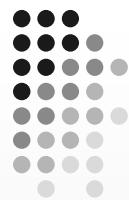


Jelek és osztályozásuk

Jel: Helytől és időtől függő fizikai mennyiségek ill. matematikai modelljeik, amelyeknek az adott alkalmazásban jelentése van.

Pl.: $u(t)$, $u(t;r)$, $i(t;r)$, $p(\text{hangnyomás})(t;r)$,
 $I(\text{képlemez elfeketedés, intenzitás})(t,r)$
Matematikai modell: függvény,
függvénysereg
általában skalár (gyakran komplex)

7



Jelek leírása és osztályozása

Analóg jel: $y=f(t)$ – folytonos az értelmezési tartomány és az értékkészlet is.

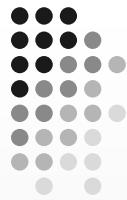
Digitális jel: a pillanat értékek amplitúdóban diszkrétek, digitális jel időben is diszkrét.
(nem függvény, inkább sorozat)

Digitális számítógéppel csak digitális jelek kezelhetők.

Más osztályozás:

- Determinisztikus jelek (függvények)
- Sztochasztikus jelek (függvényhalmaz)

8

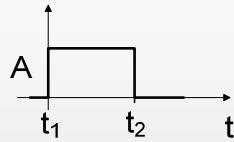


Determinisztikus jelek

Leggyakrabban használtak:

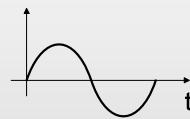
Véges idejű jel:

$$x(t) = A(t) = A(\varepsilon(t_1) - \varepsilon(t_2)) \\ t_1 \leq t \leq t_2$$



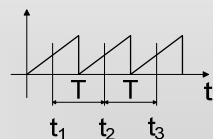
Harmonikus jel:

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$$



Periódikus jel:

$$x(t) = x(t+T) = x(t+2T) \dots$$

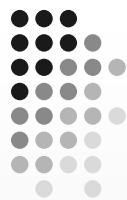


Kváziperiodikus jel:

$$x(t) = \sum_i A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i)$$

ha az ω_i körfrekvenciák viszonya nem racionális szám.

9



Jelek spektrális felbontása

$x(t)$ folytonos, T szerint periodikus jel , ekkor

$$x(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} X_i \cdot e^{j\omega_i t} \quad \text{ahol } \omega_i = i \cdot \omega_0$$

$$X_i = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot e^{-j\omega_i t} dt$$

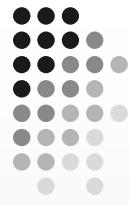
Abszolút integrálható jeleknel (ha $\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)| dt < \infty$)

$x(t)$ előállítható: $x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega$ ahol

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt$$

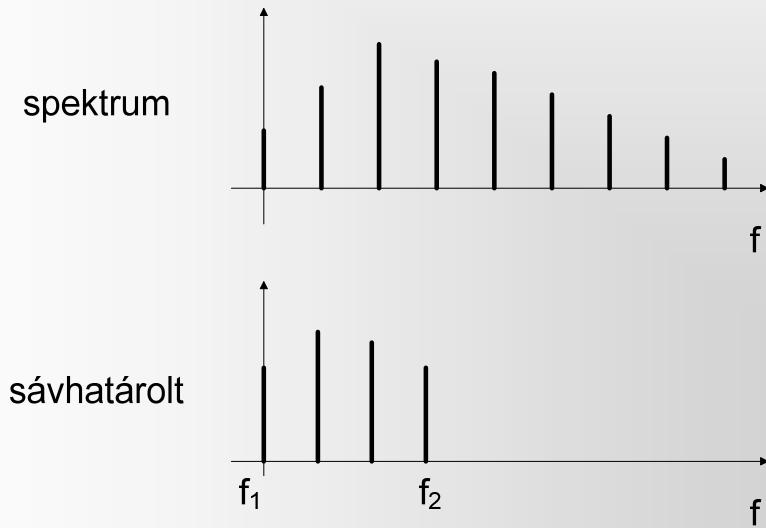
Az $X(\omega)$ függvényt az $x(t)$ jel Fourier-transzformáltja.

10

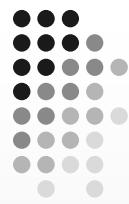


Sávhatárolt jel

$x(t)$ sávhatárolt $f_1 < f_2$ frekvenciák között, ha a spektrum összetevők az $[f_1, f_2]$ és a $[-f_1, -f_2]$ intervallumokon kívül zérus súlyúak.



11



Sztochasztikus folyamatok

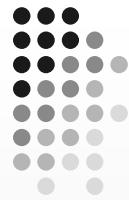
A jel időfüggvénye valószínűségi változóktól is függ.

ξ véletlen jel. Mekkora a felvett értéke t időpontban?

Valószínűség: $F_\xi(x,t) = P(\xi_i \leq x)$
ahol ξ_i valószínűségi változó

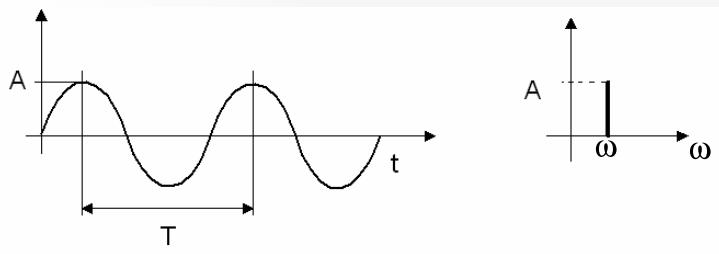
F_ξ kétváltozós függvény a ξ folyamat egydimenziós eloszlásfüggvénye (amplitúdóeloszlás).

12



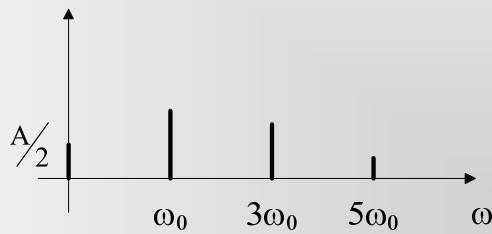
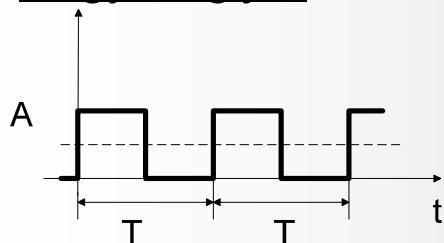
Legfontosabb jelek és spektruma

Szinuszos jel:



$$f = \frac{1}{T}, \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Négyszög jel:

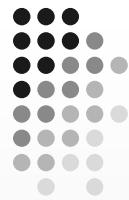


$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

$$C(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \left(\sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right)$$

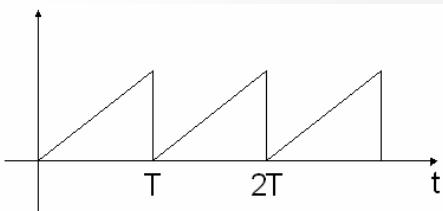
13

Legfontosabb jelek és spektruma

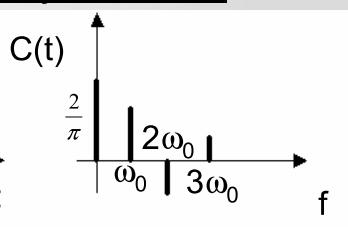
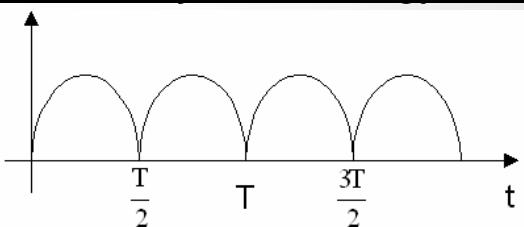


Fűrészjel:

$$C(t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left(\sin \omega_0 t + \frac{1}{2} \sin 2\omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \dots \right)$$

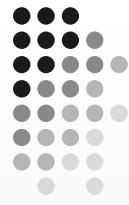


Szinuszos jel kétutas egyenírányítás után:



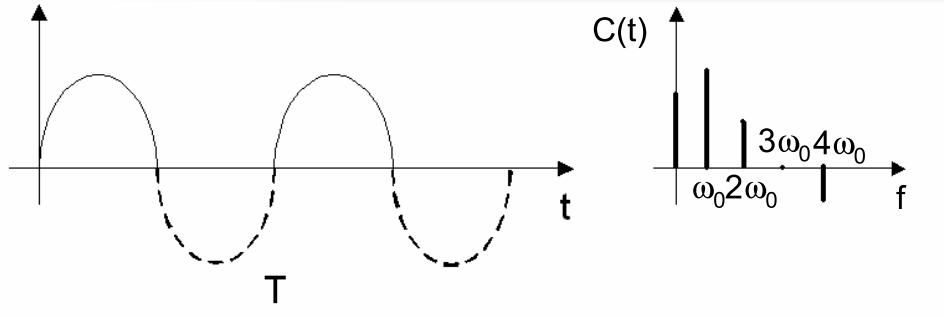
$$C(t) = \frac{2}{\pi} + \frac{4}{\pi} \left(\frac{1}{1 \cdot 3} \sin \omega_0 t - \frac{1}{3 \cdot 5} \sin 2\omega_0 t + \frac{1}{5 \cdot 7} \sin 3\omega_0 t - \dots \right)$$

14

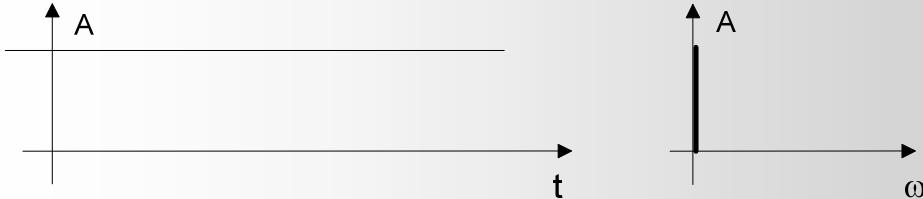


Legfontosabb jelek és spektruma

Szinuszos jel együtas egyenirányítás után

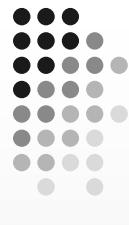


$$C(t) = \frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \omega_0 t + \frac{2}{\pi} \left(\frac{1}{1 \cdot 3} \sin 2\omega_0 t - \frac{1}{3 \cdot 5} \sin 4\omega_0 t + \dots \right)$$



15

Alapsávi jelek Beszédjel



Fonéma: írásban egy vagy több betűvel jelzett önálló hangtani egység.

kb. 40 db, információtartalma $\log_2 40 = 5,3$ bit

Emberi beszéd: 3 szótag/s, 2-3 fonéma/szótag

A szükséges átviteli sebesség <50 b/s.

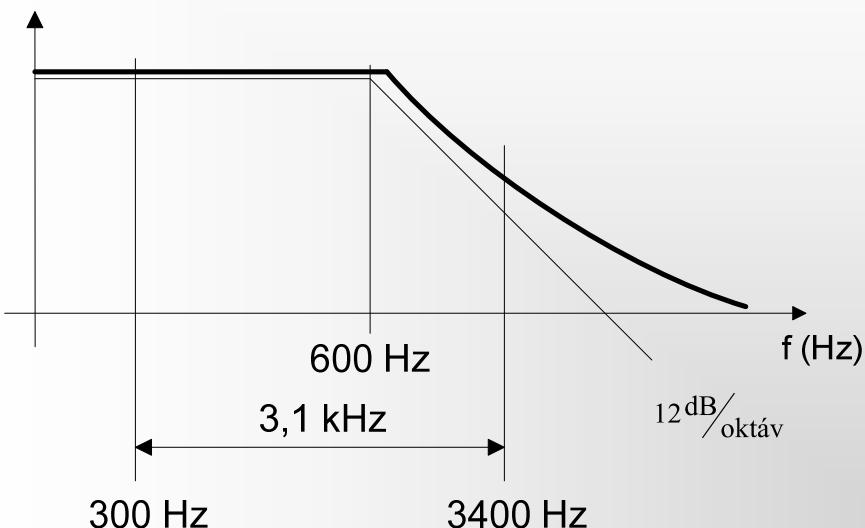
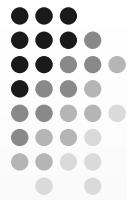
De, passzív szakaszok, nincs kihasználva a fonémák összes lehetséges kombinációja, redundancia, ezért a tényleges információtartalom 12 b/s.

A fül-agy vételi képessége kb. 50 b/s.

16

Alapsávi jelek

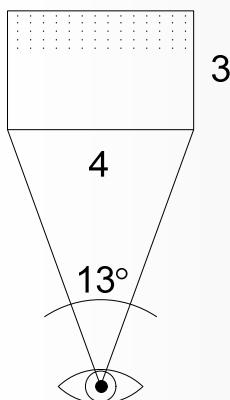
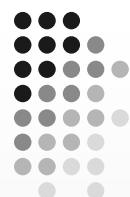
Beszéd spektrumsűrűsége



A zenei hangátvitel frekvencia igénye jóval nagyobb.

17

Videojel



625 sor, 25 kép/sec

$625 \times 625 \times 25 \times 4/3 \sim 13$ millió
képpont/ sec feldolgozása
szükséges

8 bites kvantálás

A Videojel kódolási sebessége 108 Mb/s

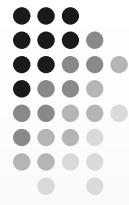
Három alapszínrre $3 \times 108 = 324$ Mb/s

Jelkezeléssel és tömörítéssel:

MPEG 2 eljárással 3 9Mbit/s

Léteznek kisebb igényű megoldások

18

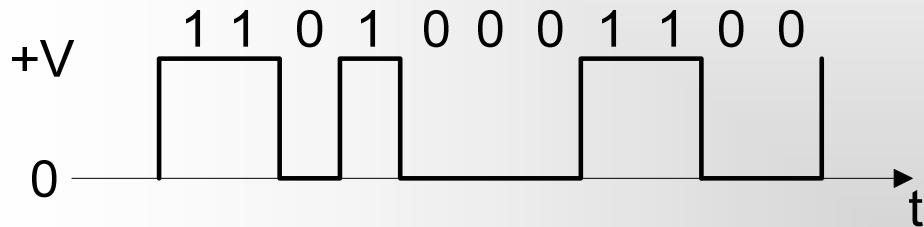


Adatjel

Elektromos áram megléte, vagy hiánya \Rightarrow Morse

Morse ABC, rövid és hosszú áramjelek, különböző hosszú szünetjelek.

Bináris szimbólumrendszer:

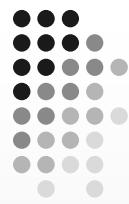


Az átviteli csatorna torzító hatású.

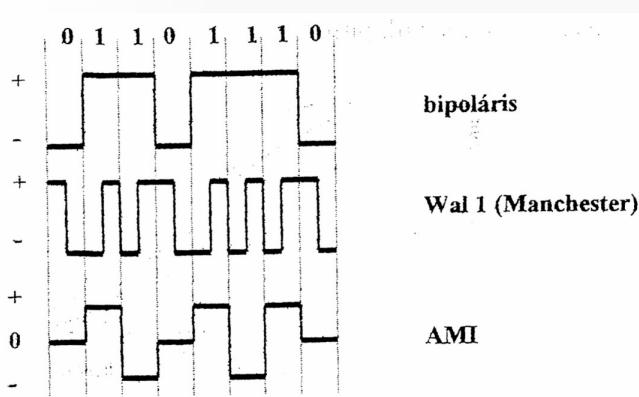
Ezért és egyéb műszaki okok miatt kedvezőbbé kell tenni:

- kódolás
- megfelelő karakterisztikájú csatorna

19



Alapsávi vonali kódolás



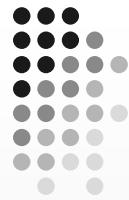
Bipoláris: jelentős kisfrekvenciás összetevők, a vonali jel elmosódik, szinkronizálás nehézkes

WAL 1 (WALSH függvény)

AMI (Alternate mark inversion) (egymás után következő logikai 1-ek előjelét váltogatja)

Előnyök: jobb spektrum, nincs egyenáramú összetevő

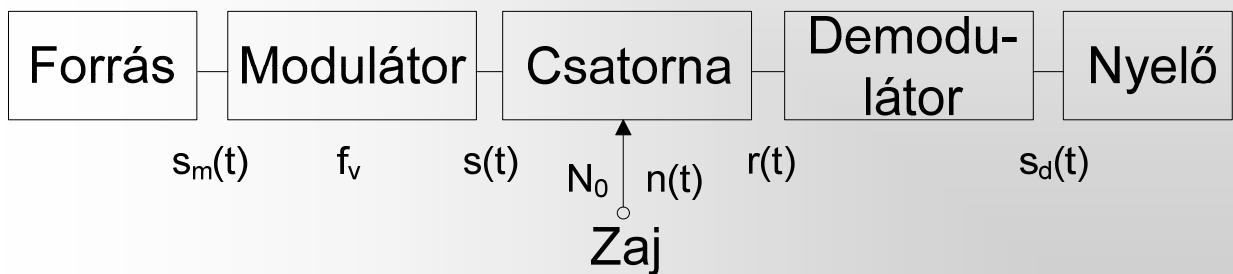
20



Alapsávi vonali kódolás

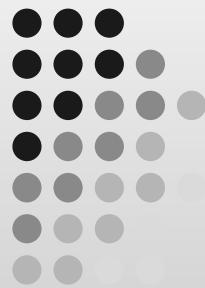
Nagyon sok alapsávi vonali kódolás létezik.

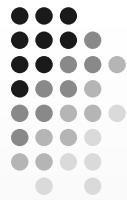
Általában nem áll rendelkezésre alapsávi
(aluláteresztő jellegű) csatorna.



Analóg és digitális mód, rendszerek blokkvázlata 21

Modulációk





Analóg modulációs eljárások

$s_m(t)$	– moduláló jel (információ)
f_v	– vivőfrekvencia
$s(t)$	– modulált jel
$r(t)$	– modulált jel és a csatorna zaja
$s_d(t)$	– demodulált jel

Legyen a modulált jel

$$s(t) = a(t) \cos(\varphi(t)) \quad \text{ahol}$$

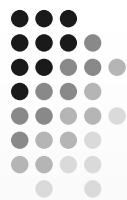
$a(t)$ – a vivő pillanatnyi amplitúdója

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt}, \quad \omega_p(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}$$

$\varphi(t)$ – a vivő pillanatnyi fázisa

f_p, ω_p a vivő pillanatnyi frekvenciája, körfrekvenciája

23



Amplitúdó moduláció

Elvileg $a(t)$ és $\varphi(t)$ akár egyszerre is változhat.

Amplitúdó moduláció: $a(t) \neq \text{konst.}$ $f_p = \text{konst.}$

Szögmóduláció: $a(t) = \text{konst.}$ $f_p \neq \text{konst.}$

AM jel az idő és frekvencia tartományban:

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega_p dt = \omega_p \int_0^t dt + \varphi_0 \quad (\omega_p = 2\pi f_p)$$

$$f_p = f_v \quad \text{tehát} \quad \varphi_{AM} = \omega_v t + \varphi_0$$

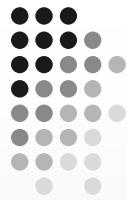
Az amplitúdó modulált jel:

$$S_{AM}(t) = a(t) \cos[\varphi(t)] = a(t) \cos(\omega_v t + \varphi_0) \quad \text{legyen } \varphi_0 = 0$$

$$S_{AM}(t) = a(t) \cos(\omega_v t)$$

Legyen $a(t)$ sávhatárolt $f_{max} = f_M$

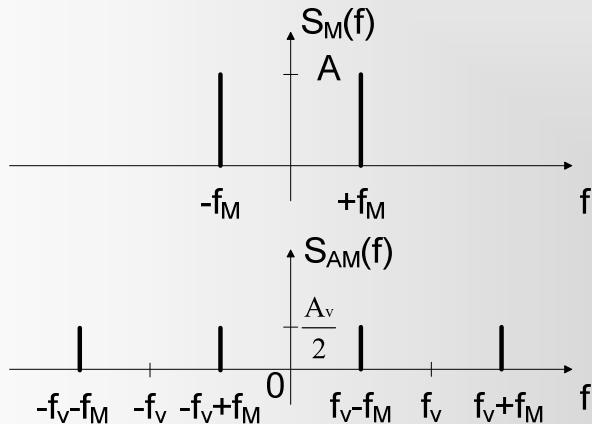
24



Amplitúdó moduláció

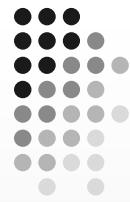
$A(f)$ legyen az $a(t)$ Fourier transzformáltja. Ekkor a modulált jel Fourier transzformáltja:

$$S_{AM} = \int_{-\infty}^{+\infty} s_{AM}(t) e^{-j\omega t} dt = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) \cos_v e^{-j\omega t} dt = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) e^{-j(\omega+\omega_v)t} dt + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) e^{-j(\omega-\omega_v)t} dt$$



25

AM jelek szinuszos moduláció esetén



Legyen $s_m(t) = U_m \cos(\omega_m t)$

$a(t) = U_v + U_m \cos(\omega_m t)$

ahol U_v a konstans modulálatlan
vivőhullám amplitúdó.

$$\begin{aligned} S_{AM}(t) &= a(t) \cos(\omega_v t) = [U_v + \cos(\omega_m t)] \cos(\omega_v t) = \\ &= U_v \cos(\omega_v t) + U_m \cos(\omega_m t) \cos(\omega_v t) \end{aligned}$$

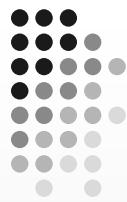
ez áthidalható

$$S_{AM}(t) = U_v \cos(\omega_v t) + \frac{U_m}{2} \cos[(\omega_v + \omega_m)t] + \frac{U_m}{2} \cos[(\omega_v - \omega_m)t]$$

26

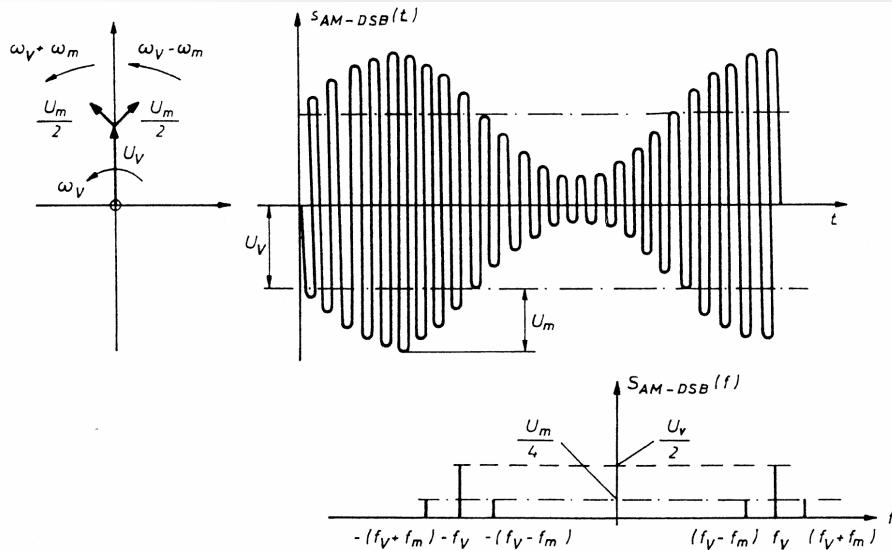
AM-DSB

(kétoldalsávos amplitúdó moduláció)



Sávszélesség: $f_B = 2f_M$

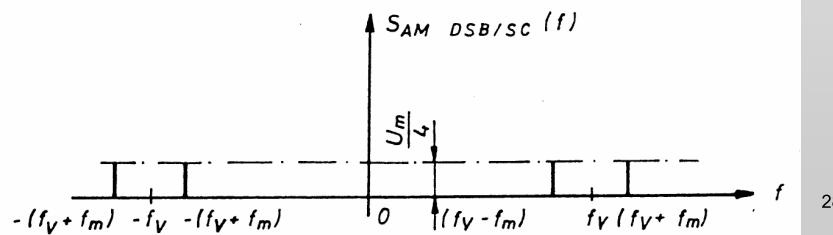
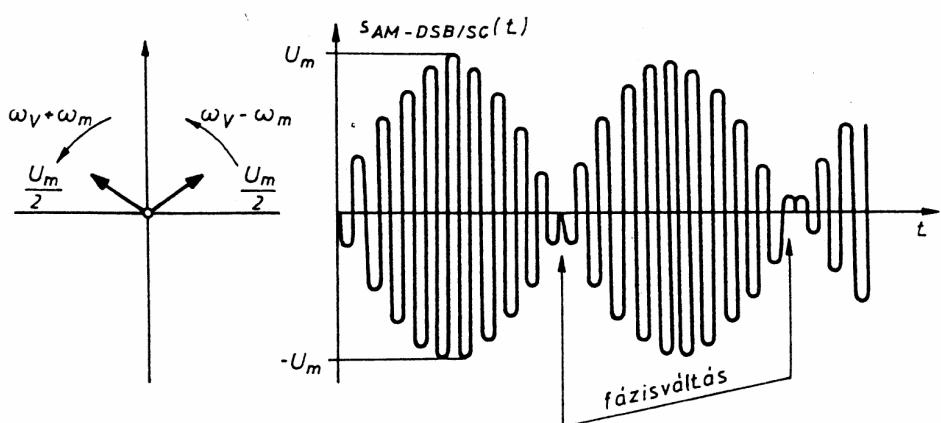
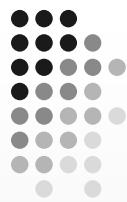
Modulációs mélység: $m_a = \frac{U_m}{U_v}$



27

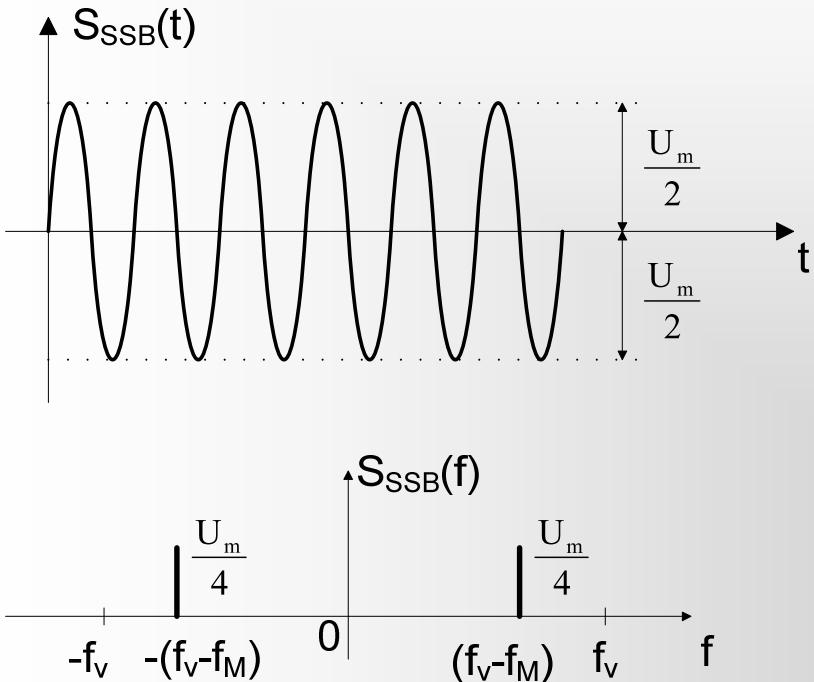
AM-DSB/SC

(elnyomott vivőjű kétoldalsávos ampl. mod.)



28

AM-SSB/SC (elnyomott vivőjű egyoldalsávos ampl. mod.)

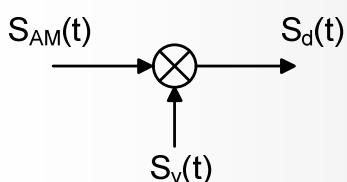


29

AM jelek demodulálása



Általában szorzóáramkörrel, de az AM-DSB un.
Burkolódetektorral is demodulálható.

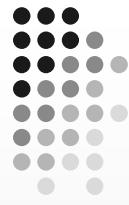


$$S_d(t) = S_{AM}(t) \cdot \cos(\omega_v t + \varphi) = a(t) \cos(\omega_v t) \cdot \cos(\omega_v t + \varphi) =$$

$$= \frac{a(t)}{2} \cdot \cos \varphi + \frac{a(t)}{2} \cdot \cos(2\omega_v t + \varphi)$$

$\varphi=0$ -nál $\frac{a(t)}{2}$

Szűrővel
leválasztható! 30



Szögmodulációk

A vivő amplitúdója $a(t)$ állandó, pillanatnyi frekvenciája f_p (és ezzel együtt a pillanatnyi fázis) változik a moduláló jel szerint.

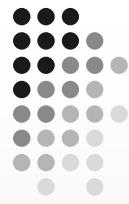
A moduláló jel lineáris kapcsolatban lehet mind a pillanatnyi frekvenciával, mind a pillanatnyi fázisszöggel.

$$\text{ha } f_p = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} = k_{FM} s_m(t) + f_v \quad - \text{frekvencia moduláció}$$

$$\text{ha } \phi(t) = k_{PM} \cdot s_m(t) + \omega_v t \quad - \text{fázismoduláció}$$

k_{FM} és k_{PM} dimenziós állandók

31

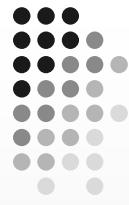


Szögmodulációk Frekvencia moduláció

Általánosan az FM jel:

$$\begin{aligned} S_{FM}(t) &= a(t) \cos(\phi(t)) = U_v \cos \left[2\pi \left(\int_0^t f_p d\tau \right) \right] = \\ &= U_v \cos \left[2\pi \left(f_v t + k_{FM} \int_0^t s_m(\tau) d\tau \right) \right] = U_v \cos \left[\omega_v t + 2\pi k_{FM} \int_0^t s_m(\tau) d\tau \right] \end{aligned}$$

32



Szögmodulációk

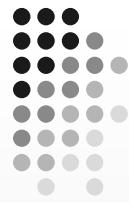
Legyen $s_m(t) = U_m \cos(\omega_m t)$

$$\begin{aligned} S_{FM}(t) &= U_v \cos \left[\omega_v t + 2\pi k_{FM} \int_0^t U_m \cos(\omega_m \tau) d\tau \right] = \\ &= U_v \cos \left[\omega_v t + \frac{k_{FM} 2\pi U_m}{\omega_m} \sin(\omega_m t) \right] = U_v \cos \left[\omega_v t + \frac{k_{FM} U_m}{f_m} \sin(\omega_m t) \right] \end{aligned}$$

A továbbításra szánt jelet az U_v állandó amplitúdójú szinuszos vivőhullám úgy hordozza, hogy a vivő pillanatnyi frekvenciája egy közepes f_v érték körül ingadozik a moduláló jel nagyságának megfelelően.

A moduláló jel amplitúdójának megfelel az f_v -től számított maximális frekvenciaeltérés (frekvencialöket) míg a moduláló jel frekvenciáját az adja, hogy másodpercenként hányszor (lengi) körül a pillanatnyi frekvencia a vivőfrekvenciát.

33



Szögmodulációk

$k_{FM} \cdot U_m = f_D$ max frekvencia löket (deviancia, eltérés).

Ezzel a frekvenciamoduláció pillanatnyi frekvenciája:

$$f_p = k_{FM} s_m(t) + f_v = k_{FM} U_m \cos(\omega_m t) + f_v = f_v + f_D \cos(\omega_m t)$$

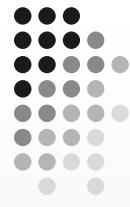
f_D – a pillanatnyi frekvenciának a maximális eltérése a közepestől, a modulálatlan f_v -től.

$$a \quad \frac{k_{FM} U_m}{f_m} = \frac{f_D}{f_m} = m_f \quad - \text{frekvenciamodulációs tényező}$$

34

Szögmodulációk

Fázismoduláció



Általánosan a PM jel:

$$S_{PM}(t) = a(t) \cos[\varphi(t)] = U_v \cos(\omega_v t + k_{PM} s_m(t))$$

$$S_m(t) = U_m \cos(\omega_m t)$$

$$S_{PM}(t) = U_v \cos(\omega_v t + k_{PM} U_m \cos(\omega_m t))$$

$m_p = k_{PM} U_m$ – fázis modulációs tényező

m_p megadja radiánban a modulált vivőhullám max. fáziseltérését a modulálatlanhoz képest (szokás fázislöketnek is nevezni)

35

Szögmodulációk



Az FM jel sávszélessége:

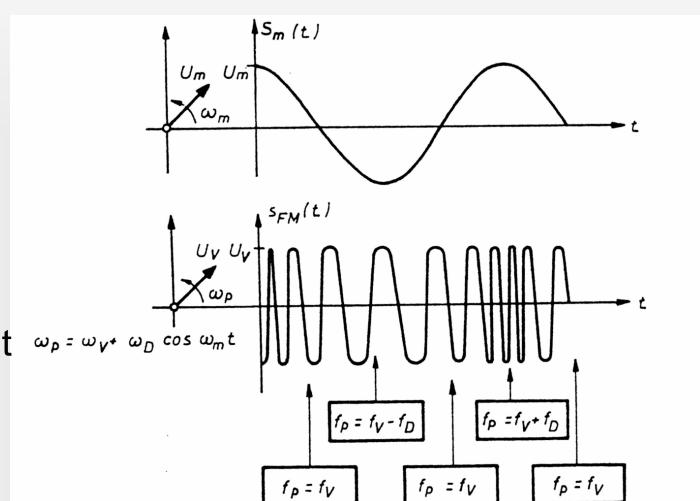
$$f_B = 2\alpha f_m$$

Ahol

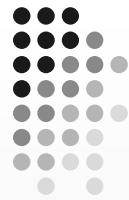
$$\alpha = 1 \quad \text{ha} \quad m_f < 0,1$$

$$\alpha = m_f \quad \text{ha} \quad m_f > 10$$

$$\alpha = 1 + m_f + \sqrt{m_f} \quad \text{ha} \quad \text{egyébként}$$

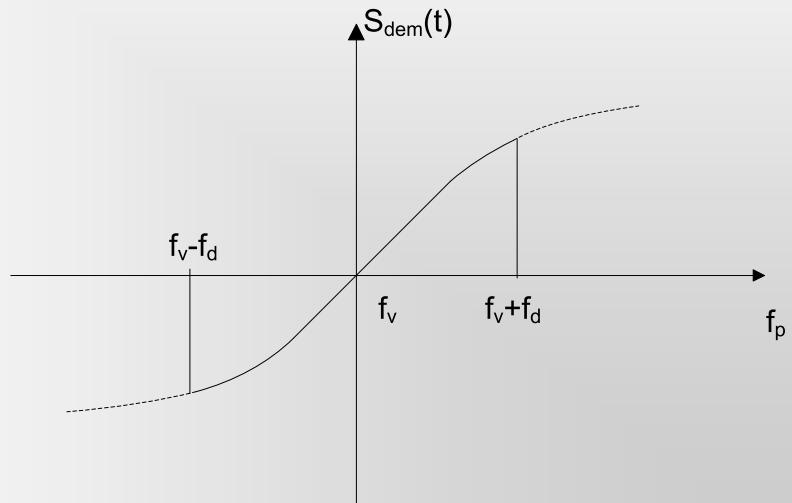


36



FM jel demodulálása

Olyan áramkör szükséges amelynek kimenetén a bemenetre adott jel pillanatnyi frekvenciájával arányos feszültség jelenik meg: Frekvenciadiszkriminátor



37

FM jel demodulálása

$$S_{FM}(t) = U_v \cos \left[\omega_v(t) + 2\pi k_{FM} \int_0^t s_m(\tau) d\tau \right]$$

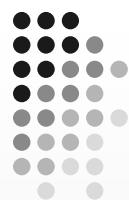
Az ideális frekvenciadiszkriminátor kimenetén a demodulált jel:

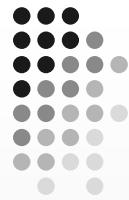
$$S_{dem}(t) = k_{diszkr} \cdot 2\pi f_p = k_{diszkr} \cdot 2\pi [f_v + k_{FM} \cdot s_m(t)]$$

mivel a pillanatnyi frekvenciát a koszinuszfüggvény argumentumának, $\phi(t)$ -nek az idő szerinti deriváltja adja.

Gyakorlatban: differenciáló áramkör, majd burkolódetektorral szedhető le az eredeti moduláló jel

38





Digitális modulációk

Alapsávi modulációs rendszerekről a vonali kódolásnál volt szó.

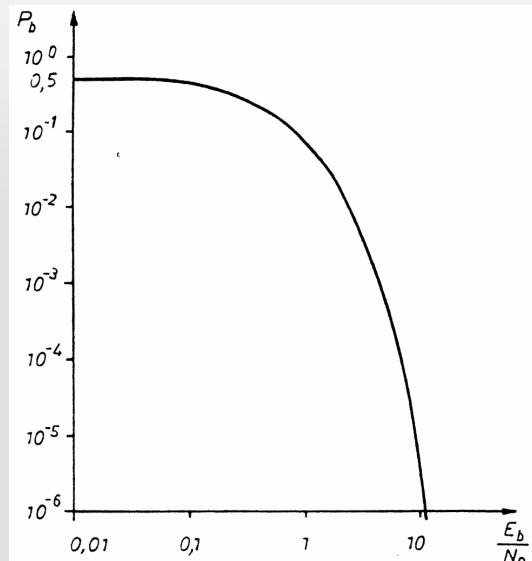
A digitális információ hordozója szerint:

PAM – impulzus amplitúdó moduláció

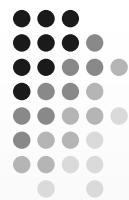
PDM – impulzusidőtartam moduláció

PPM – impulzushelyzet moduláció

Fontos paraméter: a bithibaarány (P_b)

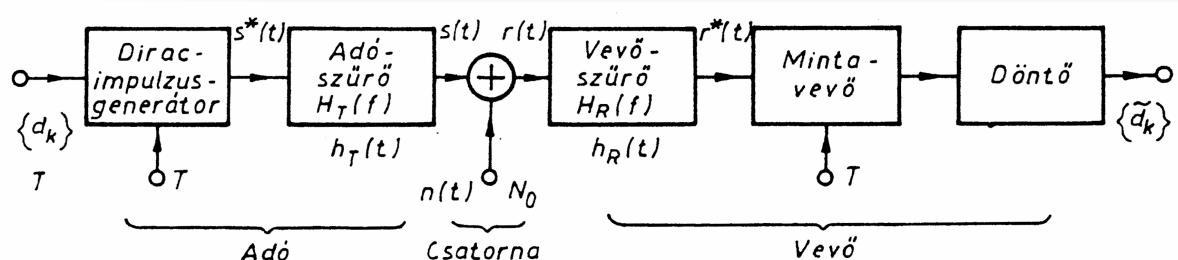


E_b – bitidőre eső energia
 N_0 – zaj energia

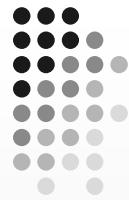


Digitális modulációk

Alapsávi digitális átviteli rendszer:



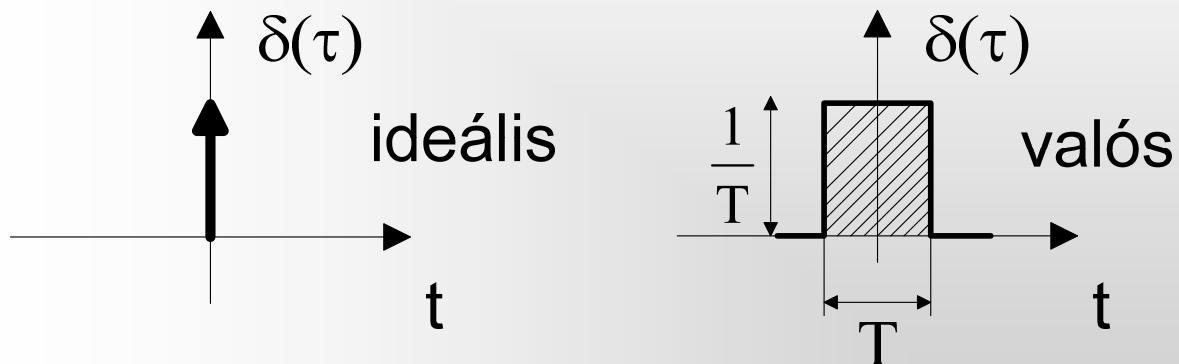
- d_k T időpillanatban vezérli a Dirac imp.gen.-t
- adószűrő impulzus formáló (sávhatárolás)
- $n(t)$ fehér Gauss-zaj
- $r(t) = s(t) + n(t)$
- $H_r(f)$ vevőszűrő zajhatárolás és a jel T időnkénti minták rendre csak egy bemeneti szimbólum értékétől függjenek (csak egy különbözik nullától, a többi nulla)



Digitális modulációk

Alapsávi digitális átviteli rendszer

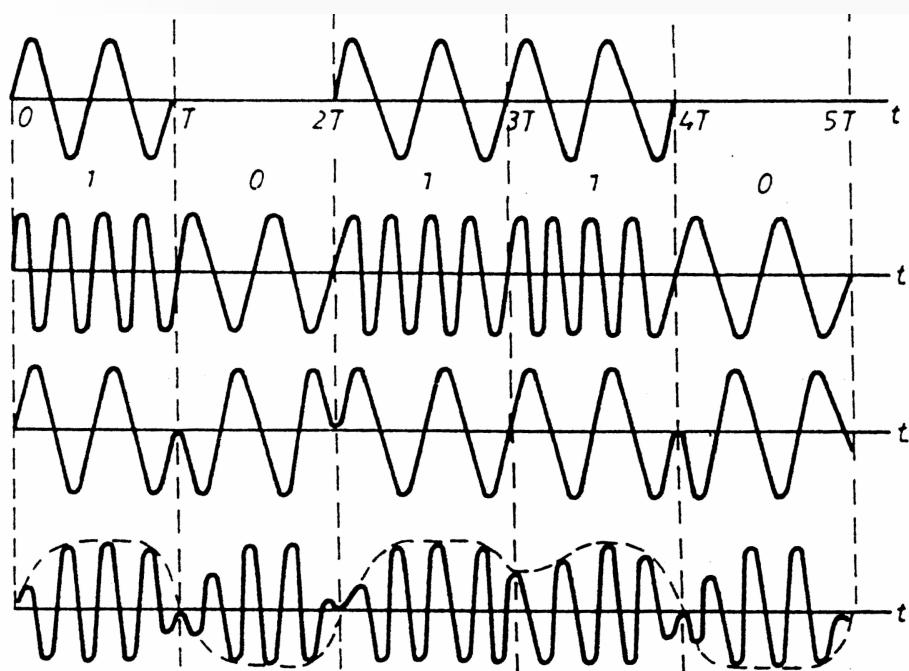
Dirac impulzus:



Minimális sávszélesség: $B = \frac{1}{2T}$

41

Digitális modulációk Vivőfrekvenciás digitális modulációs rendszerök

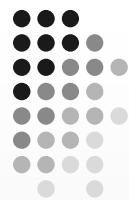


ASK

FSK

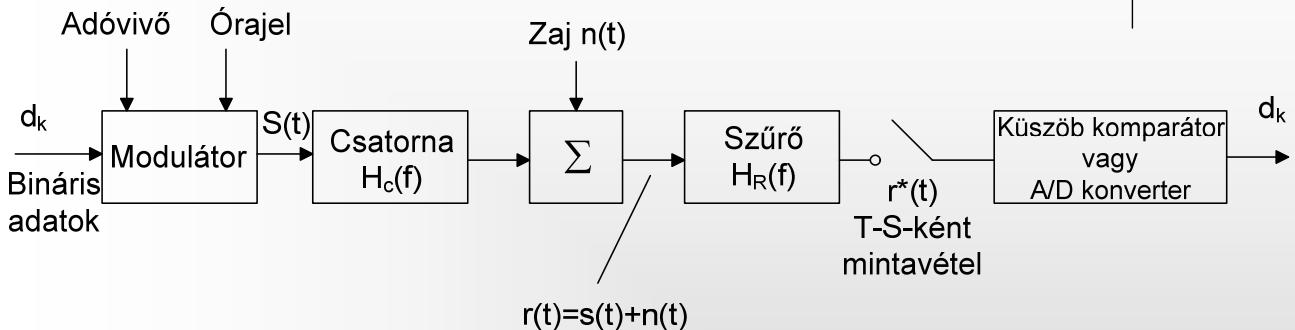
PSK

AM-DSB
A moduláló jel
alapsávi
Impulzus
formálás után¹²





Digitális modulációk



ASK – Optikai átvitelnél intenzitás moduláció

FSK – távbeszélő vonalon kétirányú összeköttetés Pl.:

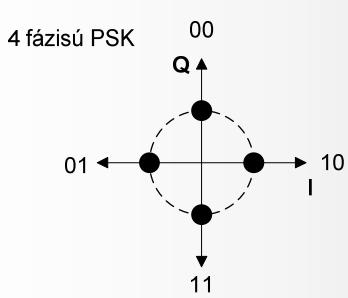
hívó: 1080Hz, hívott 1750Hz vivőfrekvencia 100 Hz → csökkentették logikai 1- ról, 100 Hz → növelték logikai 0- ról

43

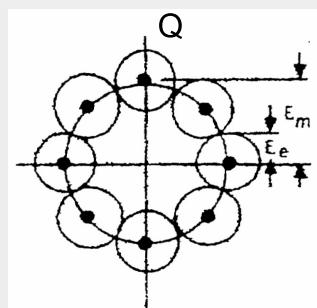


Digitális modulációk

PSK – egyfrekvenciás hordozó 2n fázishelyzetbe kódolják. Pl.: n=2



8 fázisú jellel 3 bit kódolható



Jel és zaj elválasztása
8 fázisú PSK esetén

Tovább nem növelhető így, mert nehéz a fázishelyzetek megállapítása a zaj miatt. Referencia jel szükséges, amihez a pillanatnyi fázishelyzetet viszonyítják.

44



Digitális modulációk

DPSK – differenciális fázisbillentyűzés

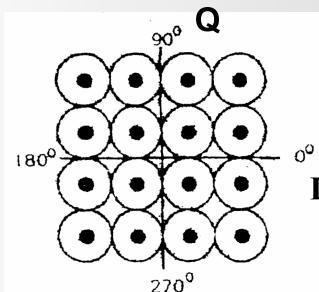
Különböző bit-konstellációknak különböző fázisugrás felel meg.

ITU-T V27 ajánlásban a 8 fázisú megoldás 4800 b/s átviteli sebességet tesz lehetővé. A szimbólumváltás gyakorisága 600/sec, azaz a moduláció sebessége 600 Baud.

QAM-(quadratura amplitudo modulation)

A PSK továbbfejlesztésének tekinthető, bár a jel előállítása és detektálása eltérően történik.

16 állapotú QAM:



Fázis és
amplitúdó is változik

45



Digitális modulációk

4 bit információ kódolható, 2400 Baud szimbólum váltási sebesség mellett 9600 b/s sebesség

Lehet az állapot 32, 64, így növelhető a sebesség 5, 6-szorosra.

Növekszik a zavarérzékenység, redundancia mentes átvitelre nem használatos.

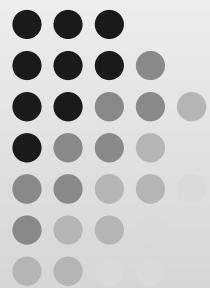
Trellis kódolás (trellis coding TCM)

Egy további redundáns bit felhasználásával (azaz minimálisan szükséges állapotok számának a megkétszerésével és egy késleltetett döntési algoritmus segítségével jelentősen jobb hibaarány érhető el).

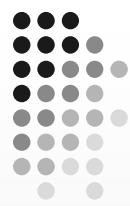
Sebesség pl.: 64kbit/s

46

Digitális jelek előállítása



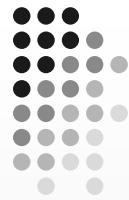
Digitális jelek előállítása



Analóg jel:

- Időben folytonos
- Halmazon (értékkészleten) folytonos

Vagyis az analóg jel értelmezési tartománya (ÉT) és értékkészlete (ÉK) időben történő reprezentáció esetén folytonos.



Digitális jelek előállítása

Analóg jelek a:

- tárolás
- feldolgozás
- továbbítás

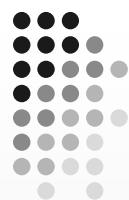
esetén sérülnek, torzulnak.

Cél:

Olyan reprezentációs forma kialakítása, mely a fenti hátrányokat:

- megszünteti
- kézben tartja

49

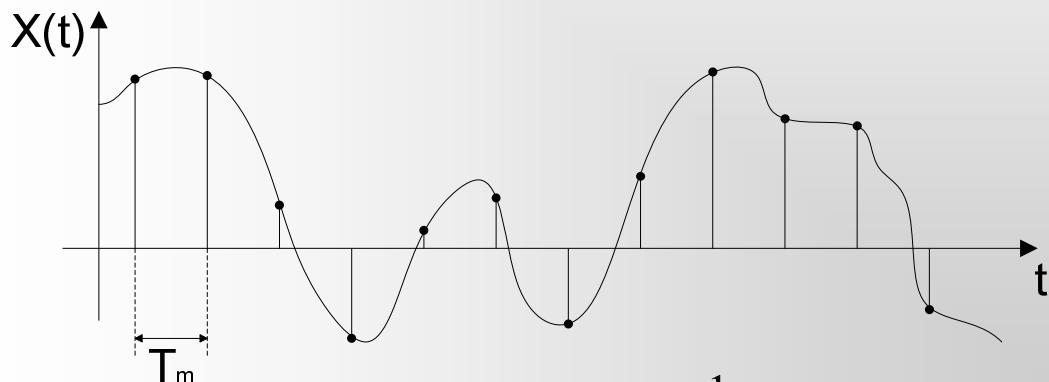


Digitális jelek előállítása

Első lépés: Mintavételezés

Az időben folytonos analóg jelet, időben diszkrétté tesszük.

Előáll a **P**ulzus **A**mplitúdó **M**odulált (PAM) jel.



Mintavételezési frekvencia: $f_m = \frac{1}{T_m}$

50



Digitális jelek előállítása

Mintavételezési frekvencia: $f_m = \frac{1}{T_m}$

Veszteségmentes jel visszaállítás, a jel mintákból akkor lehetséges, ha

$$f_m \geq 2 \cdot f_{\max}$$

feltétel teljesül.

Vagyis a mintavételi frekvencia nagyobb vagy egyenlő mint az analóg jelben előforduló legnagyobb frekvenciájú komponens (f_{\max}) kétszerese.

51

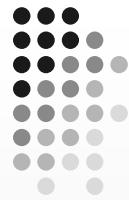


Digitális jelek előállítása

Az $f_m \geq 2 \cdot f_{\max}$ teljesülését
Shannon mintavételi tételenek, vagy
Nyquist kritériumnak szoktuk nevezni.

Shannon mintavételi tétel betartása esetén a jel mintákból az analóg jel veszteségmentesen reprodukálható!

52

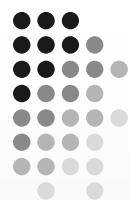


Digitális jelek előállítása

Mintavételi tételek betartása a gyakorlatban:
Az analóg jelben szereplő maximális frekvencia komponens gyakran nem definiálható, például azárt, mert a hasznos jelre zajok, zavarok, nemkívánatos komponensek ülnek additív módon.

Megoldás: Sávkorlátozás

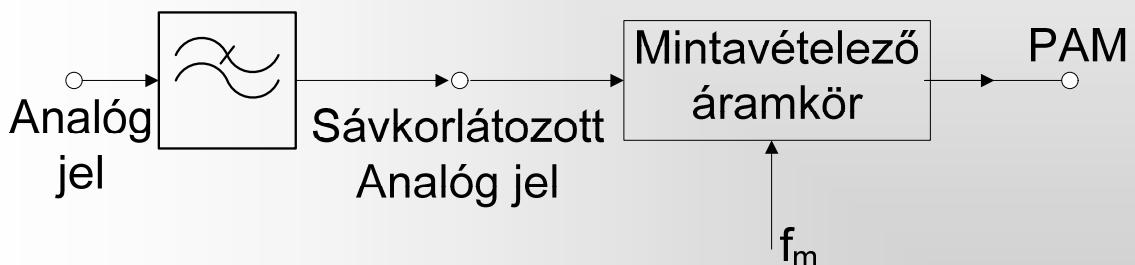
53



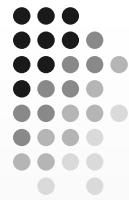
Digitális jelek előállítása

Sávkorlátozás:

A sávkorlátozás szűréssel történik (általában aluláteresztő szűrő alkalmazásával).



54



Digitális jelek előállítása

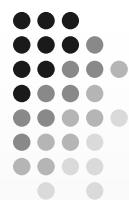
PAM jel:

- időben diszkrét
- halmazon (értékkészleten) folytonos

Ha a PAM jelet a Shannon mintavételi tétel betartásával állítottuk elő, akkor az analóg jel veszteségmentesen visszaállítható.

Ellenkező esetben átlapolódás (Aliasing) jelenség lép fel.

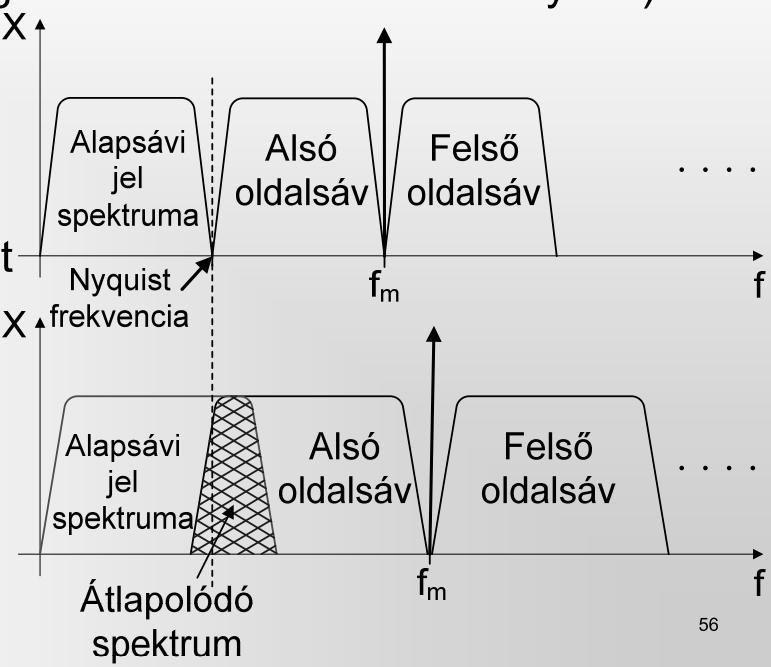
55



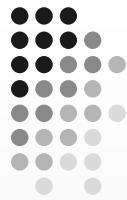
Digitális jelek előállítása

Aliasing jelenség (vizsgálata a frekvencia tartományban)

Ha az alapsávi jelben előforduló maximális frekvencia nagyobb mint a Nyquist frekvencia, akkor az alsó oldalsáv és az alapsáv átlapolódik.

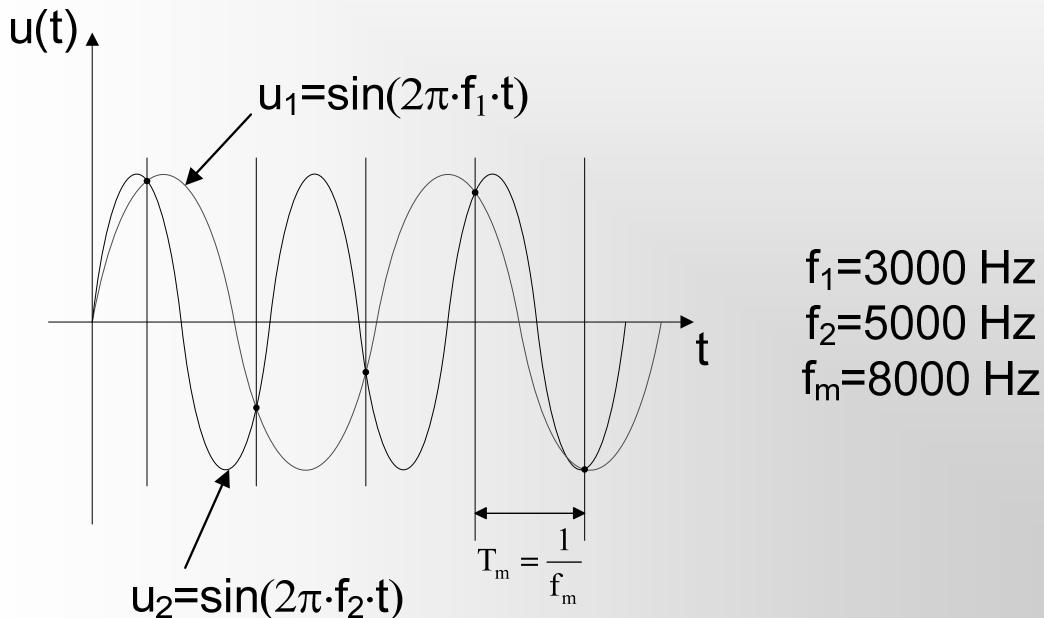


56



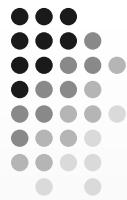
Digitális jelek előállítása

Aliasing jelenség (vizsgálat az időtartományban)



57

Digitális jelek előállítása Kvantálás és kódolás

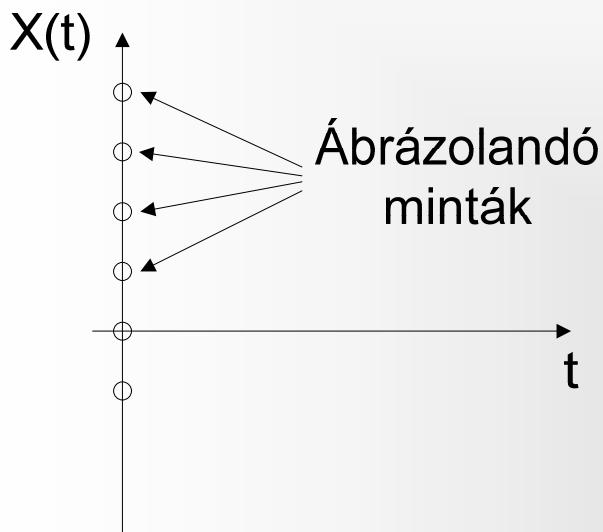
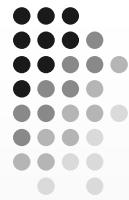


A mintavételezett jel (PAM) értékkészletét (É.K.) is diszkrétté tesszük, így előáll a digitális jel.

Az analóg jel digitalizálását modulációnak is felfoghatjuk, innen ered az elnevezés:
PCM – Pulse Code Modulation

58

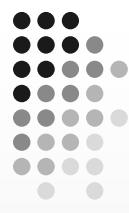
Digitális jelek előállítása Kvantálás és kódolás



A jel a továbbiakban csak az ábrázolandó pontok halmazában lesz értelmezett, vagyis értékkészlete véges „n” bitszám esetén 2^n db érték értelmezhető

59

Digitális jelek előállítása Kvantálás és kódolás

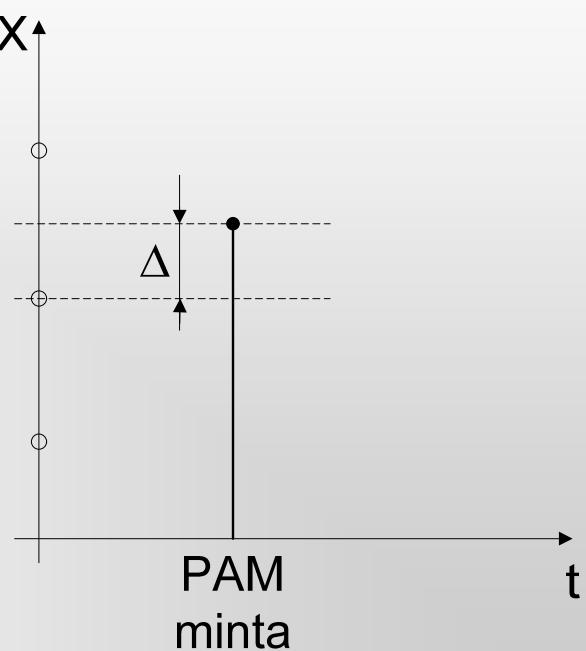


Kvantálás esetén minden mintára Δ nagyságú zaj ül.

Ha a kvantálást matematikai kerekítéssel végezzük, akkor:

$$\Delta_{\max} = \frac{\text{két szomszédos min ta közti távolság}}{2}$$

„Lépcsőfél”



60

Digitális jelek előállítása

Kvantálás és kódolás



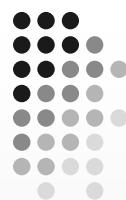
A kvantálásból eredő hiba zajként jelentkezik, ezért azt kvantálási zajnak nevezik.

A Δ értéke egyenletes eloszlású (0 és a „lépcső fél” tartományban) a rendszerben fehérzajként jelentkezik.

61

Digitális jelek előállítása

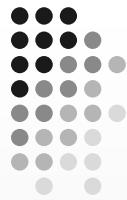
Kvantálás és kódolás



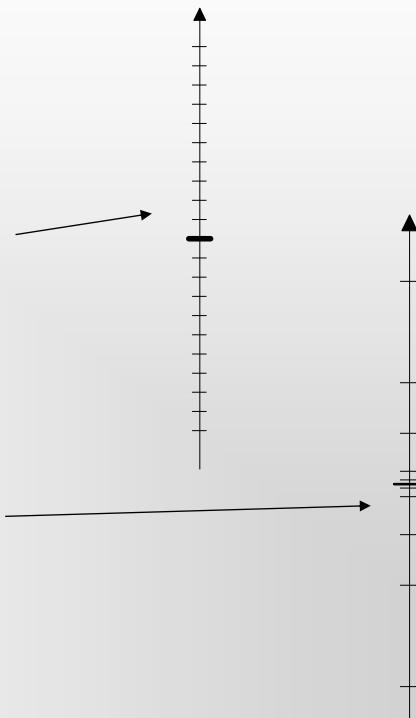
A kvantálásból eredő zaj végérvényesen a jelen marad, az onnan a későbbiekben nem távolítható el!

62

Digitális jelek előállítása Kvantálás és kódolás

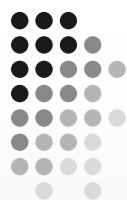


- Lineáris kvantálás
 - Ekkor az ábrázolási tartományt lineárisan osztjuk 2^n részre
- Nemlineáris kvantálás
 - Általában logaritmikus, vagy logaritmikus görbe töréspontos közelítése

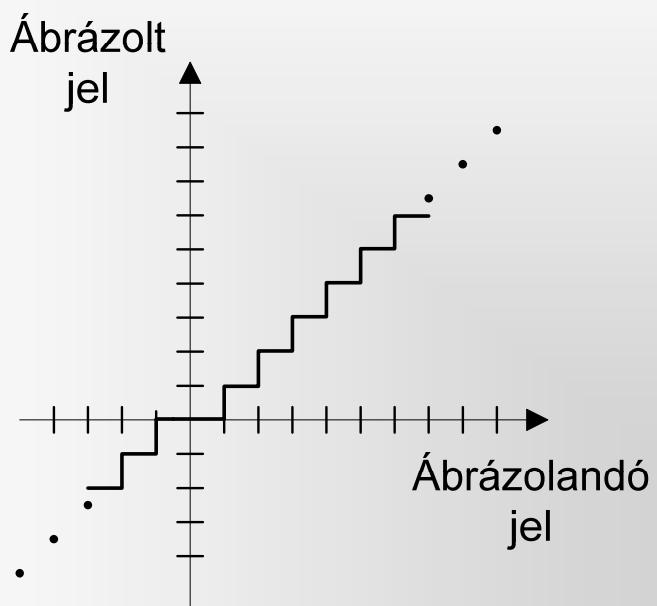


63

Digitális jelek előállítása Kvantálás és kódolás

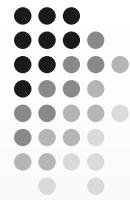


Lineáris kvantálás

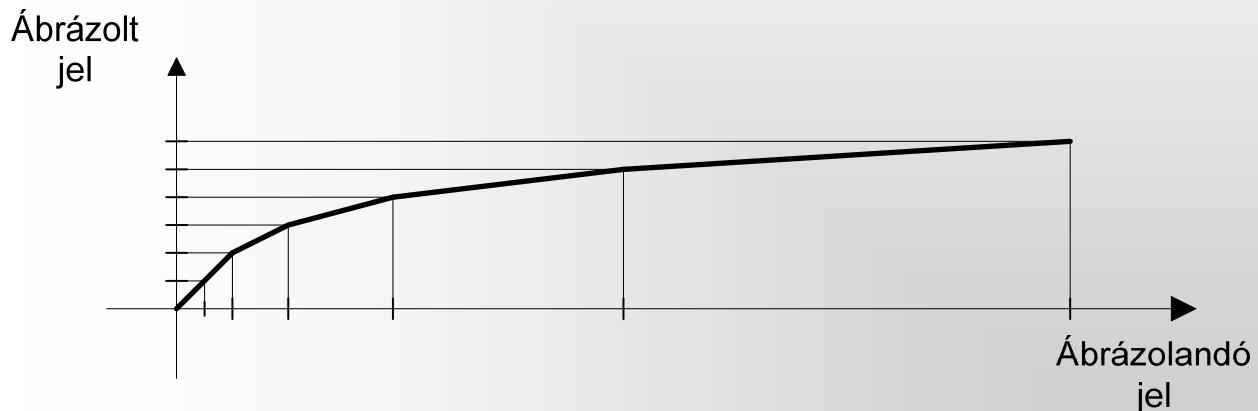


64

Digitális jelek előállítása Kvantálás és kódolás

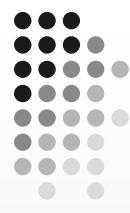


Logaritmikus görbe töréspontos közelítése

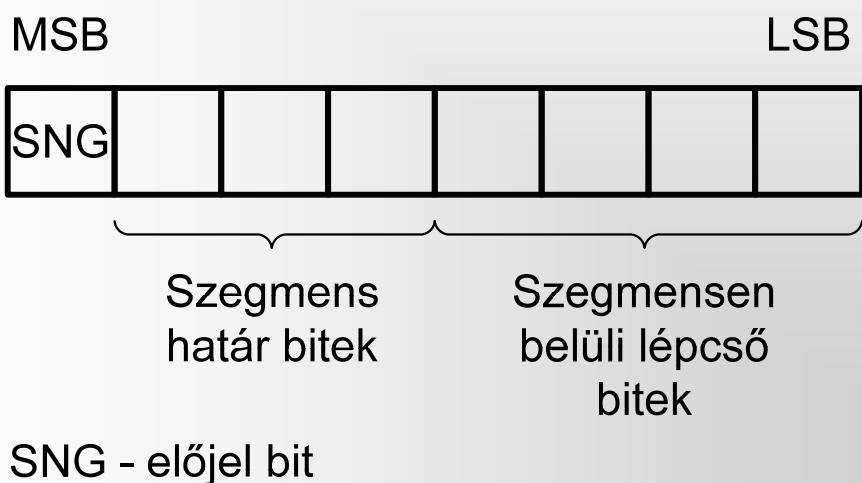


65

PCM „A” karakterisztika (EU távközlés)

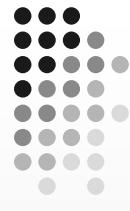


8 biten ábrázolunk minden egyes mintát

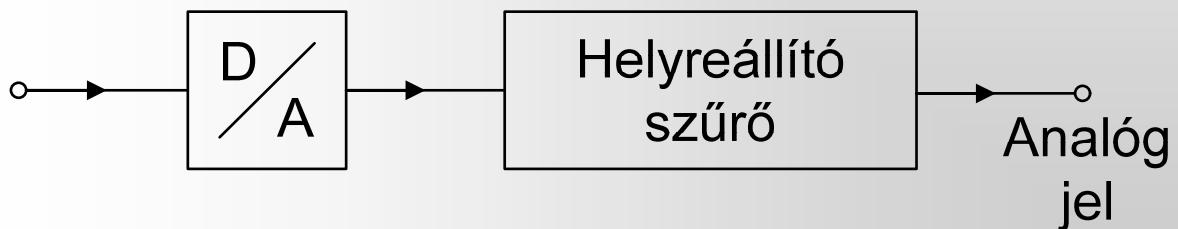


66

Analóg jel visszaállítása a digitális jelből



A D/A konverter a mintavételi frekvencia ütemében érkező mintával arányos feszültséget (áramot) állít elő és azt „kitartja” a következő mintáig.

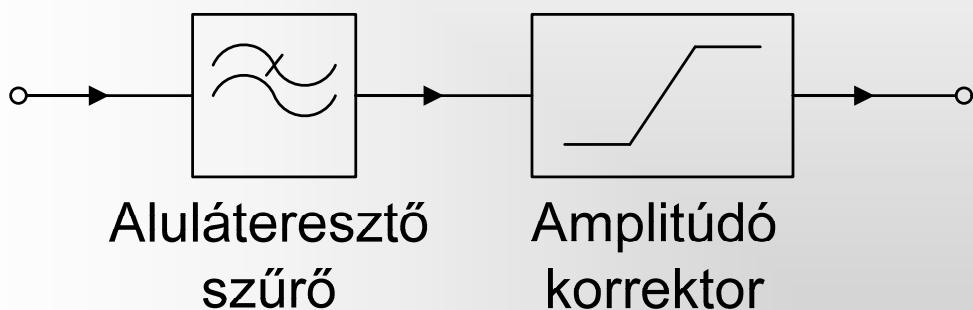


67

Analóg jel visszaállítása a digitális jelből



Helyreállító szűrő:

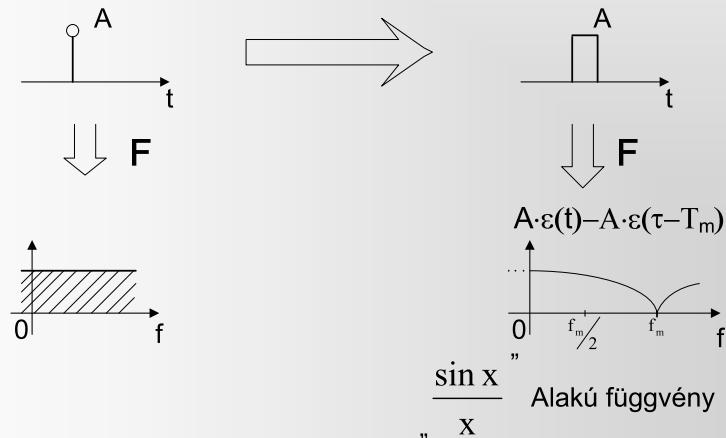


68

Amplitúdó korrektor szükségesége

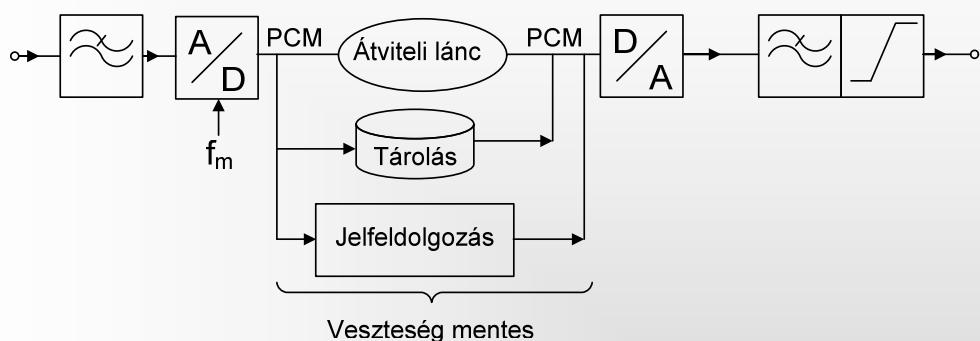


Vagyis egy jel mintára adott válasza



69

Teljes digitális lánc

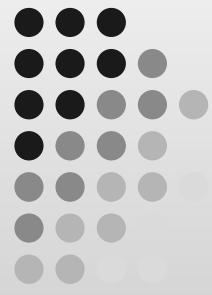


Hibák, torzítások helyei:

- Sávkorlátozó szűrő (analóg)
- Kvantálási hiba [additív zaj]
- Helyreállító szűrő (analóg)

70

A jelátvitel fizikai közegei



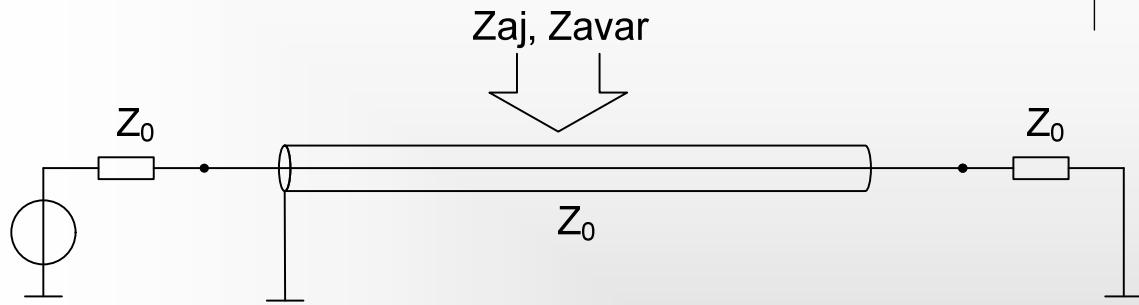
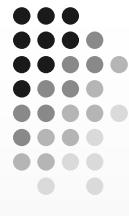
A jelátvitel fizikai közegei

A jelátvitel fizikai közegei

- Vezetékes
 - Aszimmetrikus - koaxiális
 - Szimmetrikus - általában csavart érpár
 - UTP
 - STP
- Optikai átvitel
 - Monomódusú
 - Multimódusú
- Szabad tér
 - Optikai átvitel (pl. lézer, infravörös)
 - Rádiós átvitel



Vezetékes átvitel koaxiális kábelen

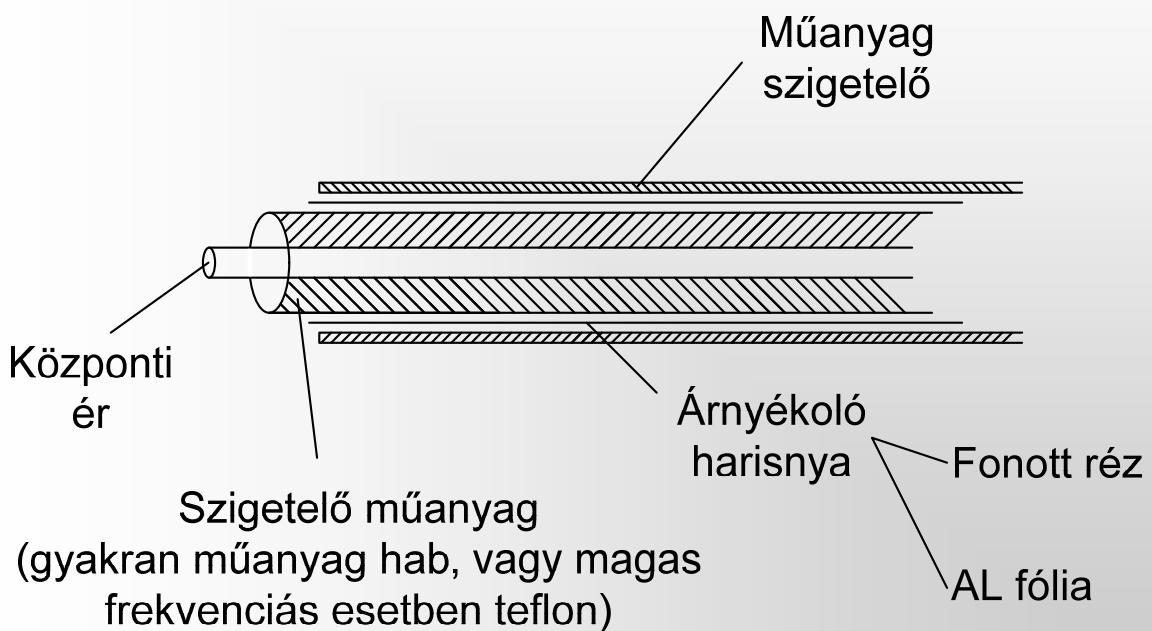
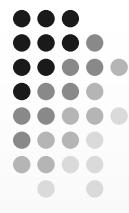


Koax kábeles fizikai közeg előnye/hátránya:

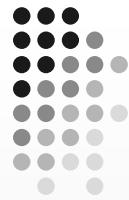
- Homogén hullámimpedancia
- Egyszerű meghajtó/vevő áramkör
- Mechanikai sérülésekre érzékeny (pl. megtörés $\Rightarrow Z_0$ megváltozik)
- Drága kábel, drága csatlakozás

73

Koax kábel felépítése



74

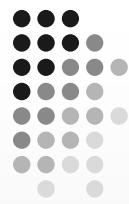


Koaksiális kábelek típusai

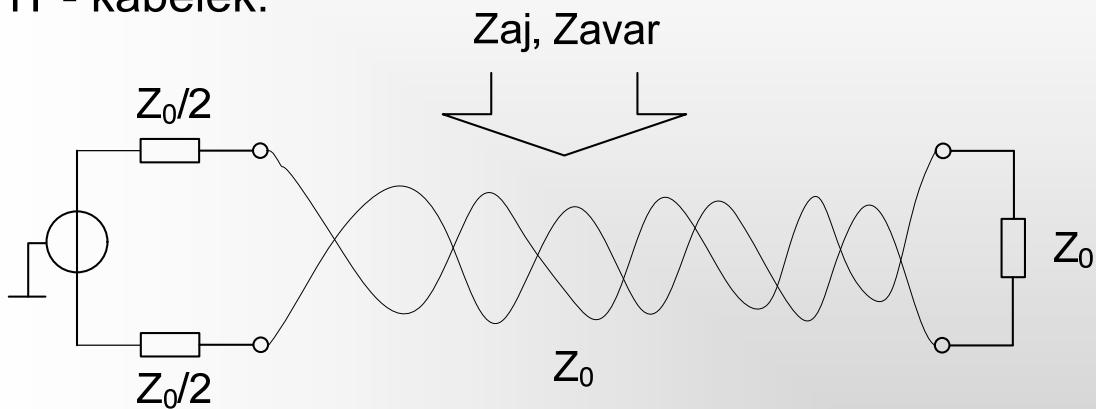
RG – 8, RG – 11, RG – 58 „vékony” ethernet	50Ω
RG – 58/V a központi ér szilárd részből	50Ω
RG – 58 A/V a központi ér fonott részből	50Ω
RG – 59 szélessávú TV-s átvitel	75 Ω
RG – 59 szélessávú	50 Ω
RG – 62 ARCNet kábel	93 Ω

75

Csavart érpáras átviteli közeg (TP – Twisted Pair)



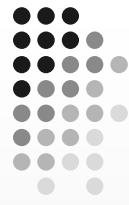
UTP- kábelek:



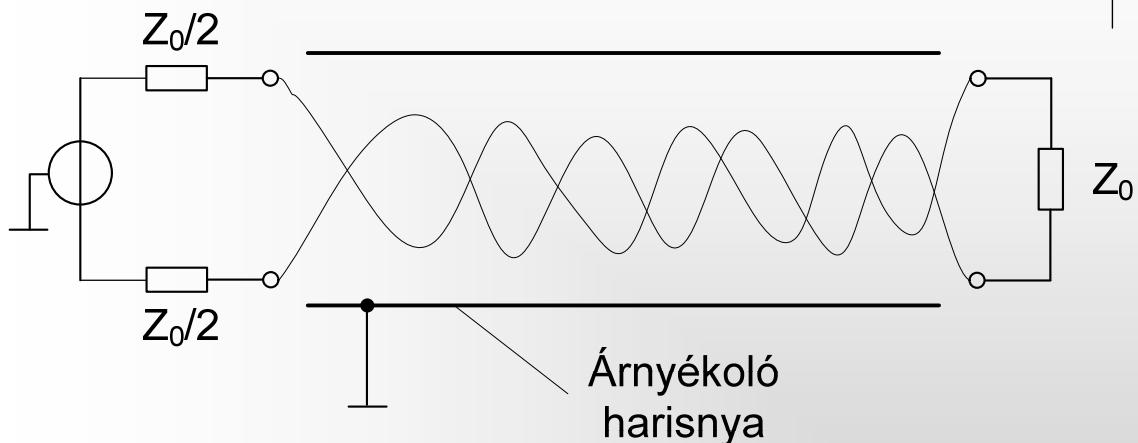
A zavarvédelmet az érpárak összecsavarása jelenti, valamint a szimmetrikus meghajtás.

UTP – Unshilded Twisted Pair
(Árnyékolatlan csavart érpár)

76



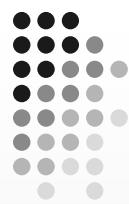
STP kábelek



A zavarvédelmet az árnyékolás és az érpárak összecsavarása jelenti.

STP – Shilded Twisted Pair
(Árnyékolt csavart érpár)

77



TP kábelek osztályozása

EIA / TIA

Electronics Industries Association

Telecommunications Industries Association

A kábel típust (minőségét) CAT-X –el jelölik

78



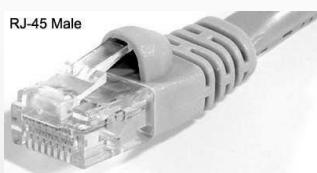
Csavart érpárak kategorizálása

CAT 1	Alapsávi beszédátvitelre alkalmas (pl. telefon átvitel 300-3400Hz és modulációs eljárással adatátvitelre is Pl.: xDSL)
CAT 2	$f_{\max} = 4 \text{ MHz}$
CAT 3	$f_{\max} = 10 \text{ MHz}$
CAT 4	$f_{\max} = 16 \text{ MHz}$
CAT 5	$f_{\max} = 100 \text{ MHz}$
CAT 5E	$f_{\max} = 250 \text{ MHz}$
CAT 6	
CAT 7	

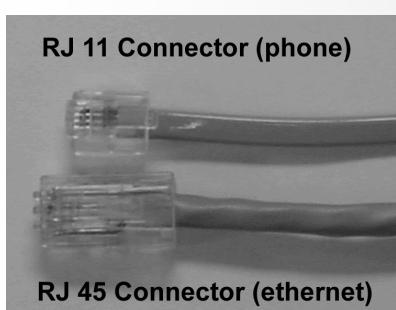
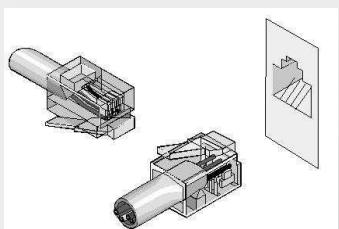
79

Kábel csatlakozások, csatlakozók

RJ – 45 csatlakozó:

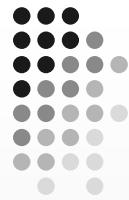


RJ – 11 csatlakozó:



BNC csatlakozó:





Optikai átvitel

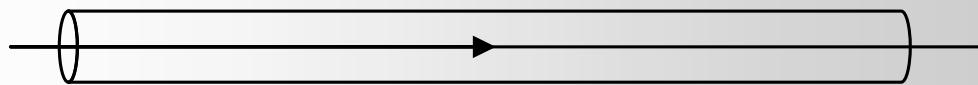
- Szabad térben:
 - Lézer átvitel (pont-pont kapcsolat)
 - Infra átvitel (pont-pont kapcsolat)
 - Pl. IrDa átvitel \Rightarrow rövid távolság

- Vezető közegben:

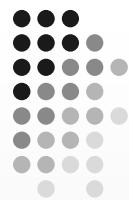
- Multimódusú átvitel



- Monomódusú átvitel



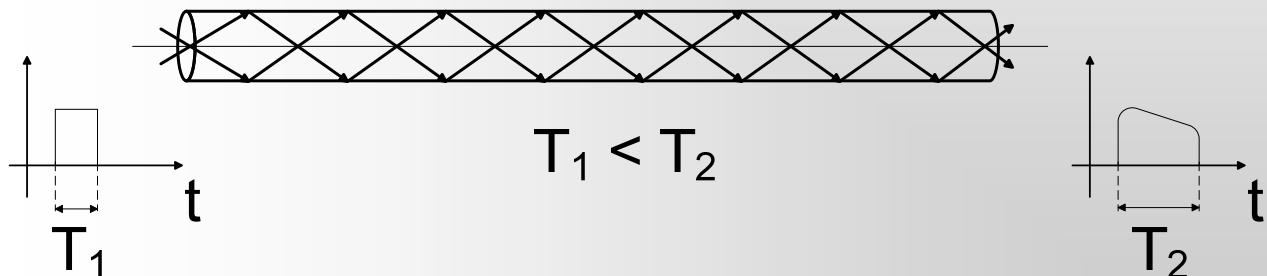
81



Optikai átvitel

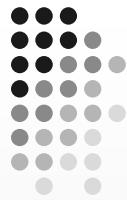
Multimódusú átvitel hátránya a monomódusú átvitelhez képest:

A jel több úton terjed, így a kimeneten az impulzus „elkenődik”.



82

IrDa – Interfaced Data Association (www.irda.org)



Cél, az infra kommunikáció egységesítése,
eszközök közötti kompatibilitás
megteremtése.

Átviteli sebesség:

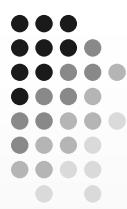
Néhány kb/s –tól 16 Mbit/s –ig

Jelentősége napjainkban:

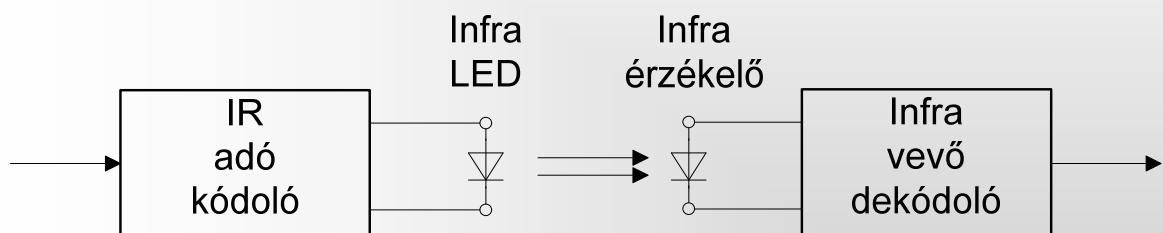
- Olcsó
- Titkos
- Fémes csatlakozást, kontaktust nem igényel

83

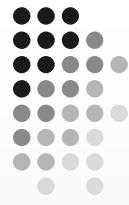
IrDa Pont-pont közötti kommunikáció



Pont-pont közötti kommunikációra alkalmas.



84



IrDa

Az infra vevő eszköz előtt „színszűrőt” és/vagy lencsét alkalmazunk.

Színszűrő feladata:

Más hullámhosszúságú fények kiszűrése, nehogy azok telítésbe vigyék a vevő eszközt.

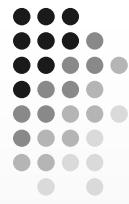
Lencse feladata:

Megfelelő adási/vételi tér-karakterisztika kialakítása

85

IrDa

Adatátviteli formátumok



Soros aszinkron átvitel:



Keretszervezett átvitel:

STA	STA	ADDR.	DATA	16 bit FCS	STO
-----	-----	-------	------	------------	-----

STA és STO: 0111 1110

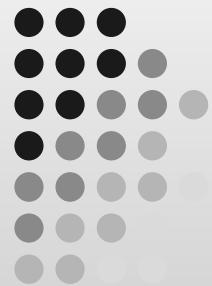
FCS – Frame check sequence

$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ CRC generátor polinommal

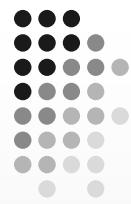
86

Jelátvitel fizikai közegei

Távvezeték elmélet



Távvezeték elmélet



I.

$$\text{rot } \bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}$$

II.

$$\text{rot } \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$$

III.

$$\text{div } \bar{B} = 0$$

IV.

$$\text{div } \bar{D} = \rho$$

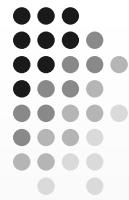
V.

$$\bar{D} = \epsilon \cdot \bar{E} ; \bar{B} = \mu \bar{H} ; \bar{J} = \gamma(E_i + E)$$

VI.

$$w = \frac{1}{2} \bar{E} \cdot \bar{D} + \frac{1}{2} \bar{H} \cdot \bar{B}$$

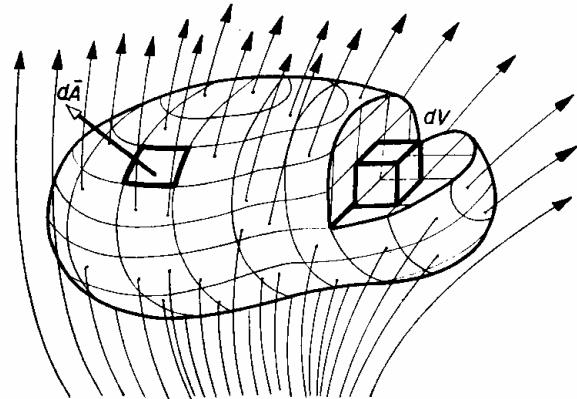
Boltzmann: „War es ein Gott, der diese Zeichen Schrieb.” (Faust)



Távvezeték elmélet

INTEGRÁL TÉTELEK – Gauss tétele

A kiléző és beléző vektorvonalak különbsége éppen a térfogatban eredő és végződő vonalak különbségével, vagyis a források előjeles összegével egyenlő.



$$\int \overline{\text{div}} \, \bar{v} dv = \oint \bar{v} d\bar{A}$$

forrás sűrűség felületen áthaladó vektorvonalak összege
 forrás erőssége

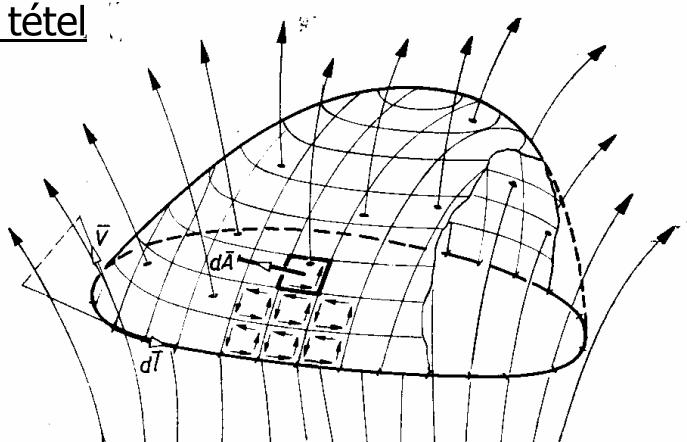
89



Távvezeték elmélet

INTEGRÁLTÉTELEK – Stokes tétele

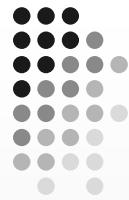
Egy tetszés szerinti vektornak egy zárt görbüre vett vonalintegrálja egyenlő a vektortér rotációjának ezen vonalra kifeszített felületre vett felületi integráljával.



$$\oint_L \bar{v} d\bar{l} = \int_A \text{rot} \, \bar{v} d\bar{A}$$

örvénysűrűség
 örvényerőssége

90



Távvezeték elmélet

II. Maxwell egyenletek

$$\text{rot } \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$$

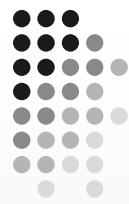
$$\int_A \text{rot} \bar{E} d\bar{A} = \int -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} d\bar{A}$$

Stokes tételel $\downarrow \downarrow$

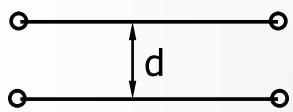
$$\int \bar{E} d\bar{l} = -\frac{d}{dt} \int \bar{B} d\bar{A}$$

$$U = \int \bar{E} d\bar{l} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

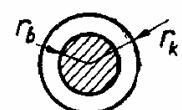
91



Távvezeték-elmélet



Lecher-vezeték

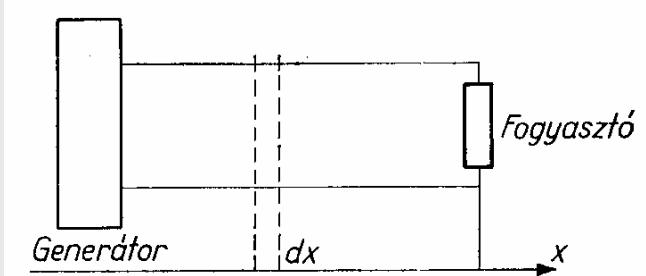


koax kábel

EM hullámok tanába tartozik, de ha $d \ll \lambda$, tárgyalható kvázistacionárius módszerekkel.

A vezetéken elektromágneses hullám halad.

Az elektromos és mágneses energia egyenletesen van elosztva a vezető teljes hosszában, de az áramerősség a vezeték hossza mentén is változik egy időpillanatban.

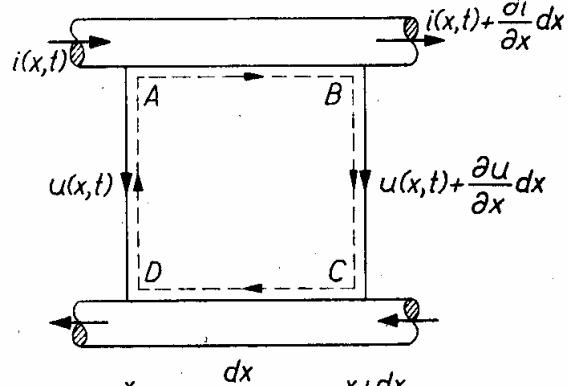
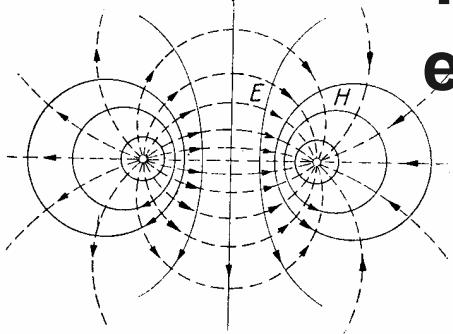
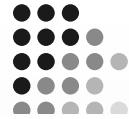


$$[C] = \frac{F}{m} ; [L] = \frac{H}{m}$$

$$[R] = \frac{\Omega}{m} ; [G] = \frac{S}{m}$$

92

Távvezeték-elmélet



Az ABCD hurokra az indukciótörvény:

$$\oint_L \overline{E} d\bar{s} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_A \overline{B} d\bar{A} \quad dx \text{ szakaszon a hurokegyenlet:}$$

$$\oint_L \overline{E} d\bar{s} = i \frac{R}{2} dx + u(x, t) + \frac{\partial u}{\partial x} dx + i \frac{R}{2} dx - u(x, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \int_A \overline{B} d\bar{A} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

A fluxus arányos az áramerősséggel: $\Phi = Ldx \cdot i$

$$\text{Rendezve: } -\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + L \frac{di}{dt}$$

93

Távvezeték elmélet



A dx darabon töltés fog felhalmozódni, vagy a felhalmozott töltés eltűnni. Ez növeli a be- és kifolyó áramerősségek közötti különbséget. A dx darabban az időegység alatti töltés megváltozás:

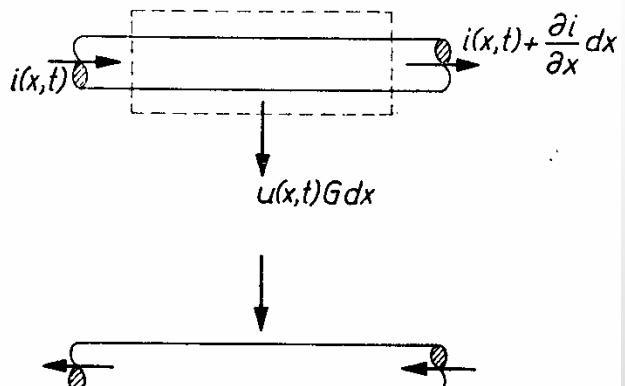
$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} Cdx u(x, t) = Cdx \frac{\partial u}{\partial t}$$

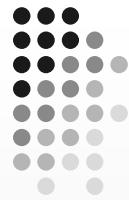
Folytonossági egyenlet: $i(x, t) + \frac{\partial i}{\partial x} dx + u(x, t)Gdx - i(x, t) = -Cdx \frac{\partial u}{\partial t}$

ahol $u(x, t)Gdx$ az átvezetési áram.

Rendezve: $-\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + C \frac{\partial u}{\partial t}$ az eltolási áram záródik a két vezeték között

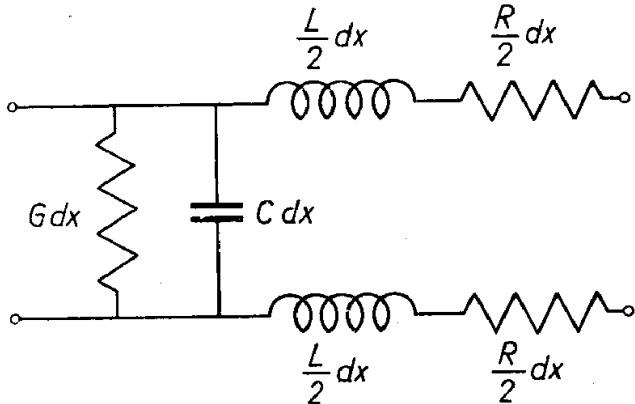
94





Távvezeték elmélet

A távvezeték dx darabjának helyettesítő képe:



Tisztán szinuszos jelre a két egyenlet:

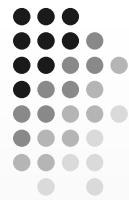
$$-\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + j\omega Li = (R + j\omega L)i$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + j\omega Cu = (G + j\omega C)u$$

95

Távvezeték elmélet

A differenciál egyenletrendszer megoldása



$$\begin{aligned} 1. \quad -\frac{\partial u}{\partial x} &= Ri + L \frac{\partial i}{\partial t} && / \cdot \frac{\partial}{\partial x} \\ 2. \quad -\frac{\partial i}{\partial x} &= Gu + C \frac{\partial u}{\partial t} && \xrightarrow{\qquad\qquad\qquad} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = R \frac{\partial i}{\partial x} + L \frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} = R \frac{\partial i}{\partial x} + L \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial i}{\partial x}$$

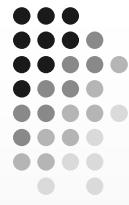
← Távíró-egyenletek

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = RGu + RC \frac{\partial u}{\partial t} + LG \frac{\partial u}{\partial t} + LC \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad \boxed{\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + (RC + LG) \frac{\partial u}{\partial t} + RGu}$$

A 2. egyenletet differenciálva x szerint és du/dx-t az elsőből a másodikba helyettesítve ugyanolyan struktúrájú egyenletet kapunk.

$$\boxed{\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + (RC + LG) \frac{\partial i}{\partial t} + RGi}$$

96



Távvezeték elmélet

A differenciál egyenletrendszer megoldása

Keressük a megoldást $u = U_0 \cdot e^{j\omega t - \gamma x}$ alakban, ezzel:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = j\omega u ; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u ; \quad \frac{\partial u}{\partial x} = -\gamma \cdot u ; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \gamma^2 u$$

visszahelyettesítve:

$$\gamma^2 u = -\omega^2 LC \cdot u + j\omega(RC + LG)u + RGu$$

$$\gamma^2 = (R + j\omega L)(G + j\omega C)$$

$$\gamma = \pm \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad - \text{terjedési együttható}$$

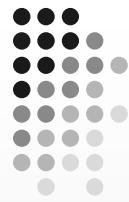
$$\gamma = \alpha + j\beta$$

γ -nál a pozitív előjelet figyelembe véve:

$$U^+ = U_0^+ e^{j\omega t - (\alpha + j\beta)x} = U_0^+ e^{-\alpha x} \cdot e^{j(\omega t - \beta x)}$$

α – csillapítási tényező
β – fázistényező

97



Távvezeték elmélet

A differenciál egyenletrendszer megoldása

Vezessük be a $\frac{\beta}{\omega} = \frac{1}{v}$ jelölést!

v – sebesség

$$\text{Ezzel: } u^+ = U_0^+ \cdot e^{-\alpha x} \cdot e^{j\omega \left(t - \frac{x}{v} \right)}$$

Legyen az u fázisa egy tetszés szerinti x_0 helyen ugyancsak tetszés szerinti t_0 időben:

$$\omega \left(t_0 - \frac{x_0}{v} \right)$$

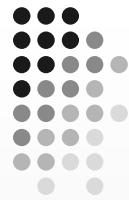
Egy későbbi t időben melyik x helyen kapjuk ugyanezt a fázist?

$$\omega \left(t_0 - \frac{x_0}{v} \right) = \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad \text{rendezve:}$$

$$x - x_0 = v(t - t_0) \quad \rightarrow \quad x = x_0 + v(t - t_0)$$

Fázis
sebesség

A hullám egy meghatározott fázisa (max/min/0 hely) éppen $v = \frac{\omega}{\beta}$ sebességgel mozog tovább.



Távvezeték elmélet

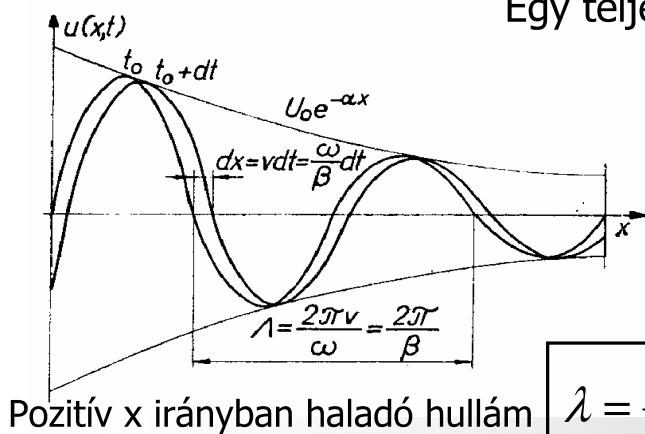
A differenciál egyenletrendszer megoldása

Ha a $\gamma = -\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}$ -t vesszük figyelembe

$$u^- = U_0^- \cdot e^{\alpha t} \cdot e^{j\omega \left(t + \frac{x}{v}\right)}$$

Ez egy negatív x irányban haladó ugyancsak v sebességű hullámot jelent.

Egy teljes periódus hossza számítható:

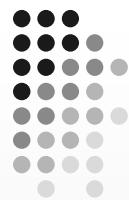


$$e^{j\left(\frac{\omega x}{v} + 2\pi\right)} = e^{j\omega \frac{x+\lambda}{v}}$$

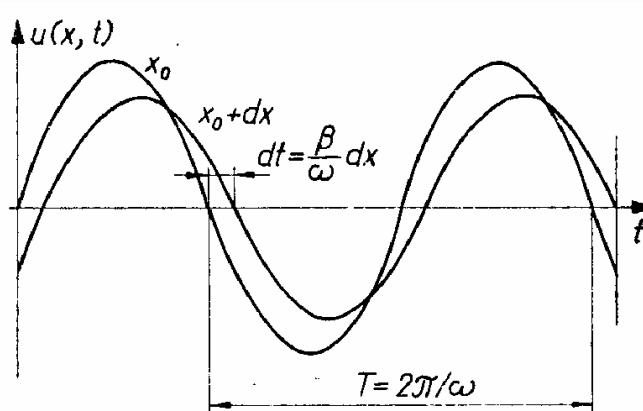
$$\frac{\omega \lambda}{v} = 2\pi$$

$$\lambda = \frac{2\pi v}{\omega} = \frac{2\pi}{\beta}$$

Fázistényező és
hullámhossz kapcsolata



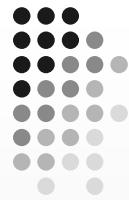
Távvezeték elmélet



A vezeték egy tetszés szerinti helyén mért feszültség időbeli lefolyása tisztán szinuszos.

dx -szel arrébb az amplitúdó lecsökken és a fázisa is változik.

Helyettesítsük be az $u^+ = U_0^+ \cdot e^{j\omega t - \gamma x}$ feszültséghullámot a $-\frac{\partial u}{\partial x} = (R + j\omega L)i$ egyenletbe: $\gamma \cdot U_0^+ \cdot e^{j\omega t - \gamma x} = (R + j\omega L)i$



Távvezeték elmélet

Az ábrákból láttuk, hogy az áram lefolyása is csak ilyen lehet:

$$i^+(x, t) = I_0^+ \cdot e^{j\omega t - \gamma x}$$

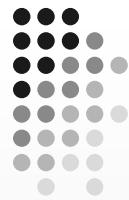
Ezzel:

$$\gamma \cdot U_0^+ \cdot e^{j\omega t - \gamma x} = (R + j\omega L) I_0^+ \cdot e^{j\omega t - \gamma x}$$

$$\frac{U_0^+}{I_0^+} = \frac{R + j\omega L}{\gamma} = +\sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = Z_0$$

HULLÁMIMPEDANCIA

101



Távvezeték elmélet

$U^- = U_0^- \cdot e^{j\omega t + \gamma x}$ negatív irányú hullámot behelyettesítve

$$\frac{U_0^-}{I_0^-} = -Z_0 \text{ jön ki.}$$

A feszültséghullám általános megoldása:

$$u(x, t) = u^+ + u^- = U_0^+ \cdot e^{j\omega t - \gamma x} + U_0^- \cdot e^{j\omega t + \gamma x}$$

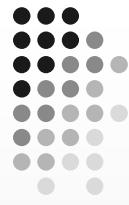
Az áramhullám általános megoldása:

$$i(x, t) = i^+ + i^- = I_0^+ \cdot e^{j\omega t - \gamma x} + I_0^- \cdot e^{j\omega t + \gamma x}$$

Vagy:

$$i(x, t) = \frac{U_0^+}{Z_0} \cdot e^{j\omega t - \gamma x} - \frac{U_0^-}{Z_0} \cdot e^{j\omega t + \gamma x}$$

102



Távvezeték elmélet

Ideális vezeték: $R = 0$; $G = 0$ így $\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$

$$\gamma = \sqrt{-\omega^2 LC} \rightarrow \gamma = j\omega\sqrt{LC}$$

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad \alpha = 0$$

$\beta = \omega\sqrt{LC}$ fázistényező

$$\nu = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$
 sebesség

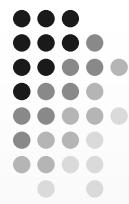
$$[L] = \frac{H}{m} \text{ és } [C] = \frac{F}{m} \rightarrow [\nu] = \frac{m}{\text{sec}}$$

$$\text{A Thomson-képletben: } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ itt } [\omega] = \frac{1}{\text{sec}}$$

mert $[L] = \text{Henry}$ és $[C] = \text{Farad}$.

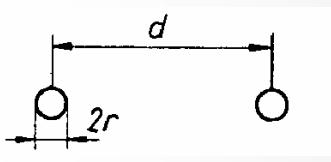
Hiába csökkentenénk minden határon túl L és C értékét, v nem nő C fölé. Ideális vezetéken a hullámok c-vel terjednek.

103



Távvezeték elmélet

Elrendezés



A hosszegységre eső kapacitás

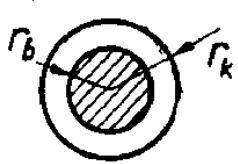
$$C \approx \frac{\pi\epsilon}{\ln \frac{d}{r}}$$

A hosszegysére eső önindukció-együttható

$$L \approx \frac{\mu}{\pi} \ln \frac{d}{r}$$

Hullámellenállás

$$Z \approx \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln \frac{d}{r}$$



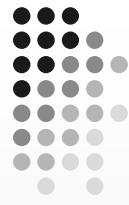
$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{r_k}{r_b}}$$

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{r_k}{r_b}$$

$$Z \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln \frac{r_k}{r_b}$$

Ha a kapacitásokat növeljük a geometriai méretekkel az induktivitás csökken és fordítva. Tehát c-nél nagyobb sebességre alkalmas konstrukciót nem tudunk létrehozni.

104



Távvezeték elmélet

Ideális vezetőben:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = Z_0$$

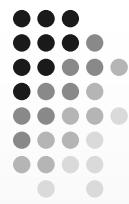
Ideális esetben nemcsak a sebesség, de a hullámimpedancia is független a frekvenciától.

Ha a sebesség függene a frekvenciától, nem lenne torzításmentes az átvitel, nem lenne szinuszos jelekre sem (pl. négyszögjel), mert a spektruma: $\omega_0, 3\omega_0, 5\omega_0, \dots$ stb. és más lenne a fázistolás a különböző frekvencián.

Nagy csillapítású kábeleknél a nagy futási idő problémát okoz:

$$\tau = \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega}$$

105



Vezetett hullámú összeköttetések

- Alapsávi jelek átvitele (általában hangfrekvencia)
- Vezetékek többszöri kihasználása

FDM

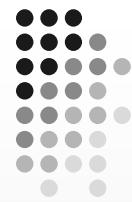
TDM

CDMA
(Code division multiple access)

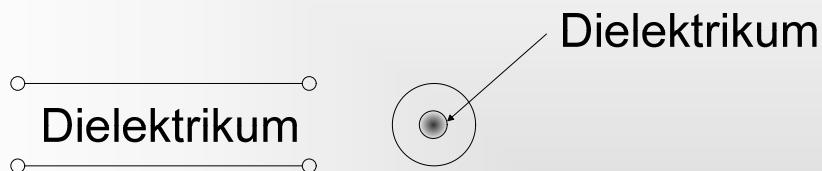
Nyalábolási eljárások

106

Vezetett hullámú összeköttetések



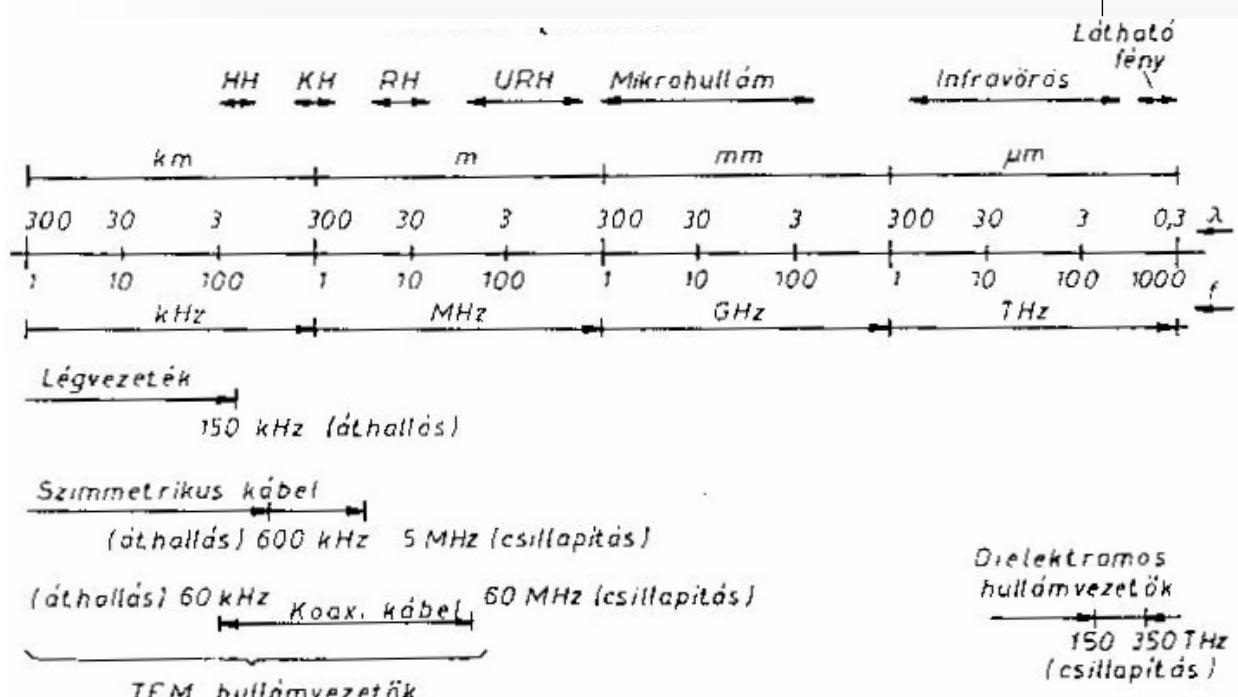
TEM hullámvezetők



TEM: csak alapmódus terjed, ha a vezetők közötti távolság << mint a jel hullámhossza.

107

Vezetett hullámú összeköttetések





Vezetett hullámú összeköttetések

Nagy tisztaságú üvegszál $\lambda=1,55\mu\text{m}$

$$\alpha \approx 0,2 \text{ dB/km}$$

$$1,3 \leq \lambda \leq 1,7 \mu\text{m} - \text{között } \alpha \approx 0,5 \text{ dB/km}$$

Itt a sávszélesség 54 THz

Kisebb illetve nagyobb hullámhosszokon a fény kölcsönhatásba lép az üveg elektronjaival, ill. atomjaival, ami csillapítás növekedést okoz.

Az üvegszál köpeny kisebb törésmutatójú, így a fény nem tud kilépni a szálból.

109



Vezetett hullámú összeköttetések

A fényadók és fényvevők a foton-elektron kölcsönhatáson alapulnak.

LD- lézerdióda, LED-fényemittáló dióda

Paraméter	LED	LD
Kisugárzott teljesítmény, mW	2...5	15...20
Belépési veszteség, dB	15...25	3
Sávközép, μm	0,85 1,3 1,55	1,3 1,55
THz	350 230 200	230 200
Modulálatlan sávszélesség, nm	30...100	0,5...5
THz	10...30	0,15...1,5
Max. modulálófrekvencia, MHz	50...100	3000...20 000
Élettartam, h	10^8	10^6

ADP lavina fotodióda

Paraméter	Si	Ge	InGaAs
Sávközép, μm	0,85	1,3	1,3 1,5
Max. modulálófrekvencia, GHz	0,15...1,5	0,5...2,5	0,5...4 0,5...2

110