

Telekommunikáció 2

Dr. Wersényi György

Távközlési Tanszék

2023 őszi

- Órák:
 - Hétfőnként 11:15-től B1 terem
 - Félévben lesznek óracserék, neptunban üzenek (szept.11, szept.25, okt. 16 és talán nov.6. nem leszek itthon)
- Számonkérés:
 - Írásbeli vizsga, határ 50%
 - ZH nincs, aláírást mindenki kap
 - Gyakorlat = laborlátogatások a félév végén
- Cél: infokommunikáció szakirány bemutatása, alapismeretek szerzése
- Jegyzetek és egyebek:
 - Moodle!
 - <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/index.html>

Egyebek

- <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/index.html>
- Aktuális kiírások, témák:
 - 4G/5G helyzetmeghatározás, pontosság
 - AR és VR témék
 - Ergometeres VR-rendszer fejlesztése
- Digitális Fejlesztési Központ: 5G és drón kompetencia centrum
- TDK, projekt munka- és szakdoga-előkészítés

Tematika

- Bevezetés, ismétlés
- Jelek leírása és osztályozása, Fourier-transzformáció, átviteli függvény, spektrum
- Mintavétel, kvantálás, digitális alapok, kvantálási zaj, csatorna
- Hang, beszéd, hallás, hanghullámok, sztereó és sokcsatornás hangterek
- Mikrofonok, hangszórók, fejhallgatók, iránykarakterisztikák
- Fénytechnikai alapok, látás, színkezelés, ff és színes állókép, mozgókép
- Rádiócsatorna megosztása, frekvenciakiosztás, antennák és hullámtérjedés
- Analóg modulációk: AM, FM, PWM
- Digitális modulációk: vivős és vivő nélküli rendszerek
- DVB-S/C/T alapok
- Műholdas műsorszórás
- Mobil kommunikáció alapjai
- Alapvető kódolási és hibajavítási ismeretek
- Szelessávú hírközlés alapjai

Híradástechnika, telekommunikáció, infokommunikáció

- Feladat: elektronikus úton a lehető legjobb minőségben és olcsón információt átvinni.
- Probléma: az átvitt információ hűsége az átviteli folyamatot zavaró tényezők ellenére.
- A kapcsolat lehet
 - pont-pont összeköttetés vagy egy eszköz és sok ember közötti pont-multipont (tipikusan a műsorszórás).
 - Időben állandó vagy kapcsolt
- Az összeköttetés lehet vezetékes vagy vezeték nélküli, továbbá helyhez kötött vagy mobil, ill. egyirányú vagy kétirányú, analóg vagy digitális.

Történelem

- 1837 Morse, telegráf
- 1876 Bell, telefon
- 1877 Edison, fonográf (az első „ROM”)
- 1865 Maxwell, az elektromágneses elmélet, egyenletek
- 1888 Herz kísérletileg előállítja a hullámokat (23 évvel később!)
- 1896 Marconi, drótnélküli távíró
- 1895 Lorenz, az elektronok felfedezése (elektronosó korszak)
- 1897 Braun, az első katódugárcső
- 1904 Flemming, az első dióda (nemlináris eszköz)
- 1920 rádiótávoközés
- 1940 televízió, radar
- 1948 Bell labor, bipoláris eszköz: germánium-tűs tranzisztor
- 1950 Shannon-tétel, ADC-DAC
- 1954 szilícium tranzisztor
- 1958 az első integrált áramkör, és a JFET
- 1960 SSI (csoo elem), és a MOSFET
- 1962 Távoközlési műholdak
- 1971 Mikroprocesszor
- 1977 Fénykabel
- 1979 Az első LAN, Ethernet
- 1985 Mobiltelefonok megjelenése, Magyarországon 1990 után
- 1997 Az első DVB-T adás (Anglia)
- 1998 HDTV (USA)
- 1999 A Vodafone 3. szolgáltatóként elindul hazánkban
- 2007 Az első érintőképpel rendelkező iPhone, majd az Android
- 2009 4G
- 2011 DVB-T2 szabvány
- 2014 Teljes képpel, billentyűzetmentes okostelefonok

A hírközlés

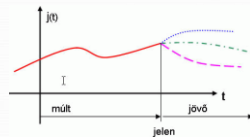


A tantárgy célja, hogy ezen a blokkdiagramon végighaladva tárgyalja a hang- és képinformáció tulajdonságait (miféle jelek ezek), milyen átalakítók szükségesek az adó és a vevő oldalon, valamint mit lehet és kell tenni a csatornát figyelembe véve az átvitel sikerének érdekében.

A jelek leírása

- Legegyszerűbb: csak az időtől függő egydimenziós skalár függvény (=időfüggvény)
- Lehet egyként egy jel komplex is, vektorértékű, többváltozós stb.
- Analóg jel: értelmezési tartomány (idő) és értékkészlet (amplitúdó) is folytonos
- Lehet diszkrét értékkészletű (kvantált) vagy diszkrét időpontokban értelmezett (mintavett jel, számsorozat)
- Digitális jel: időben ÉS amplitúdóban is diszkrét (mintavétel ÉS kvantálás).

- Egy jel lehet determinisztikus vagy sztochasztikus.
- Determinált: egyetlen, jól meghatározott vizsgálójel, egy konkrét függvény: a jelenből és a múltból a jövője meghatározható.
- Sztochasztikus: pl. a beszéd vagy a zajok, több közös vonásokkal is rendelkező függvényssereg „együttes” vizsgálata (valószínűség számítás: 'e' 'ü?'), jövője kérdéses.



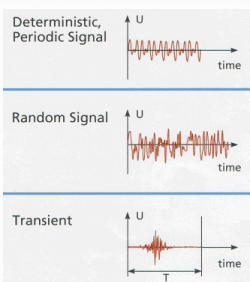
Sztochasztikus zebra: mindegyik más, mégis egyben leírhatók a zebra bizonyos tulajdonságai

Sztochasztikus folyamatok

- A jel egy része valószínűségi változó, általában egyenletes eloszlású valamelyik tartományban.
- Példa (oszillátor egyenlete):
Az $x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$, ha A és ω rögzített, de ϕ egyenletes eloszlású $[0, 2\pi]$ között.
- Egy konkrét függvény, benne egy valószínűségi változó, adott pillanatban felvesz egy konkrét értéket (pld. 173 fok) – ez a sztochasztikus folyamat egy realizációja.
- A függvény pillanatnyi $x(t)$ értéke is egy valószínűségi változóvá válik, a példában $x(t)$ a $[0, 1]$ között vesz fel értékeket.
- Nem minden realizáció egyformán jellegzetes, ha nem egyenletes az eloszlás. Ezért **statisztikus** mennyiségekkel jellemezzük e folyamatokat: várható érték, maximális értékkészlet, szórás(négyzet), autokorreláció stb.
- A hírközlésben majdnem minden átvitelre szánt jel (beszéd, zene stb.) sztochasztikus.

Speciális jelek:

- Végés idejű, amely 0 értékű egy bizonyos időpont előtt és után.
- A tranzien determinisztikus jelnek számít: a jel egyszeri (végés idejű), nem periodikus, de a jel által szállított energia végés.
- Korlátos, ha abszolút értéke nem lép át egy bizonyos határt
- Periodikus, ha valamely T -időintervallum után ismétlődik
- Harmonikus: ha „egyfrekvenciás szinuszos”, azaz $x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$ alakú.
 - A az amplitúdó, ω a körfrekvencia, ϕ a fázis, ahol $\omega = 2\pi f$.
 - A komplex értékű $x(t) = A \exp[j(\omega t + \phi)]$ függvényt is harmonikusnak nevezzük (egyenértékű leírás mód!)



Stacioner jel

- **Stacionáriusnak** (stacionernek) nevezzük a folyamatot, ha a fentiekben megadott eloszlásfüggvényei az időeltolásra érzéketlenek, magyarul időinvariánsak.
- Ez gyakori eset, és a számításokat egyszerűsíti.
- A stacioner folyamat realizációjából tetszőleges időben választhatunk ki adott T -időintervallumot, amelyben a statisztikus paramétereit meghatározzuk.



Spektrális felbontás

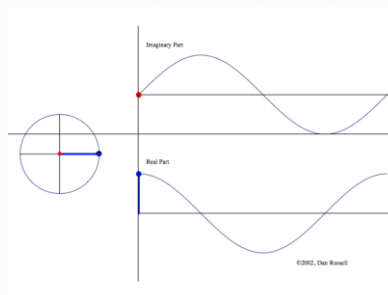
- Minden valós függvény (jel) felbontható végtelen sok szinuszos harmonikus jel súlyozott összegére
- Fourier-transzformáció
- Periodikus jelek: VONALAS SPEKTRUM

$$x(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} X_i e^{j2\pi i t / T} \quad X_i = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) e^{-j2\pi i t / T} dt$$

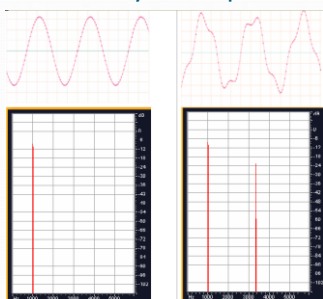
- Folytonos, nem periodikus jelek: FOLYTONOS SP.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi f t} df \quad X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

A komplex leírás szemléltetése

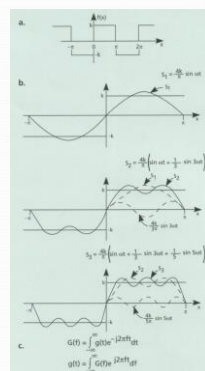
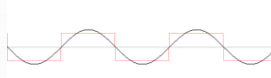


Az 1000 Hz, 1000+3330 Hz jel idő- és frekvenciatartománybeli képe

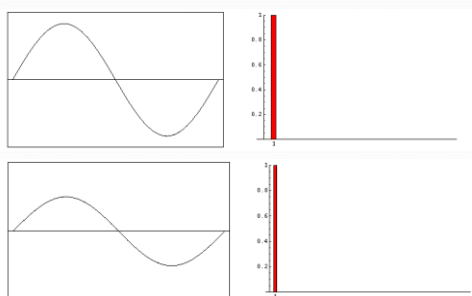


- Egy periodikus jel (a) leírható szinuszos és koszinuszos függvények végtelen összegeként
- Ennek a folyamatnak az első három elemét mutatja a (b) ábra, miként közelít a sorfejtés az eredeti négyzögjelhez
- Folytonos és nem periodikus jeleknél az összegzés helyett integrálás szerepel (c)
- Sztochasztikus jelek is leírhatók a frekvenciatartományban (spektrális sűrűségfüggvény).

harmonics: 1



FFT



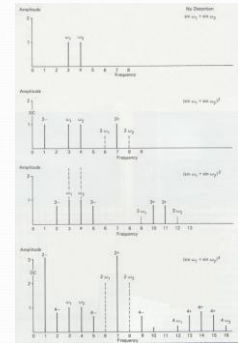
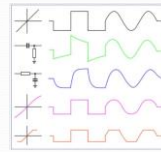
Logaritmus

- Kettős ok: egyrészt az ábrázolni, leírni kívánt mennyiség tartománya túl nagy; másrészt a szorzás művelete a logaritmizálás után összeadássá egyszerűsödik.
- Logaritmikusan mindkét tengely mentén dolgozhatunk.
- A frekvenciatengelyt gyakran osztjuk fel oktávokra vagy dekádokra a nagy átfogás érdekében.
- Az amplitúdót is gyakran logaritmizálva ábrázoljuk a nagy dinamika miatt, vagy mert egyszerűen az erősítéseket inkább összeadni szeretnénk a szorzás helyett.
- Ilyenkor dB-ben adjuk meg a mennyiségeket, jelszinteket.
- Példa: hangnyomás és hangnyomásszint
 $SPL [dB] = 20 \cdot \log(p/p_0)$, ahol $p_0 = 20 \mu Pa$ és $p [Pa]$.

Linearitás

- Lineáris átviteli út: „nincs torzítás”. A kimenő jel a bemenetől csak egy konstanssal való szorzásban és időkéseletetésben térhet el.
- Az átvitt jel formája, időbeni lefutása ugyanaz. Ha a konstans egynél nagyobb, erősítőről beszélünk, ha kisebb, csillapítóról.
- Olyan frekvenciájú jel nem jöhet ki belőle, ami nem ment be.
- Nem lineáris átvitelnél új komponensek is megjelennek, amelyek az eredeti jelben nem voltak benne. Ilyenkor az átviteli utat leíró átviteli függvényben hatványozó tagok találhatók.

- Egészszámú többszöröseai adott frekvenciájú komponensnek: harmonikus torzítás
- THD

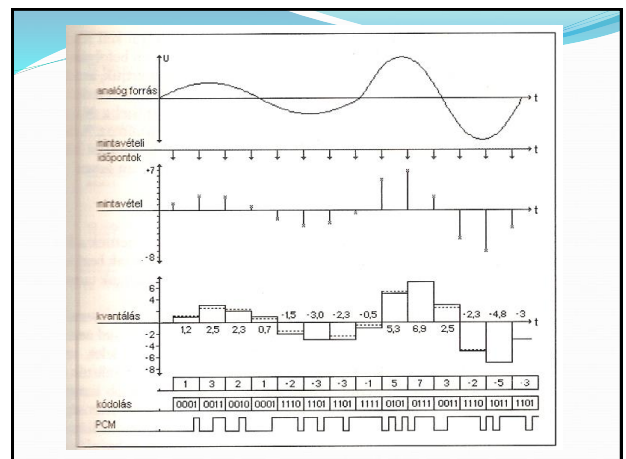
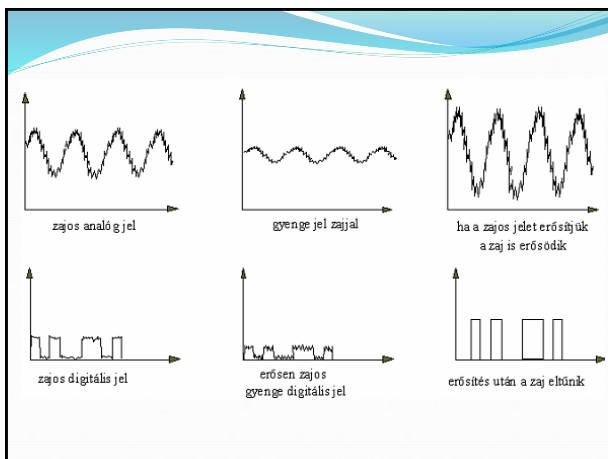


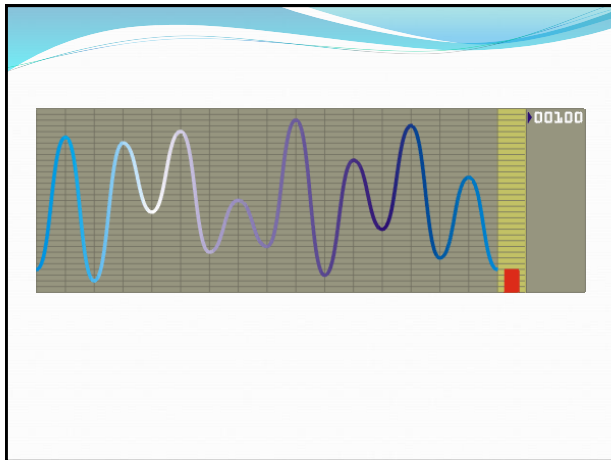
Átviteli függvény és jel-zaj-viszony

- Adott (számolható) vagy mérjük
- **Impulzusválasz** transzformáltja (más néven súlyfüggvény)
Gyors mérés, de kicsi a jel-zaj-viszony
- **Fehérzajjal** is lehet mérni.
Nagyobb jel-zaj-viszony, de több idő.
- Legjobb jel-zaj-viszony: szinuszos mérés.
Végtelen ideig tartana.
- **Sweep**-jel: végigpásztázza az egész frekvenciatartományt rövid ideig tartó szinuszjelekkel.
- SNR (signal-to-noise ratio) = $10 \cdot \log(S/N)$ [dB]

ADC/DAC

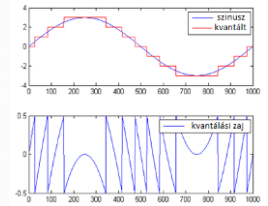
- Digitalizálás célja: állapotmegőrzés, reprodukálhatóság
- Zajos csatornában nem kell alakhű átvitel, elég a biteket felismerni
- 1. mintavétel: Shannon-tétel: $f_{mv} > 2B$, ekkor egy aluláteresztő szűrő kell a hibamentes visszaalakításhoz. (Végtelen tizedestört!)
- 2. kvantálás (kódolás): amplitúdóban is kerekítünk, ez visz hibát a folyamatba. Cél, hogy ezt ne lássuk/halljuk. Bináris lineáris PCM kódban n bit esetén 2^n szintünk van (+1 bit duplázza a felbontás finomságát!).





Kvantálási zaj

- Kvantálási zajnak nevezzük a kerekítési hibát (a hiba négyzetes várhatóértékét).
- Amennyiben egyenletes a kvantálás (minden lépcső azonos magasságú és q nagyságú), akkor a kvantálási zaj értéke $q^2/12$.
- Ha a kvantálást egy bittel megnöveljük a jel-zaj viszony (és vele együtt a dinamika) +6 dB-rel javul.
- Pl. a 16 bithez tehát $16^2 \cdot 6 = 96$ dB tartozik, ami a CD minőség környéke hangtechnikában.
- A kvantálási zaj $\neq$ analóg zaj
- Másképp is halljuk: nem.lin. torzítás

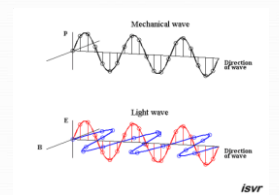
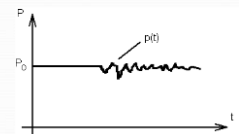


Bitsebesség

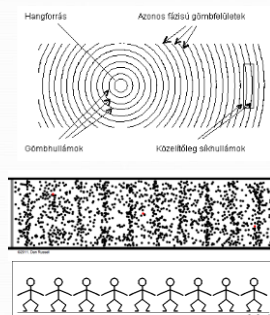
- A legfontosabb paraméter digitális jelek esetén (bps)
- Példa:
 - Beszéd: $8 \text{ kHz} \cdot 8 \text{ bit} = 64 \text{ kbps}$
 - CD: $2 \text{ [csatorna]} \cdot 16 \text{ [bit]} \cdot 44100 \text{ [Hz]} = 1,4 \text{ Mbps}$
 - Mozgóképek 80-200 Mbps-tól akár Gbps-ig
- Nyers, nettó adatsebesség (LPCM) nagy lehet
- Tömörítés kell: veszteségmentes vagy veszteséges (lásd később)
- Hibajavítás, keret, szinkron stb. = járulékos adatok
- Redundancia, akár 3x is lehet! = bruttó adatsebesség

Hangtani alapok

- Hang: rugalmas közeg rezgése
- Légnemű (levegő), folyadék, szilárd test
- Hangnyomás
 - $p(t)$: Pa
 - $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$
- Hangnyomásszint (dB)
 - $L_p = 20 \lg \frac{p}{P_0}$
 - $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

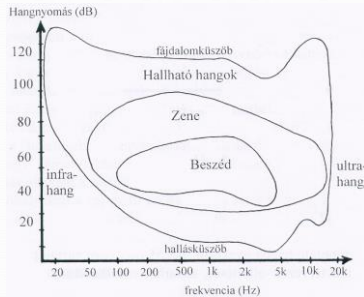


- Terjedési sebesség: $c = f\lambda$
- Levegőben (hőmérsékletfüggő!): 344 m/s
- Szabadtéri terjedés: minden irányban, gömbhullámok
- Kellően messze a „pontforrástól” síkhullám

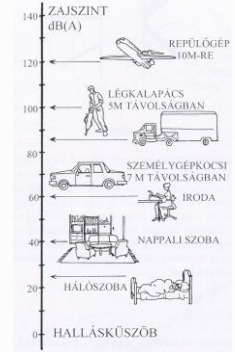


- Az időegység alatt a felületegységen áthaladó energia nagysága = hangintenzitás:
 - $I = p v$
- Az intenzitást is gyakran viszonyítva, dB-ben kifejezve adjuk meg.
- $i_0 = 1 \text{ pW/m}^2$, ami az 1000 Hz-en éppen meghallható szinuszos hang intenzitásértéke.
- $L_I = 10 \lg (I/i_0)$.

A hallástartomány



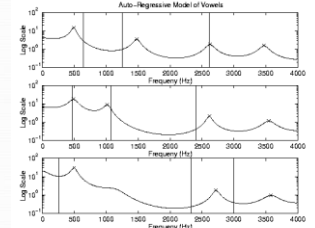
Hangnyomásszintek



A beszéd

- A legfontosabb akusztikai jel
- A tüdőből kiáramló levegő hangszalagok általi periodikus modulációja (mgh).
- A telefonok szokásos 300 – 3400 Hz-ig terjedő sávszélessége a megértéshez elégséges.
- A beszéd (hang)energiájának nagy része ebben a sávban található meg, az e fölötti frekvenciakomponensek már nem az érthetőséget, hanem a beszélő személyére jellemző „orgánumokat” hordozzák.
- A telefonátvitelnek az érthetőséget kell biztosítani, valamint azt a lehetőséget, hogy többszöri, rendszeres beszélgetés után már ismerjük fel a másikat a vonal végén.
- Az ének zenének számít. („Nincs hibajavítás benne”)

- Az **alaphang** (F), férfiaknál 90 Hz körüli, nőknél 300 Hz
- A hangszálak rezgéséből adódik.
- Felette az ún. **formánsok** találhatók.
- Az amplitúdóspektrum jellemző, adott kis tartományra szorított „csúcs”, helyi maximumai.
- Jellemzik a magánhangzókat (alaphang és formánsok struktúra első három eleme), másrészt ez adja a személyiségre jellemző jegyeket
- A magánhangzók periodikus rezgések, a mássalhangzók zajszerűek vagy impulzusszerűek.

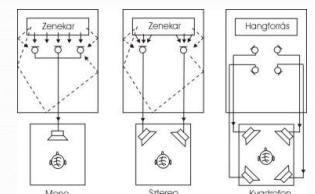


Műszaki paraméterek

- HiFi: 50 Hz–15 kHz, 0.1% torzítás
- CD: 20 Hz–20 kHz, a torzítás gyakorlatilag nem értelmezett.
- **Frekvenciataromány** általában a 3 dB-es pontok közötti részt értjük (feltételes mértékű pontok távolsága a középfrekvenciához képest).
- A **dinamika** a leghalkabb és leghangosabb jelszint aránya dB-ben
- A dinamika mindig kisebb egyenlő, mint a jel-zaj-viszony, azt nem haladhatja meg.
- A **torzítás** lehet lineáris vagy nem lineáris (THD %)
- A **zene** hangszerek hangkeltés. A hangszerek lehetnek tonálisak, harmonikus felhangokból és alaphangból álló rezonátorok (gitár), vagy zajszerűek (dobok).

A hangtér előállítása

- Hangszóró vagy fejhallgató
- Hangfelvétel: mikrofón(ok) + utófeldolgozás
- Csatornaszám
 - 1 mono csatorna
 - sztereó = 2 csatorna
 - sokcsatorna: 5+1, 6+1 stb.



Sztereoó irányhatás

- Időkülönbséges
 - a két fülbe a jel **nem azonos időben** érkezik be (de azonos hangerősséggel). A közelebbi fülbe előbb fog a hang beérkezni és ez alapján fogjuk tudni az irányt megállapítani.
 - 50 ms felett visszhangot fogunk érzékelni (echoküszöb).
 - Az időkülönbséges sztereofónia során két mikrofont használunk, amelyeket egymástól adott távolságra, 1-3 méterre helyezünk el.
- Intenzitációs
 - a fülbe azonos időben érkezik két jel, amelyek hangerőssége, **hangintenzitása különböző**, azt fogjuk közelebbinek hallani, amelyik hangosabb.
 - Két mikrofont egy pontban helyezünk el, de más iránykarakteristikával (lásd később).
- A valóságban a két hatás egyszerre lép fel.

Elektroakusztikai átalakítók

- Az elektromos energiát hangenergiává, a hangenergiát pedig elektromos energiává alakítják át.
- Az első lépésben az elektromos energiát alakítjuk mechanikai energiává. Ennek a folyamatnak az eszköze a valamilyen elektromos vagy mágneses erőhatáson alapuló *elektromechanikai átalakító*.
- Az átalakító szerves része egy mechanikai rezgőrendszer, amihez mereven kapcsolódik a nagyfelületű *membrán*. A mechanikai mozgási energiát ez a membrán továbbítja a légtérbe, oly módon, hogy a membrán mozgásba hozza a levegő részecskéit, és az energia hanghullámok formájában tovaterjed.
- *Inverz működés* esetén a fenti folyamat fordítva zajlik le, vagyis a beérkező hanghullámok mozgásba hozzák az átalakító mechanikai rendszerét, majd a mozgással arányos jelet kapunk.

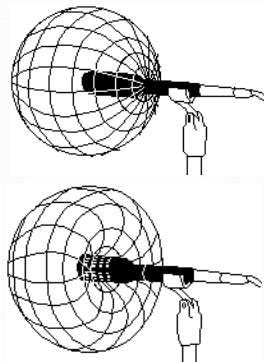
Mikrofonok

- A mikrofonok jellemzésére az érzékenységet, az érzékenység frekvenciamenetét és az iránykarakteristikát szokás megadni.
- Az *érzékenység* az egységnyi hangnyomás hatására leadott feszültséget jelenti egy adott frekvencián, ami 1 kHz (mV/Pa).
- A *frekvenciamenet* az érzékenység frekvenciafüggését jelenti (ez az átviteli fgv.)
- Az *iránykarakterisztika* a beérkező hanghullámok irányától való érzékenységgfüggést fejezi ki.

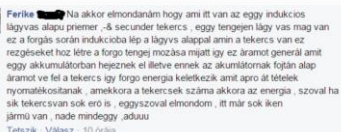
Átvitel és irányfüggés

- Az *átviteli függvény* az érzékenység frekvenciamenete. Az érzékenység adja meg, hogy egy mikrofon adott hangnyomásra (a membránján) mekkora kimenő feszültséggel válaszol.
- Minél nagyobb ez az érték, annál jobb a mikrofon
- Minél nagyobb a membrán felülete, annál nagyobb az érzékenység, hiszen több hanghullámot tud „befogni”, de egyben jobban zavarja is a hangteret.
- Az iránykarakterisztika a legfontosabb paraméter, az átviteli függvény térbeli változást írja le: különböző irányokból milyen a vételi erőssége (mint egy antennánál). Általában színtérképekkel ábrázoljuk, ahol az azonos vételi pontokat kötjük össze, hasonlóan a térképeken, ahol az azonos magasságú pontokat kötjük össze.

- Kis frekvencián kevésbé irányítottak a mikrofonok, míg nagyobb frekvencián egyre jobban.
- A gömbkarakterisztika mérés célú általában
- A legjobban kedvelt kis mértékű irányítottaságú karakterisztika a vese (kardioid). Ezek szemből maximális, oldalról és hátulról csökkentett érzékenységűek.
- Létezik még a nyolcas karakterisztika, de ezt manapság ritkán alkalmazzák.



Dinamikus mikrofon



- A *dinamikus* mikrofonok kevésbé jó minőségűek
- A dinamikus hangszóró inverze: a hangnyomás által megmozgatott membránhoz csatlakozott lengőcséve az állandómágneskör részeként mozgásba jön a légrésben. Ennek hatására feszültség indukálódik benne, a membránmozgással arányosan.
- Olcsók és tápfeszültséget sem igényelnek.
- Hangosítási célra még megfelelő, de stúdiófelvételre már kevésbé, mérési célokra pedig egyáltalán nem.

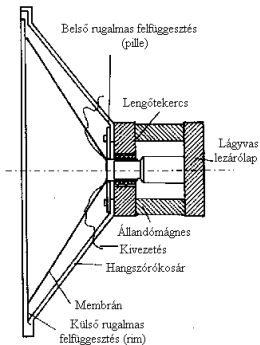
Kondenzátor mikrofon

- Elve, hogy a membrán (fémfólia) és az ún. alsó fegyverzet mögöttes egy lötyögő fegyverzett kondenzátort alkot, amelynek légrése változik a membrán mozgásának hatására.
- Ezáltal a kondenzátor kapacitása is (a távolsággal fordítottan) arányosan módosul.
- DC feszültséget igényelnek (ún. előfeszített vagy prepolarizációt)
- Erősítőt is igényel (pre-amp, előerősítő).
- Hangstudiókban inkább ilyeneket használunk, mérésre pedig mindig.



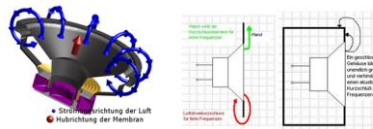
Hangszórók

- *A dinamikus hangszóró*
- Az állandó mágneses mágneskör légrétegben található a lengőcséve, ami a membránhoz csatlakozik. Ez tengelyirányban mozog, a mágneskörhöz rögzítve köszi tartja a rimet. A kivezetéseken a tekercsbe áramot bocsátunk. Tengelyirányú erő keletkezik. Az erő mozgásba hozza a membránt és ezáltal hanghullámokat kelt.
- Kisebb minőségű igényekre (AM rádió) elegendő egy hangszóró. A teljes hangfrekvencias sávot több - két vagy három - különböző frekvenciasávra tervezett hangszóróval lehet leusagrozni.



Hangszórók beépítése

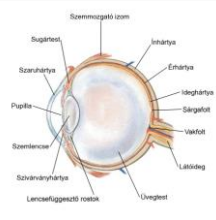
A dinamikus hangszórót dobozba építjük, amivel erősen befolyásoljuk annak átviteli függvényét. A doboz feladata kettős: egyrészt mechanikai tartószerkezet, másrészt elszigeteli a membrán két oldalát egymástól.



- Szokás még a kis frekvenciás átvitel növelésének érdekében reflexnyílást nyitni a dobozra.
- A fejhallgatók speciális, csak a fülre korlátozóódo hangteret állítanak elő.

Képtechnika alapjai

- Álló és mozgókép továbbítása a feladat
- Jellemzők:
 - Objektív, fizikai mennyiségek
 - Pszichofizikai: szubjektív esemény objektív leírása
 - Szubjektív: érzékelés szerinti, nem mérhető



- A szín a látható sugárzás jellemzője, megadhatjuk a frekvenciájával vagy a hullámhosszal.
- A szem számára a három legfontosabb érzeti jellemző:
 - Világosság: adott felület mennyi fényt bocsát ki
 - Színezet: milyen színű valami (kék, zöld stb.)
 - Telítettség: valamilyen érzékelt szín (azonos világosság mellett) a fehér és az adott spektrál szín között hol helyezkedik el (világoskék, sötétzöld, halványpiros): mennyi fehér van belekeverve?

Színpatkó

1.2. ábra
A CIE színháromszög

The diagram shows a triangle in the xy plane. The x-axis is horizontal from 0 to 1, and the y-axis is vertical from 0 to 1. A dashed line represents the spectral locus with points labeled by wavelength: 450, 460, 470, 480, 490, 495, 500, 505, 510, 520, 530, 540, 550, 560, 570, 580, 590, 600, 610, 630, 650, 670, 700 nm. A point 'W' is marked inside the triangle, representing the white point. A dashed line also connects 450 nm to 700 nm.

System: EBU (PAL/SECAM)
Primary illuminants (X, Y)
Red: 0.6400, 0.3300
Green: 0.2900, 0.6000
Blue: 0.1600, 0.0600
White point (X, Y): 0.3127, 0.3291

The diagram shows a triangle in the xy plane. The x-axis is horizontal from 0 to 1, and the y-axis is vertical from 0 to 1. A dashed line represents the spectral locus with points labeled by wavelength: 450, 460, 470, 480, 490, 495, 500, 505, 510, 520, 530, 540, 550, 560, 570, 580, 590, 600, 610, 630, 650, 670, 700 nm. A point 'W' is marked inside the triangle, representing the white point. A dashed line also connects 450 nm to 700 nm.

- Mozgóképek: állóképek sorozata. Folytonos a mozgás 25fps esetén, de ez nem elég.
- További fontos paraméter a *fúziós frekvencia*, amely a fény ill. színingerek változásának az a frekvenciája, ami felett a világosság ill. az érzékelt szín változása nem érzékelhető.
- Villogás áll elő, ha a fény ill. színinger gyors változása kisebb a fúziós frekvenciánál. Értéke kb. 50 fps (50 Hz).
- Színvisszaadás képessége: mennyire egyezik a valós szín a kamera által felvett, majd a színes tévé által megjelenített színnel?

A látás érzékenysége

The image contains two side-by-side line graphs. Both graphs have 'Wavelength' on the x-axis, ranging from 400 to 700 nm, and a vertical axis representing sensitivity from 0 to 100. The left graph shows a curve with three distinct peaks: a primary peak in the blue region (around 440 nm), a secondary peak in the green region (around 530 nm), and a tertiary peak in the red region (around 640 nm). The right graph shows a single, broad peak centered in the green region (around 530 nm), with sensitivity dropping off significantly in the blue and red regions.

Színkeverés

- Alapszínekből a többi szín kikeverhető (közelítő állítás)
- Mérés során egy összehasonlító prizma két oldalán ismert és ismeretlen fényforrást helyezünk el. A három alapszín RGB koordinátáit kell állítgatni, még egyezés nem lesz (előfordulhat, hogy a vöröset át kell vinni az ismeretlen forrás oldalára!).
- RGB alapszínek szabványosak:
 - $R = 700 \text{ nm}$
 - $G = 564,1 \text{ nm}$
 - $B = 435,8 \text{ nm}$

1.6. ábra
Az additív színkeverés

Kék

Bíbor

Kékeszöld

Fehér

Vörös

Sárga

Zöld

$R + G = \text{Sárga}$
 $R + B = \text{Bíbor}$
 $G + B = \text{Kékeszöld}$
 $R + G + B = \text{Fehér}$

Felbontás

ingerpontok	kép a retinán	amit érzékelünk

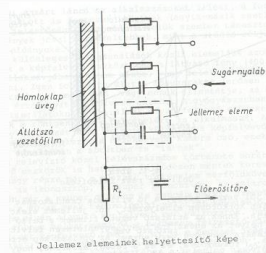
Két közeli pontot akkor látunk közelinek, ha az általuk megvilágított csapok közé egy kevésbé megvilágított csap kerül. Ekkor a két pontot 26 szögmásodperc alatt látjuk, tehát az emberi szem maximális felbontóképessége 26 szögmásodperc.

119% * képátló = optimális nézési távolság képernyő esetén

[illegible]

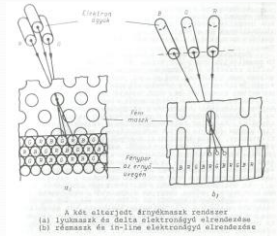
Analóg cső elve

- Sötét kép: nincs videójel.
- A pásztázó elektronsugár feladata, hogy a kondenzátorokat feltöltse.
- Ha fény mennyiség ér egy pixelt, az ellenállás ennek függvényében egyre jobban vezetni kezd és kisütni a kondenzátort. Az elektronsugár aztán ezt ismét feltölti. Az így kilépő áram a videójel.
- Manapság digitális: CCD



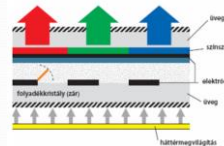
TV képcső, katódsugárcső

- A TV-ben ellentétes a folyamat
- Háromféle színpor világít és egy pixellé olvad össze
- Kontraszt-növelés: black-matrix
- Homloküveg átteresztőképessége?

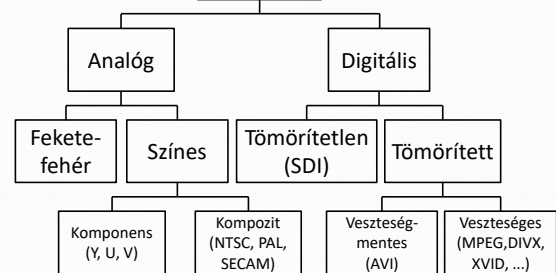


Modern megjelenítők

- Plazma (kifutó)
- LCD
 - LED, Edge LED
- OLED, QLED stb.
- Abban különbözik a hagyományos LCD-kijelzőktől, hogy nincs szüksége háttérvilágításra.
- Az OLED-képernyők könnyebbek, vékonyabbak, rugalmasabbak, hajlékony verziót is csinálni.
- Itt is gond lehet a hosszú idejű statikus kép (?)
- Az OLED panel pixelei nem folyamatosan frissülnek, hanem „sample and hold” módon: új képinformáció esetén frissül
- Ez a túl gyors mozgásnál elmosódást eredményezhet



Videójelek

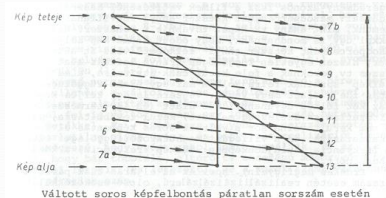


Mozgóképtévé

- A fekete-fehér kép sávszélesség igénye nagyjából 6 MHz.
- Ilyen nagyfrekvenciás komponensek ritkán fordulnak elő a jelben, így gyakorlatban már 4-5 MHz is elegendő.
- A mozgóképhez min. 24-25 képkockára van szükség.
- 50 Hz a fűziós frekvencia.
- 25-höz képest az 50 kétszeres sávszélesség lenne: váltott soros (interlace) megjelenítés: A szemünk így 50 félkép felvillanását látja, ami elegendő. A függőleges felbontás a felére esik.

Analóg PAL

- 625 sor, ebből 575 aktív
- AM-VSB moduláció (lásd később)
- Sor és félképsínkonjeklek szükségesek
- Lehet progresszív és interlace is



Színes kép

- Fekete-fehér kompatibilitást meg kellett tartani.
- A színinformáció minimálisan zavarhat csak.
- Analog QAM moduláció (lásd később).
- Átvitelre ilyenkor az Y (világosság) és két színkülönbségi jel kerül (az R-Y és a B-Y). Ebből az RGB értékek számíthatók.
- Az NTSC rendszer több megfontolás alapján 3,58 MHz-re választotta az ún. színsegédvivőt. Ezt modulálják meg a QAM modulátorral, melynek két színkülönbségi jel a moduláló tényezője.
- PAL esetében a frekvencia 4,43 MHz. A PAL rendszer előnye, hogy az esetleges fázishibát az NTSC-vel ellentétben nem színhelyesség, hanem csak telítettség hibaként jeleníti meg.
- A dekódoláshoz mindkét esetben szükség van a fázishelyes vivőre (burst jel).
- Digitális TV = DVB-T szakít a fentiekkel, MPEG adatfolyamot visz át

A rádiócsatorna

megnevezése	hullámhossz-tartománya	frekvencia-tartománya	adómód	alkalmazás
ELF - VLF	$10^6 - 10^4$ m	3 Hz - 30 kHz	huzalpá, közvonalas rádió	hang, telefon, adóárnyékolás, navigációs rádió
LF	$10^4 - 10^3$ m	30 - 300 kHz	huzalpá, közvonalas rádió	navigációs, rádió jeladók, hang és televíziós adó
MF	1000 - 100 m	300 - 3000 kHz	közvonalas rádió	amplitúdó moduláció, AM moduláció
HF	100 - 10 m	3 - 30 MHz	közvonalas rádió, rövidhullámú rádió	amplitúdó moduláció, CB (UK), satelit kommunikáció, mobiltelefon
VHF	10 - 1 m	30 - 300 MHz	közvonalas rádió, rövidhullámú rádió	FM rádió, navigációs, VHF televízió
UHF	100 - 10 cm	300 - 3000 MHz	rövidhullámú rádió, hullámvivő	CB rádió, kommunikációs (satelit), rádió, UHF televízió
SHF	10 - 1 cm	3 - 30 GHz	mikrohullámú rádió, hullámvivő	mikrohullámú kommunikáció, radar, kommunikációs (satelit)
EHF	10 - 1 mm	30 - 300 GHz	mikrohullámú rádió, hullámvivő	mikrohullámú kommunikáció, radar, kommunikációs (satelit)
infravörös, látható fény, ultraibolya	$3 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-16}$ m	$10^{14} - 10^{16}$ Hz	laser, optikai szál	adóárnyékolás

Rádió műsorszóró sávok

- Hosszúhullám: 150 kHz – 285 kHz (2000-1050 m)
 - AM, DRM
- Csatornaszélesség: jellemzően 9kHz
- Középhullám: 520 kHz – 1605 kHz (590-187 m)
 - AM, DRM
- Csatornaszélesség: jellemzően 9kHz
- Rövidhullám: 3,95 MHz – 26,1 MHz (76-11,5 m)
 - műsorszórásra használatosak a 11, 13, 16, 19, 21, 25, 31, 41, 49, 60, 75, 90, 120 m-es sávok
 - AM, DRM
 - Csatornaszélesség: jellemzően 9kHz

Rádió műsorszóró sávok

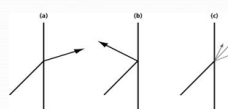
- Ultrarövid hullám: 87,5 - 108 MHz (3,4m – 2,7m)
 - WBFM
 - Csatornaszélesség: 300kHz
- 174 - 235 MHz (VHF III)
 - DAB, DAB+
- 1452 - 1479,5 MHz (L-sáv)
 - DAB, DAB+

Televízió műsorszóró sávok

- VHF I: 48,5 - 66 MHz
 - Analog TV
 - Csatornaszélesség: 8MHz
- VHF III: 174 - 230 MHz
 - Analog TV, DVB-T, (DAB)
 - Csatornaszélesség: 8MHz
- UHF: 470 - 862 MHz (Változik!, 700 MHz: 5G)
 - Analog TV, DVB-T
 - Csatornaszélesség: 8MHz
- Műholdas műsorszórás: 11,7 - 12,5 GHz
 - Analog TV, DVB-S/S2

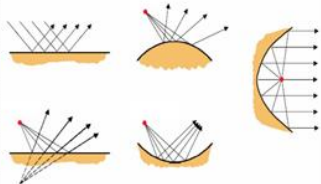
Hullámterjedés

- A legismertebb terjedési forma a közvetlen (direkt) hullámterjedés. Jellemzője az akadálymentes ún. szabadterületi terjedés, amely elméletben síkhullámú terjedés.
- A refrakció (a) magyar elnevezése a „törés”. Közeghatárra érkezve visszaverődik és behatol.
- A reflexió (b) leggyakoribb megjelenése a talajról ill. tereptájakról történő visszaverődéskor van. Jelentősége nagyon nagy, mert a „föbbitas terjedés” legalapvetőbb formája. A reflektált hullám nem más, mint a direkt hullám késleltetett és csillapított verziója.
- A diffrakció (c) magyar elnevezése az elhajlás vagy árnyékbahatolás. Ebben az árnyékban lévő antennára nem jut jel, ha nem látszik (hiányzik az ún. optikai rálátás). A valóságban azonban valamennyire behatolnak az árnyékba is a hullámok. Oka a levegő változó törésmutatója, a hullám a sűrűbb közeg felé hajlik el.



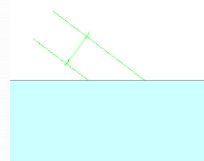
Reflexió

- A reflexió az optika visszaverődéssel összehasonlítható, ha a visszaverő felület (reflektor) mérete legalább ötszöröse a hullámhossznak. Ekkor érvényes a geometriai optika: beesési szög = visszaverődési szög (gömbült felületek esetén is).
- A visszaverő felületen a hullám „tükröződik”, az utak az ún. tükörforrások elve alapján szerkeszthetők.
- Visszhang!



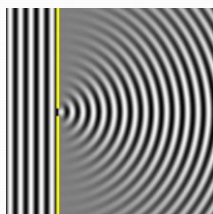
Refrakció

- Hang esetén hangtörésnek nevezzük. Ha a beeső hanghullám egy adott beesési szög alatt egy határfelülethez érkezik, egy része visszaverődik a közegbe, míg egy másik része az új közegben továbbhalad.
- Ennek során az iránya megváltozik (megtörik).
- A teljes visszaverődés ennek határesetete.
- Diszperzió = szóródás: ha a közeg törésmutatója hullámhosszfüggő (az elektromágneses hullám terjedési sebessége egy közegben függ a hullám frekvenciájától)

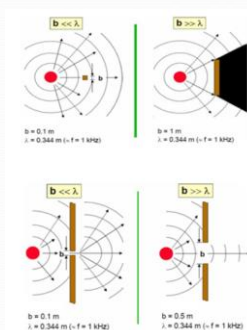


Diffrakció

- Az elhajlás, vagyis a diffrakció, a hullámok akadály esetén történő eltérülését jelenti. Az elhajlás által képes egy hullám olyan térrészbe is eljutni, ahova a direkt hullám nem jut el. Létrejöttéhez olyan új hullámok keletkezésére van szükség a hullámfront mentén, amely követi a Huygens-Fresnel-elvet. Ezek az átfedések miatt interferenciához is vezetnek.
- A hullámhossz és az akadály mérete összemérhető: kis rés esetén árnyékbahatolás van.



Diffrakció a hullámhossz függvényében



A közeg hatása a rádióhullámokra

- Ha az antenna szabadterében, mindentől távol van: szabadtéri sugárzás
- A távolzónában ($r > 15\lambda$) E és H is $1/r$ -szerint csökken, fázisban vannak.
- A teljesítmény-jellegű mennyiségek $1/r^2$ -szerint csökkennek: távolság duplázása negyedeléssel jár.
- Legfontosabb zavaró tényezők: a föld és a különböző légrétegek frekvenciafüggő hatásai.
- Mikrohullám a sütőben:

https://www.youtube.com/watch?v=D9_2qtD8flo&list=RDCMUCqZQJ46ooagwlfMPbYc6oOQ&index=22

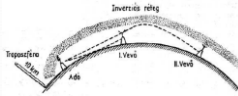
Megnevezés	Jelölés	Frekvencia	Hullámhossz
Hosszúhullámok	LF	30...300 kHz	10...1 km
Középhullámok	MF	300 kHz... 3 MHz	1000...100m
Rövidhullámok	HF	3...30 MHz	100...10m
Ultrarövidhullámok	VHF	30...300 MHz	10...1m
Deciméteres hullámok	UHF	300...3000 MHz	1...0,1m

Föld

- A talaj a rádiótechnikában rossz vezetőnek tekinthető, ideális az volna, ha végtelen vezetőképességű lenne.
- A föld visszavert, az adó direkt hullámot juttat az vevőbe. A hullám polarizációja a reflexió során nem változik.
- Az antennára a direkt hullám mellett sok visszavert is beérkezik.
- A hullámok részben a talajba is behatolnak.

Légrétegek

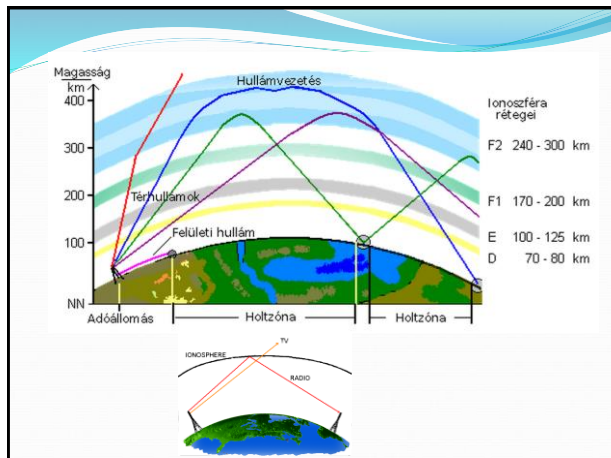
- Troposzféra (~10 km): semleges hatású, bár URH-ra már hatással van: 200 MHz – 10 GHz tartományban befolyásolja a terjedést és okozhat jelentős vételi télerősség ingadozást. Nagy adóteljesítmény esetén a levegő helyi hőmérséklet és nyomásváltozása erős szórt teljesítményt okozhat.



- Sztratoszféra (~10-40 km): semleges réteg, szabadtéri terjedés.
- Ionoszféra (~80-500 km): a kis gáznyomás miatt a napsugárzás hatására mindig ionizált állapotú. A hullám megtörhet, elnyelődhet.
 - Az ionizáció mértéke legnagyobb nappal és nyáron.
 - A rádióhullám (nagy frekvencián) a föld és az ionoszféra között ide-oda verődve terjedhet.

Ionoszféra

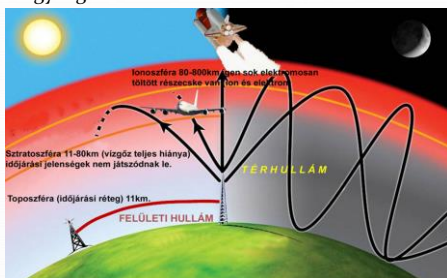
- Pozitív ionok és szabad elektronok, amelyek eloszlása magasság- és napszak-függő a gázkeverék változása miatt.
- Az ionoszférát D, E, F1 és F2 rétegekre osztjuk. Az ionizáció éjszaka kisebb, a D-réteg eltűnik, az F1-F2 egy közös F-réteggé egyesül.
- Meghatározható egy kritikus frekvencia, ami alatt a hullám visszaverődik, felette nem (merőleges beesés esetén). A valóságban a fellövési szög ferde, ekkor a kritikusnál nagyobb frekvenciák is visszaverődhetnek. A kritikus fellövési szög, amelynél kisebb szögek esetén, adott frekvencián még van visszaverődés.
- Ha a frekvencia nő, a kritikus szög csökken: létezik egy Maximum Usable Frequency. Létezik alsó határfrekvencia is, amit a rétegben keletkező veszteségek határoznak meg (a hosszú hullámok nem verődnek vissza).
- Létezik *holt zóna*, ahol nincs vétel.
- A legnagyobb távolság egyszeres visszaverődésre tervezéssel < 4000 km.



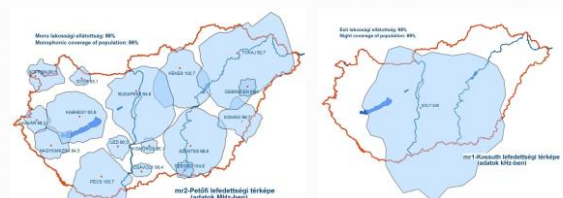
Felületi és térhullámok

- Felületi hullám: lapos szög alatt sugározva, ionoszféra nélkül, a föld görbületét követve terjed. Minél hosszabb a hullám, ill. jobb a talaj vezetőképessége, annál jobban követi a görbületet és jut messzire a hullám (kHz-MHz tartomány, HH és KH). Csak függőleges antenna (polarizáció) esetén használjuk.
- Térhullám: az ionoszféráról visszavert hullám. Nem stabilak, nagyon változóak, de nagy távolságú összeköttetés lehetséges.
 - A különböző rétegek határfrekvenciája 1-8 MHz között mozog (RH). Állandó összeköttetésű RH esetén nappal-éjeli hullámsáv-váltás szükséges. Sok a fading, de kis teljesítményű adó is elég (kW).
 - A KH nappal felületi, éjeli térhullám formájában is terjedhet: megnő a távolság (1000-ról 3000 km-re is akár).
- „Optikai rálátást” igénylő hullámok. Kb. 30 MHz felett sem tér- sem felületi hullám nem jöhet szóba, csak a direkt út (troposzféra). Lásd még: mikrohullámú technika.

- Az ionoszféra éjszaka „kitükrösödik”, 180-300 km magasan kialakul egy jó visszaverő réteg, így akár 2000 km is lehet a vétel. Többször is verődhet, amivel 4000 km is elérhető, de ez gyenge már.



Lefedettségi (példák)

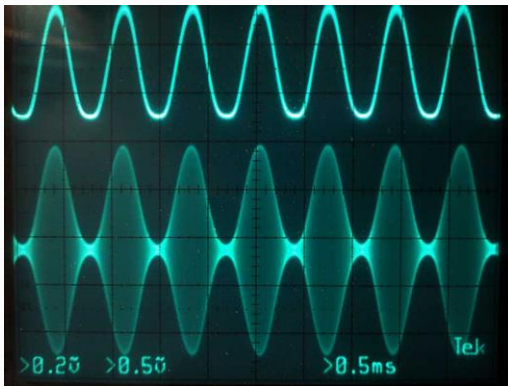
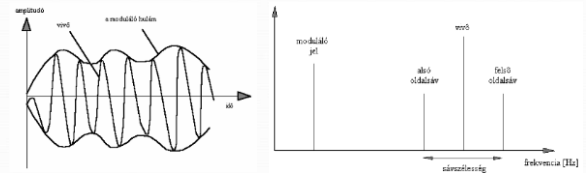


Moduláció

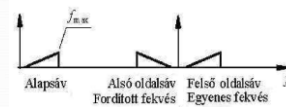
- Moduláció: egy szinuszhullámra ültetett információ
- A szinuszhullám a **vívő**, az információ a **moduláló** jel, a kettőből adódik a **modulált** jel.
- Van analóg és digitális moduláció, létezik vívőmentes is
- Miért van szükség a vívőre?
 - Az elektromágneses hullámokat megfelelő hatásokkal sugározhatunk, az adásra használt antenna mérete a hullámhossz felénél nem lehet rövidebb. A hangfrekvencia tartományába eső hullámok hullámhossza sok kilométer.
 - Másrészt, ha minden adó ugyanazon a frekvencián sugározna, az eredmény az lenne, mintha több száz ember beszélne egyszerre. Tehát az egymáshoz közel levő rádióadóknak más-más **vívőfrekvenciát** kell használniuk.

AM

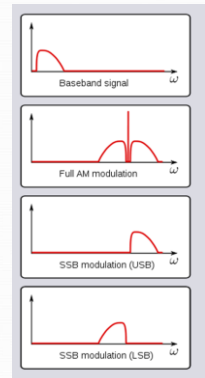
- AM-DSB, AM-SSB, a vívő is elnyomható (SC).



- Nem szinuszos moduláló jel esetén: az alsó oldalsáv megfordul, mert a vívőhöz közel a kis frekvenciák vannak.



- AM-SSB esetén egyik oldalsáv elhagyható



Szorzó moduláció

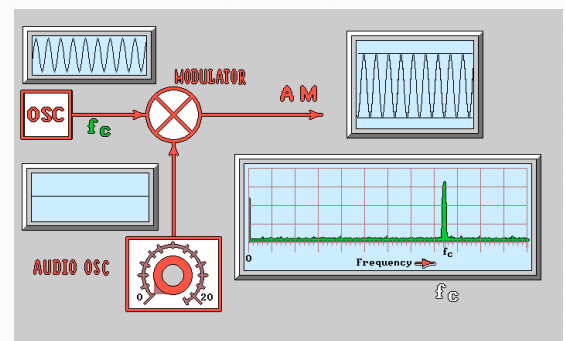
- Egyszerű példa szinuszos vívő és moduláló jel esetére

$$X_v(t) = A_v \sin(\omega_v t)$$

$$X_m(t) = A_m \sin(\omega_m t)$$
- Ezt a kettőt összeszorozva, és felhasználva, hogy $\sin(x) \cdot \sin(y) = (1/2)(\cos(x-y) - \cos(x+y))$ az alábbiakat kapjuk:

$$Z = A_v A_m \sin(\omega_v t) \sin(\omega_m t) = (A_v A_m / 2) (\cos(\omega_v t - \omega_m t) - \cos(\omega_v t + \omega_m t))$$

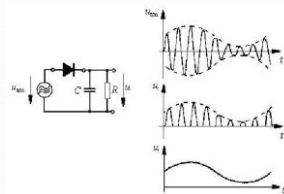
Azaz, két oldalsáv jelenik meg a vívő felett és alatt ω_m távolságra!



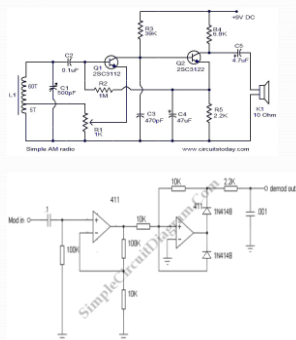
- Ha felírjuk ilyen alakban:
 $AM\ jel(t) = vivő(t) \cdot (1 - m \cdot (modulálójel(t)))$
 akkor m az ún. modulációs index vagy mélység:
 $m = U_m / U_v$
- Az AM jel sávszélessége kétszerese a moduláló jel sávszélességének.
- Hosszú- és középhullámon 9 kHz, RH-n 10 kHz a rádiócsatorna, ezért a max. átvitel kb. 4,5 kHz-ig lehetséges.

AM demoduláció:

- A legegyszerűbb az ún. diódás burkolódetektor, ami egy diódából és ellenállásból, netán kondenzátorból áll (a hangolás miatt). Hátránya, hogy könnyen torzítás léphet fel.
- C: feltöltődik és a negatív periódus alatt lassan kisül (értékek kb. 10 nF, 47 kΩ)
- Manapság a modulációt és a demodulációt is szorzó áramkörrel, valamint aluláteresztő szűrővel végzik.



Vevők, demodulátorok



Szorzó demoduláció

- Demoduláláskor a modulált jelet kell megszorozni ismételten a vivővel, azaz az eredeti moduláló jelet a vivő négyzetével:

$$X_m \cos^2(\omega_c t) = (X_m/2)(1 + \cos(2\omega_c t)) = (X_m/2) + (X_m/2)\cos(2\omega_c t)$$

$$\text{mivel } \cos^2(x) = (1/2)(1 + \cos(2x))$$

- Ez a hasznos jel (félamplitúdóval) ill. egy kétszeres frekvenciájú jel, ezt kell kiszűrni!

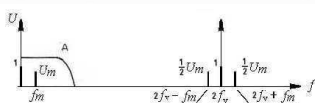
- Fázishelyes, ún. koherens vivőre van szükség a vevőben, különben:

$$X_m \cos(\omega_c t) \cos(\omega_c t + \phi) = (X_m/2)\cos(\phi) + (X_m/2)(1 + \cos(2\omega_c t + \phi))$$

Ha a fázistolás éppen $\pi/2$, $\cos = 0$, és a jel eltűnik.

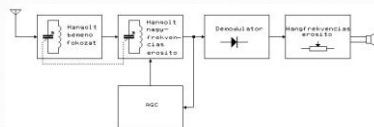
Demoduláció szemléltetése

- Kisugárzott jel $= A_c \cos(\omega_c t) + (A_m/2)\cos(\omega_c t + \omega_m t) + (A_m/2)\cos(\omega_c t - \omega_m t)$.
- Ezt szorozzuk be a $A_c \cos(\omega_c t)$ vivővel:
- Tagok:
 - Az első tag: DC komponens (vivő-vivő) és egy kétszeres vivőfrekvenciájú jel (vivő+vivő).
 - A második tag: vivő+vivő+moduláló jel és egy vivő-vivő+moduláló jel komponens. Utóbbi épp a moduláló jel.
 - Az utolsó tag: vivő+vivő-moduláló frekvenciájú komponens, és egy vivő-moduláló+vivő komponens. Mivel $\cos(-x) = \cos(+x)$, ez szintén a moduláló jelet adja.
- Keletkezik egy DC-vel eltolt hasznos moduláló jel, illetve $2v+m$, $2v-m$ és $2v$ frekvenciájú komponensek



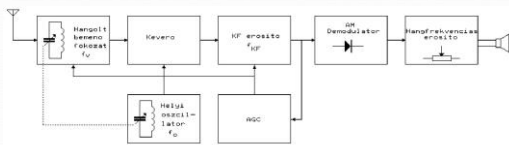
Az egyenes vevő

- A nagyfrekvenciás erősítő: μV - V jelet felerősítse kb. 1 V-ra.
- AGC (Automatic Gain Control): az állandó hangerősség beállításához
- Ezt a fokozatot is az éppén vett állomás vivőjére kell ráhangolni (összekapcsolt forgókondenzátorok).
- A szomszédos adók jele is bekerül zavaróként a hasznos sávba. Hogy mennyire képes a vevő ezt elnyomni és kiválasztani a hasznos jelet, a vevő szelektivitása dönti el. Ezt a nagyfrekvenciás erősítő frekvenciamenete (átviteli függvénye) határozza meg.
- Baj:
 - A szükséges nagy erősítési igény miatt a nagyfrekvenciás erősítő több fokozatú lehet, és minden fokozatban kell hangolható rezgőkört alkalmazni. Ilyenkor probléma lehet a közös tengelyű forgókondenzátorok együttes állítása.
 - A kikapó kimenő vezeték, melyek a felerősített jelet szállítják, könnyen csatoláshoz léphetnek és gerjedést okozhatnak, ha a bemenetre visszajutnak.
 - A rezgőkör sávszélessége a $B = f_v/Q$ (ahol Q a jóslási tényező). Ez az f_v vivőfrekvencia függvénye, vagyis változik a hangolással.



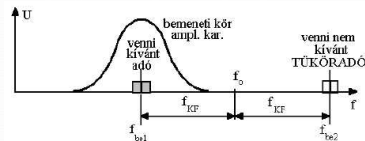
Szuperheterodin vevő

- Egy helyi oszcillátor (HO) is van, amely a beérkező f_v jelet szorzással átkéven egy adott középfrekvenciára (KF).
- A szorzás okán lesz egy olyan komponens, amely a f_v és a f_{HO} különbsége (ez a KF). Ez a jel követi a modulációt és ezek után ezt erősítjük.
- A HO frekvenciáját úgy kell együtt hangolni a bemeneti tunerrel, hogy azok különbsége mindig ugyanazt a KF-t adja ki.
- A módszer nagy előnye, hogy a szükséges nagy erősítést a KF-en végezzük, amely a vételi f_v -tól független. Így nem változik a B sávszélesség, és megfelelő árnyékolással a gerjedést is elkerülhetjük.



Tüköradó

- A vevő a helyi oszcillátor f_{HO} és a venni kívánt adó f_v vivőjének különbségeként állítja elő a KF frekvenciát: $f_{KF} = f_{HO} - f_v$.
- Ugyanakkor ez a különbségi előáll egy másik adó f_{v2} vivőfrekvenciájából is: $f_{KF} = f_{v2} - f_{HO}$.
- Ez az ún. tükörfrekvencia (egymástól 2KF távolságra vannak).
- A tüköradó elnyomása a bemeneti hangolt nagyfrekvenciás erősítő fokozat feladata (olcsó szűrővel megoldható hangolható kivételben is).
- A tüköradó elnyomásának képessége: *tükörszelektivitás*.
- Nagy KF: jó tükörszelektivitás, de rossz szomszédos adó elnyomás. Oka, hogy a $B = f_{KF}/Q$ miatt nagy az erősítés sávszélessége és a szomszédos adót is erősíti. Kis KF-nél fordítva.

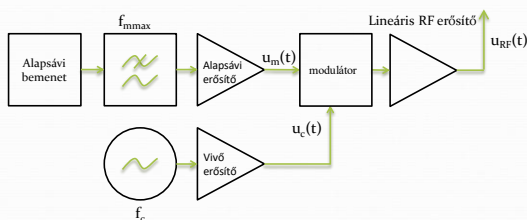


Kétszeres keverés

- Ez a probléma az ún. *kétszeres transzponálással* (kétszeres keverés) oldható meg.
- Ilyenkor két keverő és két KF fokozat van a vevőben:
- Az első RF fokozat: jó tükörszelektivitás, mert $KF = 5$ MHz, így a tüköradó távolsága 10 MHz. E fokozat együtt hangolódik a bemenő körrel, egyszerű a szűrő megvalósítása.
- A második keverésnél a HO frekvenciája pl. 5,1 MHz, így a második KF 0,1 MHz-re adódik. A második KF fokozat erősítője ezt a 100 kHz-es jelet fogja erősíteni, ahol már a jó szelektivitás biztosítható.
- KH és RH esetén a KF 455 kHz (AM adók), FM esetén URH sávban 10,7 MHz.

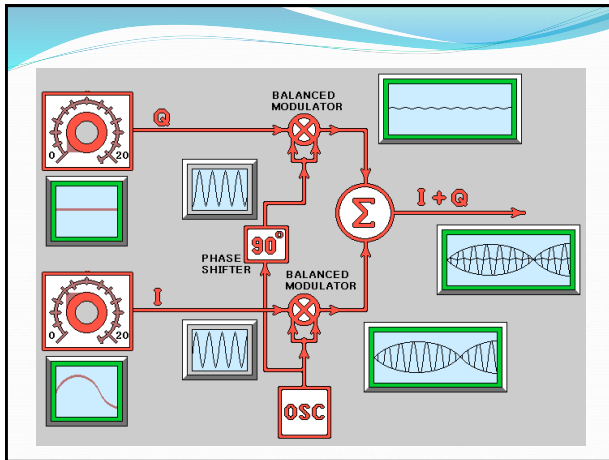


AM adó általános blokkvázlata



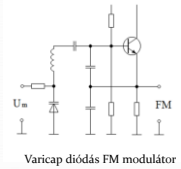
Analóg QAM

- A vivő frekvenciája állandó, de önmagához képest az időben el van tolva: sin és cos verzióban is létezik.
- Egy vivővel két független infó is átvihető.
- A moduláló jeleket két különálló ún. *balanszmodulátorra* vezetik rá, amelyek a sin ill. a cos vivőre ültetik azokat.
- A kimenete a két modulátornak algebraiailag kerül összekadásra, amely a ténylegesen kisugárzásra kerülő modulált QAM jel.
- Ez a jel DSB jel, a vivő azonban (részben vagy teljesen) elnyomható.
- Színes TV esetén a színsegédvivő modulálatlan csomagja, a burst is átvitelre kerül, amelyből a fázishelyes vivő a vevőben rekonstruálható.
- Vételkor a modulált jelből kell kinyerni a vivőt, melyet ismételtelen el kell tolni az időben hogy a demoduláláshoz létrejöjjön a sin és cos verzió.
- Ezek a vivők aztán két demodulátorra jutnak, melyek kimenetén megjelennek a moduláló jelek.



FM

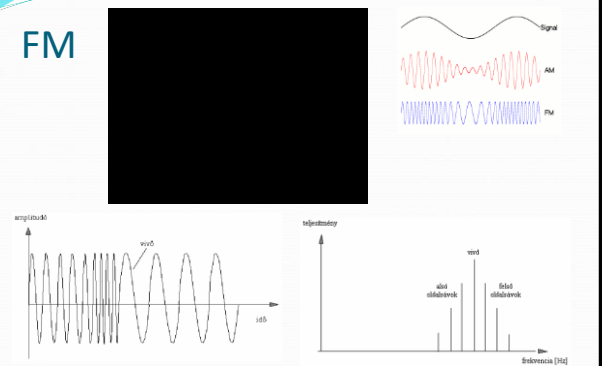
- A moduláló jel amplitúdójával arányosan a vivő frekvenciája változik, amplitúdója állandó.
- A moduláló jel frekvenciája azt határozza meg, milyen időközönként változik majd meg a modulált jel frekvenciája.
- A legnagyobb amplitúdójú moduláló jel változáshoz tartozik a legnagyobb frekvenciaváltozás a vivőben, ezt nevezzük Δf frekvencialeketnek.
- Modulációs mélység az $m = \Delta f / f_{\text{vivő}}$ hányados, amelynek ellentétben az AM-el, itt semmi jelentősége nincs.
- Fontos viszont a modulációs index, amely a $\Delta f / f_{\text{moduláló}}$ hányados.
- Az FM jel sávszélessége a modulációs indextől függ.



FM spektrum

- FM esetén a vivő környezetében jelennek meg az oldalsávok, megfelelő ütemben változva és adott távolságra. A spektrum meghatározása sokkal nehezebb, mint AM esetén.
 - Ha a moduláló feszültség kicsi, a modulációs index is az. Ilyenkor a vivő mellett $f_c \pm f_m$ távolságra két oldalsáv is megjelenik, de maga az f_m nincs benne a spektrumban. Kis leketnél tehát nagyon hasonlít a spektrum az AM-re.
 - A moduláló feszültség, és egyben az index növelésének hatására, az oldalsávok amplitúdója nő, azonban meglepő módon a vivő amplitúdó csökken. Tovább növelve újabb oldalsávok jelennek meg $2f_m, 3f_m, 4f_m$ stb. távolságra, majd a vivő ismét növekedni kezd. Előfordulhat, hogy az oldalsávok nagyobb amplitúdójúak, sőt, hogy vivő egyáltalán nem jelenik meg, vagy éppen negatív is válhat (úso fókusz fordulás). A sávszélesség elvben fetszőlegesen nagygyá is válhat.
 - A spektrálvonalak távolsága (szinuszos moduláló jel esetén) a moduláló jel frekvenciájától függ, nem pedig a leketnél! Bár elsőre meglepő, de a leketfrekvencia nincs képviselve a spektrumban.

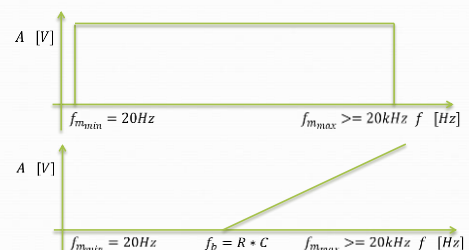
FM



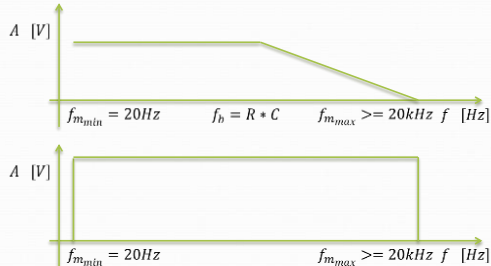
Előkiemelés / utóelnyomás

- Az FM demodulálásakor keletkező zajfeszültség amplitúdója arányos a frekvenciájával, azaz FM üzemben a vevőkészülék hangszórójából magas hangú, sersistgő zaj hallatszik.
- E zavaró zaj csökkentése céljából a vevőkészülékben a magas hangokat csillapítják (utóelnyomás).
- Az átvitel linearitása érdekében, az adóban a magas hangokat (a modulátorra bocsátás előtt) ugyanilyen mértékben kiemelik (előkiemelés).

- A kiemelés (preemfázis) egyszerű RC áramkörrel történik, melynek időállandója 50 μs

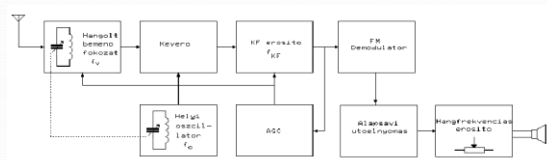


- A vevőben alkalmazott deemfázis-áramkör a hasonló időállandójú vágás révén biztosítja a lineáris frekvencia átvitelt

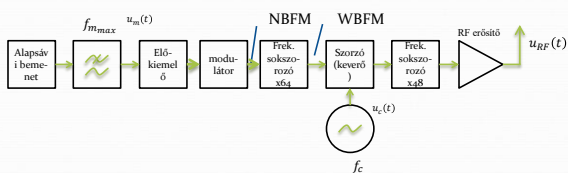


FM vevő

- Demodulálás:
 - meredekségdetektor
 - fázisdiszkriminátor
 - PLL
 - Tutorial videó!



Direkt FM adó

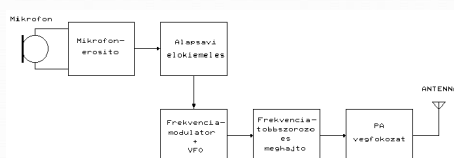


AM / FM modulációt használó műsorszóró rádiózás összehasonlítása

- Az amplitúdómoduláció (AM):
 - keskeny sávzélesség és alacsony hangminőség (beszédre jó)
 - egyszerű és olcsó vevőkészülék
 - rossz hatásfokú adás, nagy adóteljesítmények
 - általában kisebb vivőfrekvencia, nagy adótorony, nagy lefedettség
 - zajérzékeny
- A frekvenciamoduláció (FM):
 - az adó hatásfoka jobb, teljesítmény, toronymagasság és lefedettség csökken
 - kevésbé érzékeny a külső eredetű zajokra
 - sávzélessége nagyobb, jobb a hangminőség
 - modulátor és demodulátor bonyolultabb

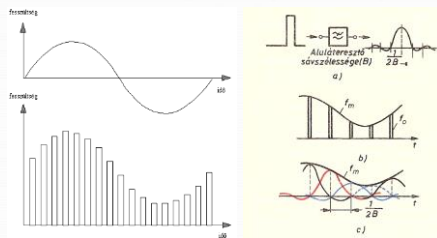
Adás

- A vivőfrekvenciát pontosan kell tartani.
- Az adási frekvenciát meghatározó oszcillátort különös gondossággal építik meg.
- Az esetleges további adási frekvenciákat ennek többszöröseként, frekvencitöbbszörözővel szokták előállítani.
- Hibája ennek a rendszernek, hogy az alappfrekvencia megváltozása, elhangolódása többszörözve jelenik meg a későbbiekben, hiszen az eltolódás is felszorozódik. Ez kiküszöbölhető a keveréses adófrekvencia beállításával.



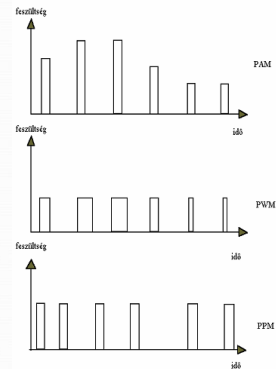
PAM

- Pulzus AM
- Mintavételezés: se nem analóg, se nem digitális
- Demoduláció = aluláteresztő szűrő



PAM, PWM, PPM

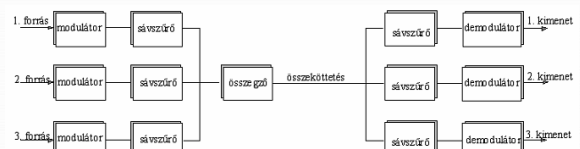
Az impulzusnak három paraméterét tudjuk változtatni a moduláló jel függvényében:
 az amplitúdóját,
 a szélességét,
 a számára kiosztott időben elfoglalt helyét.



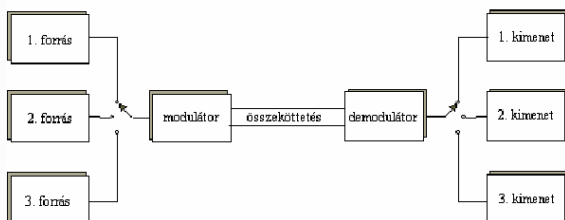
A multiplex

- A **multiplexelés** azt jelenti, hogy egyidejűleg több jelet viszünk át egy adatátviteli csatornán anélkül, hogy a jelek elveszítenék azonosíthatóságukat.
- A **multiplexelést** nem egyenlő a **modulációval**.
- A moduláció azt teszi lehetővé, hogy a kisfrekvenciás, vagy kényelmetlenül kezelhető jeleket rövidhullámú vivőn továbbítsuk.
- A multiplexeléssel több modulált jelet viszünk át ugyanazon időtartam alatt. (Különbözőképpen modulált jeleket is multiplexelhetünk.)

FDM



TDM

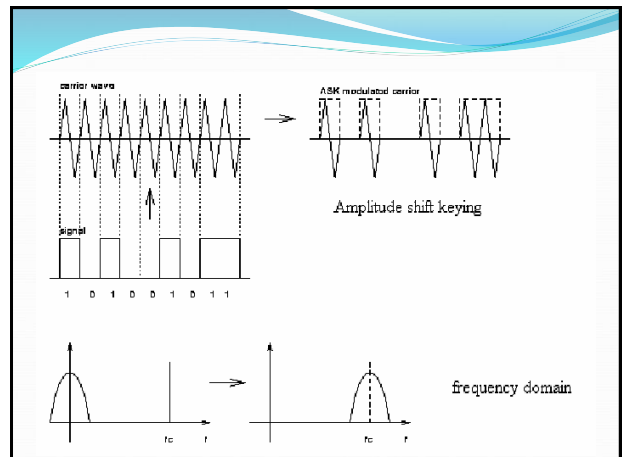


Digitális modulációk

- Az analóg műsorszóró, rádió- és tévéadók AM és FM modulációt alkalmaznak.
- A digitális műsorszórás digitális modulációs eljárásokat alkalmaz.
- A legegyszerűbb a PCM (pulzuskód moduláció), ahol adott mintavétel mellett adott bitszámú szavakba kódolunk.
- Az átviendő adatok mellett egyéb információt is csatolnunk kell, mint a hibajavítás, keretformátum, szinkron stb. Ezek együttesét redundanciának nevezzük (lásd később).
- A moduláció lehet vivős vagy vivőmentes.

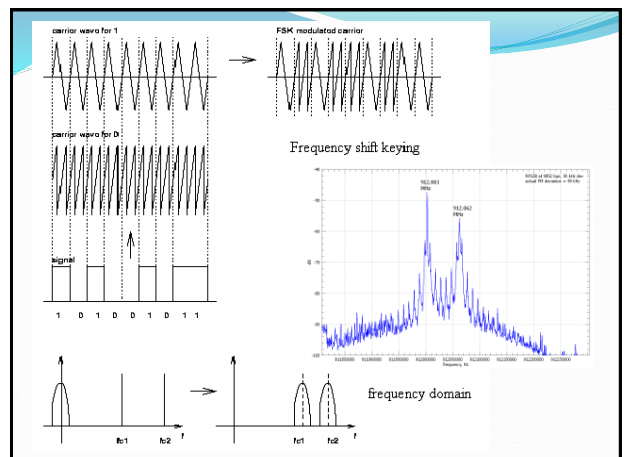
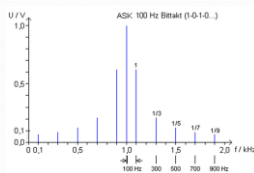
Vivős digitális modulációk

- A diszkrét AM modulációt ASK-nak nevezzük. A rövidítés feloldása: Amplitude Shift Keying.
- A szinuszos vivő ki-be kapcsolgatásával bináris átvittet tudunk megvalósítani.
- Ha van vivő, akkor a bit 1, ha nincs akkor nulla.
- Hasonlóan, ha a szinuszos vivő frekvenciáját kapcsolgatjuk (állandó amplitúdó mellett), akkor FSK-ról beszélünk. Ilyenkor az egyik bitet az f_1 , míg a másikat egy f_2 frekvencia hordozza.
- Vegyük észre, hogy egyszerre mindkettőt is alkalmazhatjuk, a vivőnek frekvenciája és az amplitúdója is hordozhat információt!



ASK spektrum

- Logikus válasz: a vivőfrekvencia ki-be kapcsolgatása miatt a vivő jelenik meg és a kapcsolgatás ütemében eltűnik majd megjelenik.
- Ez hibás elképzelés, ugyanis a kapcsolgató jel frekvenciájának (spektrumának) is meg kell jelennie valamilyen formában az ASK jel spektrumában.
- Példa: 1000 Hz-es vivő és egy 100 Hz-es kapcsolgató jel
 - A 100 Hz-nek 0,01 s felel meg. Ilyen ütemben jelenik meg a vivő ill. tűnik el az időtartományban.
 - Ez a spektrumban úgy látszik, hogy a vivőkomponens mindkét oldalán megjelennek a 100 Hz-es különbség páratlan egészszámu többszörösei, azaz 100, 1300, 1500 Hz stb. ill. 900, 700, 500 Hz stb.
 - A kapcsolgatás nem más, mint egy ún. kapuzó jellel való szorzás. A kapuzó jel 1 ill. 0 értékű, üteme pedig 100 Hz. E négyesjegyűnek a spektrumát a Fourier-tétel megmondja nekünk az alaphang és tőle páratlan számú többszörösök exponenciálisan csökkenő amplitúdóval. Márpedig ha ezzel a jellel beszorunk egy vivőt, a spektrumnak tüköröznie kell ezt a hatást.

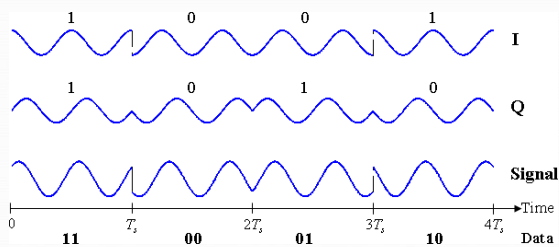


PSK

- PSK: fáziskapcsolgatás, a 0 és 1 biteket ugyanaz a frekvenciájú és amplitúdójú szinuszhullám jelképezi, de egyiknél a bitidő elején „felé” indul, a másiknál „lefelé”.
- Ettől még ugyanannyi teljes periódus fér bele a bitidőbe. Ha ez kétállapotú (bináris), akkor a fázis 0 vagy 180 fok.
- Más szóval: akkor a legkisebb a bithibaarány, ha a lehető legnagyobb a különbség a két jel között, azaz a $\Delta\Phi$ fázislöket éppen 180 fok.
- Demoduláláskor csak akkor különböztethető meg a két jel (1 és 0), ha a kezdőfázist ismerjük és átvisszük (koherens rendszer).

- Ha n -bit alkot egy szimbólumot, az állapotok száma megnő (2^n)
- QPSK: nem két, hanem négy állapot van (00, 01, 10, 11), kétbites szimbólumokat vihetünk át.
- Minél több állapot, annál kisebb elfoglalt frekvenciatartomány (lineáris csökkenés), hozzá exp. adóteljesítmény növekedés tartozik.
- Az átvihető adat mennyisége megduplázódik, ahhoz képest, mintha az amplitúdót (AM) vagy a frekvenciát (FM) modulálnák. Az eljárás során bitpárokat képeznek, s az így előálló négy esetnek megfelelően a vivő fázisát négy különböző állapotba kényszerítik.
- A QPSK moduláció miatt az adatok sebességének mérésére nem a bitsebességet használják, hanem az ún. szimbólum sebességet (**Symbol Rate** vagy röviden **SR**). Egy szimbólumnak egy bitpár felel meg. Ebből következik, hogy a bitsebesség kétszerese a szimbólum sebességnek.

QPSK (45, 135, 225 és 315 fokos eltolással)

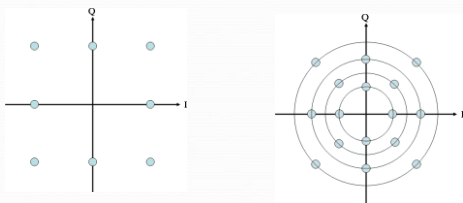


Digitális QAM (4QAM, 64QAM)

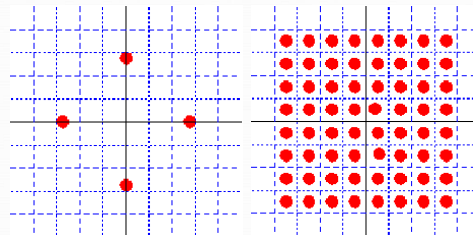
- Digitális QAM nem ugyanaz, mint az analóg.
- Az amplitúdó és a fázis is hordoz információt: legalább az egyikben különbözik két állapothoz tartozó vektor.
- A QAM elé írt szám jelzi, hogy hány állapotú a moduláció.
- Ahogy az amplitúdó is változik, több állapotú, pl. 64QAM vagy 256QAM is lehetséges.
- A 64QAM a DVB-C, a digitális kábeltévé eljárása, amellyel 6 bites szimbólumok vihetők át.
- <https://www.youtube.com/watch?v=lyzpt3bKTTI>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ixGncBvWv6U>

Konstellációs diagramok

- 8QAM, 16QAM



QPSK és a 64QAM



Modulációk - csoportosítás



DVB

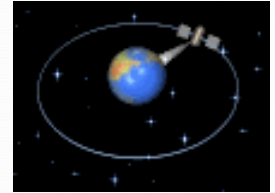
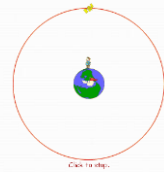
- DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial)
 - Földfelszíni sugárzásra
 - Különleges moduláció, hogy a közvetlenül érkező illetve a visszaverődő jelek vételéből adódó interferenciát kiküszöböljék.
 - A sok vívőfrekvenciát használó OFDM modulációnál az egyes vívők keskeny sávselességgel és így alacsony átviteli sebességgel dolgoznak, viszont igen sok vívőfrekvenciát (több ezret) használnak fel a teljes műsor átviteléhez. Ennek következtében nagy időtartományban (500 millisekondum) tudja a rendszer feldolgozni a késleltetéseket.
- DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite)
 - Műholdas műsorszórás
 - QPSK modulációt használja a műsorok sugárzásához és egy analóg csatorna sávselességen akár 4-6 digitális csatorna is sugározható.
- DVB-C (Digital Video Broadcasting-Cable)
 - A kábelrendszereken keresztüli továbbítására
 - QAM moduláció
 - Így egy 8 MHz-es csatornában 64-QAM modulációt használva akár 38,5 Mbit/s-os nettó sebességgel is továbbíthatók a digitális információk.

Műholdas műsorszórás

- Földi URH: 8 MHz csatorna, kevés hely, kevés csatorna
- Műhold: sok csatorna, nagy sávzélesség (27-36 MHz), mert mikrohullámú az összeköttetés (GHz feletti)
- Besugárzott terület nagy, teljesítmény 70-100W
- Paraboloid antenna kell hozzá, csőtápvonal, LNC erősítő a fejben, kettős keverés



- A műsorszóró műholdak a Föld felszíne felett 36000 km magasan, geostacioner pályán vannak.
- Ennek hatása, hogy keringési idejük megegyezik a Föld forgási idejével, a Földről nézve állni látszanak.
- Léteznek más pályák is, mint pl. a Molniya vagy a LEO (Low Earth Orbit).
- Ezeket egyéb szolgáltatások (GPS, adatkommunikáció, felderítés, meteorológia) használják. 200-1200 km-es magasság.
- A különböző frekvenciájú komponensek más ideig terjednek!
- Több tízezer km esetén az időbeni késleltetések is észrevehetők.
- Ilyen távolságok áthidalására a mikrohullámú összeköttetés alkalmas.

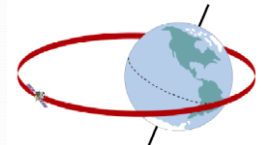
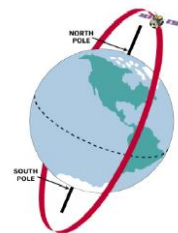
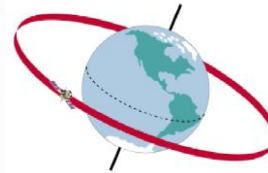


- Antennák irányítottak alulról felfelé és terítenek felfelé lefelé
- Mikrohullámú összeköttetés feltétele az optikai rálátás
- A földön kb. 50 km (utána ismétlő kell)
- A műhold élete = a pályakorrigáláshoz szükséges üzemanyag mennyisége

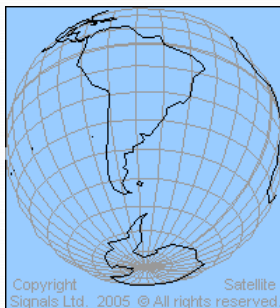


Pályák

- Orbitális, elliptikus, geostacioner

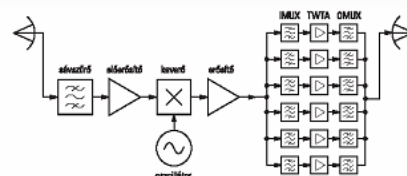


- Mit lát a műhold adott helyről?
- Sirius műhold
- 47 kép, mindegyik 30 percre felel meg



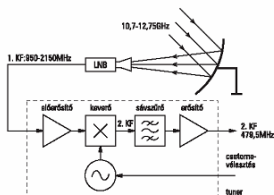
Transzponder

- A műsorszórásra kihasznált frekvenciák: 4-6, 12-14, 20-30 GHz, ahol a nagyobb mindig az ún. uplink, míg a kisebb a downlink frekvencia.
- Erre a szétválasztásra azért van szükség, mert a műhold gyakran ugyanazzal az antennával veszi és adja (ismétli lefelé) az adást.
- A műhold gyakorlatilag egy ismétlő-terítő eszköz, mely „egyben” megkapja több csatorna multiplex jelét, majd azt megfelelően szétválasztja (szűr) és erősíti, végül pedig nagy nyálábót létrehozva szétteríti a földfelszínen.



Vevőegység

- DVB-S példája: set-top-box, QPSK moduláció, MPEG 2 kép
- <https://www.youtube.com/watch?v=OpkatlqkLO8&list=RDCMUCqZQJ460oa9wIfMPbYc6oQQ&index=6>



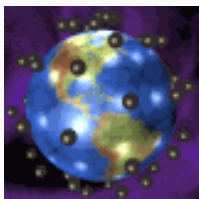
Molniya pályája

- Elliptikus pálya
- 12 órás keringés 2 holddal, vagy 6 órás négygyel
- Előny: közel megy a pólushoz, ami a geostacioner pályáról nehezen látszik (Oroszország)
- Nem csak a Föld körül lehetséges



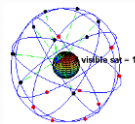
LEO

- Alacsonyabban vannak, nagyobb teljesítmény éri a Földet
- Max 2000 km magasan, max 128 perc megkerülési idő
- Példa: Iridium, 11 pálya * 6 hold = 66 műhold
- Átlapolódnak a besugárzott részek, folytonos telefonálás lehetséges
- ISS: 340 km, Hubble 595 km



Helymeghatározó rendszerek

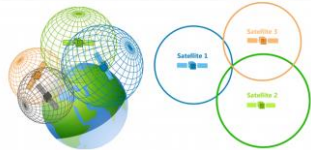
- GPS
- USA katonai fejlesztés, pontatlanságát mesterségesen állítják be polgári célokra
- 24 holdat használ, 20 ezer km magasan, 31 hold van fent tartalék céljából (élettartam)
- Legalább négy mindig látszik, sík terepről 7-12 hold látható
- Egy műhold naponta kétszer kerüli meg a földet
- Zavarforrások: visszaverődések, elektromágneses jelek, légkör változásai



- A rendszer működése azon alapszik, hogy a műholdak egyszerre, azonos időben sugározzák a pontos idő, és saját pozíció-adataikat. A pozíció meghatározásához min. három műhold adatainak vétele szükséges, négyből elvben magassági (3D) adatok is számíthatók.
- A gyakorlatban azonban a rendszer ismert pontatlanságait figyelembe véve legalább 4 műholdat használnak a pozíció meghatározásához. A geodéziai műszerek minimum 5 műhold folyamatos vételét igénylik.
- Miután a vevő meghatározta a műholdak pozícióit, képzeletbeli gömbfelszínek metszeteiként határozza meg a Földi pozíciót.

- Két atomóra van, amelyek frekvenciája biztosítja a kódokhoz szükséges alapfrekvenciát (időzítéseket)
- A távolságok a jel terjedési sebessége és az idő információ alapján számolhatók a műhold és a vevő között.
- Az órák járására érzékeny.
A spec. relativitás elmélet szerint a Földről nézve mozgó holdon az idő lassabban telik, amely 7 μ s késést okoz naponta. A gravitációs hatás 45 μ s sietést okozna naponta, ezt a földi állomások korrigálják.
- Ettől a 15 méteres pontosság 2 perc alatt elromlana, egy nap alatt pedig 11,4 km-re nőne.

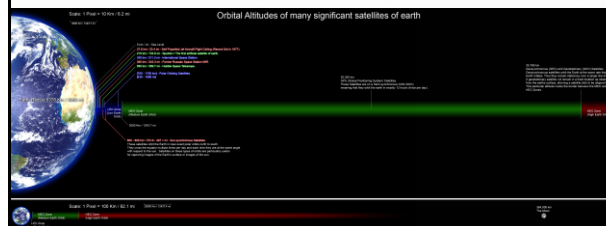
- Háromszögelés, három gömbből
- Csak akkor ad pontos eredményt, ha a vevő órája szinkronban jár a műholdakéval. Ezt a 4. műhold segítségével oldják meg: ha az óra szinkronban jár, akkor a 4., az r₄ sugarú gömb pontosan a három gömb metszéspontján megy át, ha viszont nem áll fenn a szinkron, akkor minden gömbhármás más és más metszéspontot ad. Ezért a vevőberendezés úgy korrigálja a saját órájának a beállítását, hogy a négy metszéspont végül egy pontba kerüljön. Ezért kell legalább 4 műholdat figyelni, és ezért nem kell atomórát építeni a vevőkészülékbe.



- A GPS műholdak két frekvencián sugároznak, ezeket L₁-nek (1575,42 MHz) és L₂-nek (1227,6 MHz) nevezik. Minden műhold ún. szórt spektrumú jelet sugároz.
- Két kódot sugároz, a pontosabb helymeghatározáshoz valót csak katonai eszközzel lehet dekódolni.
- Korábban volt egy zavaró jel, ami csak párszáz méteres pontosságot okozott, de ezt 2000-ben leállították.
- https://www.youtube.com/watch?v=8eTII9_57g&list=RDCMUCqZQJ460oagwIfMPbYc6oOQ&index=12



- **Galileo:** EU változat
- Célja, hogy az európai országok számára olyan nagy pontosságú helyzetmeghatározó rendszert hozzon létre, amely független az amerikai GPS és az orosz GLONASSZ rendszerektől.
- A rendszer 2016. december 15-én kezdte meg működését 18 műhoddal, és 2020-ra várható a teljes kiépítettség, illetve globális elérés, 24 műhoddal, amik már folyamatos lefedettséget fognak biztosítani.

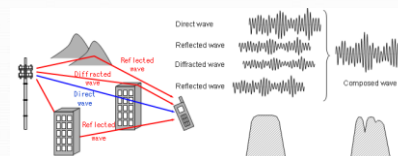


Mobil kommunikáció

- Ha legalább az egyik végpont mozog (amely csak vezeték nélküli lehet).
- Nemzetközi hivatalkok szabályozzák a kommunikációt (frekvenciák, adók teljesítménye).
- A mobil kommunikáció legegyszerűbb fajtája a *diszpécser* szolgálat: egyirányú szimplex átvitel, adó/vevő kapcsolója van a készüléknek.
- A duplex átvitel kétirányú. Két frekvencia kell, az egyik az adásé, a másik a vételé. Az adót, vevőt és az antennát az ún. duplex szűrő egyesíti.
- https://www.youtube.com/watch?v=iJZG9x_VOWA
- <https://www.youtube.com/watch?v=DXt-rXDugM8&list=RDCMUCqZQJ460oagwIfMPbYc6oOQ&index=3>

A többutas terjedés

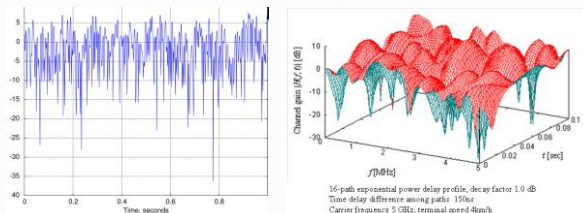
- A legnagyobb probléma: a *többutas terjedés*.
- A vevőbe nem csupán az adóantennából érkező közvetlen hullám érkezik, hanem a Földről és a tereptárgyakról visszaverődve, ugyanannak időben késleltetett és csillapított verziója is.
- Ennek mértéke, ingadozása a mozgás következtében állandóan változik.
- A vételi térerősség ilyenfajta ingadozását *fading*-nek nevezzük.



- Analóg technikánál ill. alacsony bitsebességű átvitelnél (analóg rádiók, TV, 40 Mbps alatti digitális átvitel), a fading jórészt szélessávú, frekvenciafüggetlen, így csak időben változó térerősségingadozást okoz.
- Ez esetben az ún. fadingtartalékkal védekezhetünk, ilyenkor az adóteljesítmény növelése hatásos ellenszer, különösen digitális esetben, ahol ezzel garantálhatjuk a jó jel-zaj-viszonyt és bithibaarányt.
- Egyéb esetekben a fading frekvenciafüggő, azaz szelektív, ez ellen az adóteljesítmény növelése nem segít.
 - Védekezés 1: *adaptív kiegyenlítés*, amikor valahogy állandóan mérjük a csatorna átvitelt és azt szűrőkkel dinamikusan kiegyenlítjük.
 - Védekezés 2: *diversity-rendszer*, amely vagy térben vagy frekvenciában használ több átviteli utat.
 - Térdiversity esetén két vevőantenna van (vagy két adó)
 - Frekvenciadiversity esetén két különböző frekvencián megy át az adat egyidejűleg.
 - Idődiversity = TDM
- Az ötlet egyszerű: két csatornás átvitelnél kisebb a valószínűsége a nagy hibának.

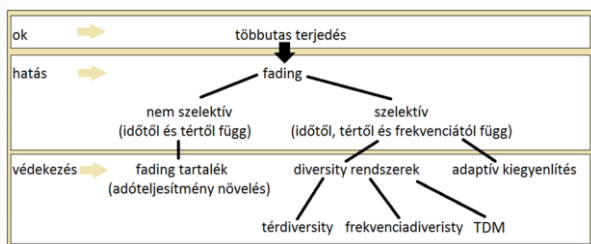
- A sok, véletlen nagyságú és fázisú vektor eredőjét az ún. Rayleigh-fading (gyors fading) modell írja le
- Ez akkor lép fel, ha mobil kommunikáció esetén a bázisállomás és a vizsgált pont között mozgó tárgyak vannak. Ha nincs mozgó tárgy, a térerősségképző áll, időben csak akkor mozdul el, ha a vevőantenna mozog.
- Ezt azonban a tereptárgyak, fák, növényzet árnyékolja és kiátlagolja (ez a lognormál fading).
- A bázisállomástól távolodva a térerősség bár enyhén ingadozik, 40 dB/dekád-dal esik.
- Gyors mozgás esetén a Doppler-hatással is számolni kell.

A Rayleigh-fading



A szelektív fading

- A szelektív fading által létrehozott „lyukak” sáv szélessége 100 Hz nagyságrendű lehet.
- Az adó spektrumában mozogva gyakran eltalálják a vivőhullámot és lecsökken a vivőhullám amplitúdója, miközben az oldalsávokban nem lép fel jelentős változás.
- Felborul a vivő-oldalsáv-arány, ami lehetetlenné teszi a torzításmentes vételt.
- További minőségromlást jelent, hogy a vevőkben alkalmazott automatikus erősítésszabályozás (AGC) is a vivőt használja referenciaként. A vevő AGC a lecsökkent vivőre úgy reagál, hogy megnöveli az erősítést, azaz közvetve a hangerőt.
- A hallgatót kettős hatás éri: torzul a vett jel, és megnő a hangerő, s ez a hullámterjedéstől és az ionoszféra állapotától függően 2-30 másodpercenként ismétlődik.



Antennák

- Az antenna az elektromágneses hullámok adására és vételére alkalmas, általában reciprok eszköz.
 - A nagyteljesítményű adó mérete lehetővé teszi a kis vevőantennát a vevőben.
- A rádiócsatorna a vevő és az adóantenna közötti közeg, ahol a rádióhullám terjed.
- A szakaszcsillapítás az egyik legfontosabb paraméter: $a_{cs} = 10 \log(P_{be}/P_{ki})$, azaz az adóantennába betáplált és a vevőből kivehető maximális hatásos teljesítmény aránya.
- Irányított egy antenna, ha a sugárzás erőssége eltérő az adott irányokban (iránykarakterisztika).
- Izotróp antenna: elvi jelentőségű.



Antennanyereség

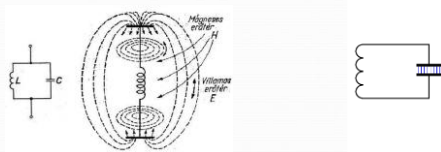
- Az irányított antenna lényege, hogy egy adott „fő” sugárzási irányba koncentrálja az energiát.
- **Antennanyereség:** az a dB-ben megadott teljesítményviszony, amely megadja, hogy a főirányba kisugárzott teljesítménysűrűség hányszorosa az ugyanabba az irányba sugárzó izotróp antennához képest (azonos táplálás mellett).

Néha előfordul, hogy nem izotróphoz hasonlíthatunk.

- Az antenna hangolt, nyitott rezgőkörnek tekinthető: a rezgőkör elemeinek méretét a hullámhossz nagyságrendjébe választjuk.
- A rezgőkör és a szabad tér között közvetlen kapcsolat jön létre, az elektromos energia kisugárzódik (szórt tér).
- Zárt rezgőkörben, L és C „koncentrált”, míg itt az antenna hossza mentén elosztva jelentkezik az induktív és kapacitív tulajdonság.
- A frekvencia meghatározza az antenna l -hosszát. Az antenna hangolható: hosszúsága egy sorba kapcsolt L-lel nő, sorba kapcsolt C-vel csökken. (A sugárzási karakterisztika is módosul ekkor.)
- Az üzemi jellemzők l/λ arányában változnak. Legjobb egy szakadással lezárt tápvonalként számítani, amelyen állóhullámok alakulnak ki. Az ilyen $\lambda/4$ többszöröseinél rezonanciát mutat:
 - ptl többszörösénél az impedancia zérus = soros rezgőkör;
 - páros többszörösénél impedancia maximum = ph rezgőkör.

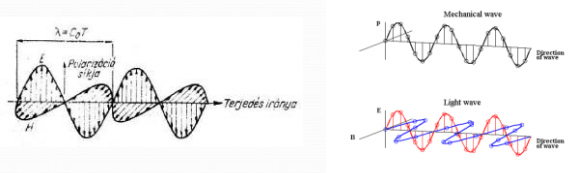
Antenna előállítás

- A tápvonal „közeli két vezeték esetén” nem sugároz, mert a vezetékakak távolsága λ -hoz képest kicsi.
- Ha a vezetékakakat szétnyitjuk egy közös tengelyvonalba: nyitott rezgőkört kapunk, ami sugároz: szimmetrikus dipól.
- Az ilyen antenna $\lambda/2$ egészszámú többszöröse hosszúságú lehet
- A valós ellenállásérték soros LC-esetben 100 Ohm, párhuzamos esetben kOhm nagyságrendű.



B és E tér sugárzásokor

- Elméletben „lineárisan polarizált síkhullám” terjed, de a terjedési út problémái miatt előfordulhat az adó és a vevő antenna között.
- A sugárzás okozta felületegységre eső elektromágneses teljesítmény a Poynting-vektor: $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$
- https://www.youtube.com/watch?v=FWCN_u15ygy



- A hullámhossz, a c terjedési sebesség és az f közötti kapcsolat: $c = f\lambda$.
- A villamos tér mellett mágneses is kialakul, hasonlóan hagyja el az antennát, de síkja merőleges a másikra.
- Az elektromágneses hullám erősségét a villamos összetevő nagyságával adjuk meg (V/m).
- Ez a térerősség fordítottan arányos a sugárzótól (adóantennától) mért távolsággal és arányos a kisugárzott teljesítmény négyzetgyökével.
- A sugárzás polarizációja megegyezik szerint egyenlő a villamos erőtér polarizációs síkjával.
- A vevőantenna akkor ad le maximális teljesítményt, ha polarizációs síkja megegyezik a sugárzott jelével.

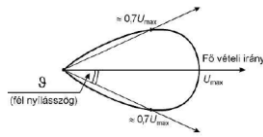
Talpponti impedancia

- Az antenna bemenetére kapcsolt RF feszültség és RF áram fázisban van, ha az antenna rezonanciafrekvenciáján dolgozunk. Ekkor csak valós (U^2/I), hasznos teljesítmény lép ki, az antenna valamekkora ohmos ellenállást mutat (U/I). Ezt az ohmos ún. talpponti ellenállást látja az adó, mint lezárást.
- Ha a rádióadó kimentési ellenállása megegyezik az antenna talpponti ellenállásával, *illesztett* lezárásról beszélünk.
- Ha nem az antenna rezonanciafrekvenciáján dolgozunk, akkor az U és az I között fáziseltérés fog fellépni. Ekkor a hányados sem ohmos, hanem induktív vagy kapacitív összetevőket is fog tartalmazni, ez a talpponti impedancia.
- Ilyen esetben a szükséges illesztettség eléréséhez az antennát az ún. antennaillesztővel „ki kell hangolni”, azaz a reaktív komponenseket ki kell egyenlíteni benne.
- Ha az antenna túl rövid (ekkor rezonanciafrekvenciája túl magas), akkor vele sorbakapcsolt tekercs kell; ha az antenna túl hosszú, akkor kondenzátort kapcsolnak vele sorba.
- Ez a talpponti impedancia függ a típustól, mérettől, fölfelszín feletti magasságtól stb.

Sávszélesség, nyílásszög

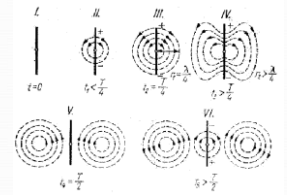
- Sávszélesség: a 3 dB-es pontok határa. Minél nagyobb az antenna felülete, annál nagyobb a sávszélessége.
- Nyílásszög: megadja, hogy az antennát (mindkét irányban) elforgatva a főiránytól, mikor érjük el a -3 dB-es (feszültség dB) jelhatárt. Ez kb. a feszültség 70%-a.
- Ahhoz, hogy az adóantenna félteljesítményű határát érjük el, a nyílásszög kétszereséig kell elfordítani.
- Az ERP (Effective Radiated Power) jelentése: effektív kisugárzott teljesítmény, az antenna fő sugárzási irányában.

ERP = adóteljesítmény - kábelvesztés [dB] + antennanyereség [dB].

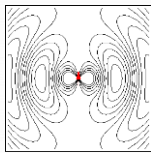


Példa: dipólantenna

- Két pólusból áll, mint egy szétgyírt kondenzátor. A két fegyverzet az antenna két fél rúdja (pólusa).
- A kondenzátor kezdetben töltetlen. Ha egy T periódusidejű rezgés tölteni kezd, az első fázisban ($t < T/4$) a felső ág pozitív, az alsó negatív lesz.
- A kialakuló töltés a $t = T/4$ időpontban maximális értékű. Ezután ($t > T/4$) a töltés csökkenni kezd és az erővonalak $t = T/2$ időpontig összehúzódnak.
- A töltés $T/2$ -ben megszűnik és a töltésnek nem lesz kapcsolata az antennával, leszakad arról.
- $T > T/2$ után megkezdődik az antenna ellentétes felpolarizálása, amely ezt a bezárt erőteret magától eltaszítja és az fénysebességgel terjedni kezd.



- Dipólus távoltéri sugárzása

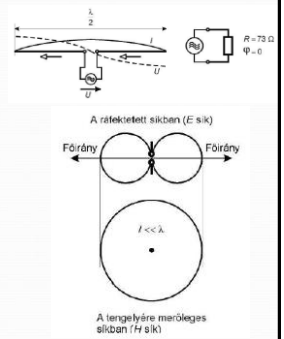


- Kis dipólus
- Mikrohullámú sugárzás $\lambda/4$ antenna esetén

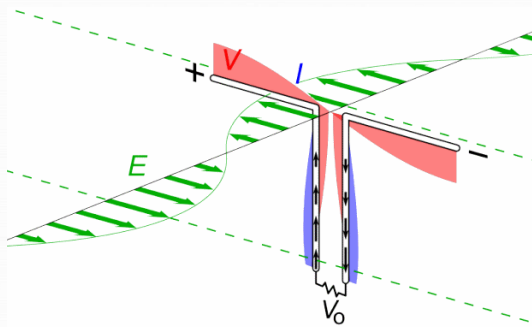


Félhullámú dipól

- Rezonancia, ahol a hullámhossz fele egyenlő antenna hosszával ($\lambda/2$ szabály)
- Középen táplálás
- Az antenna végén áramminimum van, és mivel a feszültség ehhez képest 90 fokkal van eltolva, ennek az antenna végén maximuma van.
- A táplálásnál, a dipól felénél ez épp fordítva van.
- A rezonanciafrekvencián az impedancia ohmos (valós) és meglehetősen kis érték.
- A dipól a ráfektetett síkban „nyolcas” sugárzó, míg a rá merőleges síkban körsugárzó.
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZaXm6wau-jc>

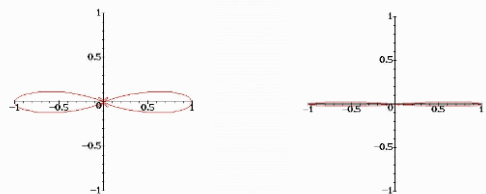


Dipólus vevőantenna



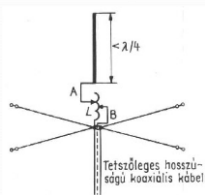
$$d = \lambda/2$$

- A sugárzási profil (irányítottág = a Poynting-vektor irányfüggése) változtatható az antennák számával és irányszögével egy antenntömbben. A karakterisztika forgatható elektronikusan, fizikai elmozdítás nélkül.
- Bal animáció: sugárzási profil egy 4-részes antenntömb esetén, azonosan $\lambda/2$ távolságra.
- Jobb animáció: sugárzási profil húsz elem esetén. A profil laposabb, élesebb.



$$d = \lambda/4$$

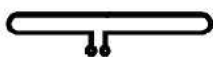
- Nem csak az ideális $\lambda/2$ antennát, hanem mivel azok nagyon magasak is lehetnek, $\lambda/4$ -es vagy más arányú antennák is használhatók.
- Az is lehet, hogy már a $\lambda/4$ is túl magas lenne (általában a vevőben).
- Ez nem az üzemi frekvencián rezonál, és talpponti ellenállása kapacitív összetevőt is tartalmaz, ezt egy induktivitással kompenzálnunk kell, hogy a talpponti ellenállás valósá váljon (ún. hosszabbító tekerecs).
- A tekerecs nem vagy csak kismértékben sugároz, csökken az antenna hatásfoka és sávszélessége.



- A magasságot úgy is csökkenthetjük, hogy az ún. tetőkapacitással terheljük az antenna végét.
- Ezzel csökkentjük az antenna rezonanciafrekvenciáját, mint ahogyan a közönséges rezgőkörökben is a kapacitás megnövelése csökkenti a frekvenciát.
- A túlságosan rövidre méretezett sugárzókat is rezonanciára bírhatjuk így.
- A terheletlen függőleges antennához képest az ilyen antennának nagyobb a sugárzási ellenállása, tehát jobb a hatásfoka.
- A sugárzási karakterisztika torzulhat.

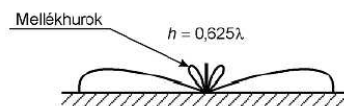
Dipól fajták

- Az antenna végén is lehet táplálni.
- Két félhullámhosszú vezetőt párhuzamosan kötve, meghajlítva ún. hajlított vagy hurok dipólhoz jutunk.
 - Mivel a felső vezeték felénél feszültségminimum van, itt az antenna földelhető, tartórúdra is erősíthető.
 - Ez villámvédelmileg jó
 - Az antennaáram a két ágban megoszlik, feleződik, ugyanakkor a feszültség a két ágból a táplálási pontban összegződik, ettől az impedanciája négyszerese lesz a fentihez képest.
 - A sugárzási karakterisztika lényegében változatlan marad.



0,625 és 0,58-as dipól

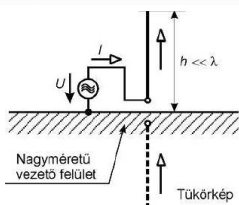
- Az 5/8-os ($0,625\lambda$) magasságú antenna sugárzási karakterisztikája a leglaposabb, távolra elvisz, de melléknyalábok alakulnak ki



- A 0,58-as antenna kevésbé laposabb, de épp nem keletkeznek melléknyalábok.

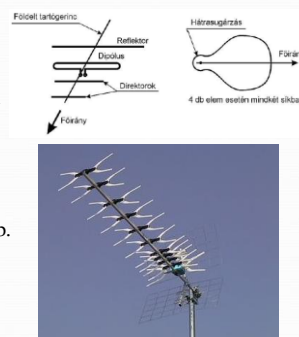
Monopólus

- Ha egy dipól egyik ágát függőlegesen egy jól vezető felület fölé helyeztük (pl. a Föld)
- A vezető felület ilyenkor „tükörként” viselkedik, a kibocsátott hullámot ezek együttese határozza meg.
- Az ilyen monopólus a tükörképével együtt megfelel egy ugyanekkora dipólusnak.
- Aszimmetrikus antenna, amelyet a föld és az antenna alja között táplálunk
- Az antenna alá radiállokat, fémhálót raknak



Yagi

- Írányhatás növelése: a dipóllal azonos síkban, párhuzamosan parazita, táplálás nélküli vezetőelemeket helyezünk el. Csak egy elem táplált!
- Reflektor és direktorok
- Utóbbiak mennyisége határozza meg az irányítottságot.
- A négyelemes nyeresége kb. 6-10 dB, nyílásszöge 30-40 fok.
- Kép 43 elemű UHF Yagi.



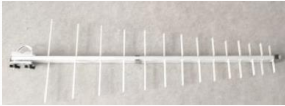
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	DL6WU yagi design tool							
2								
3	Inputs:							
4	Title	70cm yagi						
5	Dimension unit	inch						
6	Frequency	432.0 MHz						
7	Parasitic element diameter	0.185 inch						
8	Driven element diameter	0.185 inch						
9	Boom diameter	0.75 inch						
10	Boom correction (B/N)	Banded						
11	Reflector offset	0.5 inch						
12	Elements	16						
13								
14								
15	Calculated values:							
16	Wavelength	27.32 inch						
17	Dimensional tolerance	0.08 inch						
18	Boom length	143.48 inch						
19	Gain	16.9 dBi						
20	Beamwidth - H plane	26.2 °						
21	Beamwidth - E plane	27.0 °						
22	Stacking dist. - H plane	56 inch						
23	Stacking dist. - E plane	59 inch						
24								
25								
26								
27	Version	2.01						
28	30-Jul-2006							
29	Copyright	Owen Duffy 2006						
30	Support	http://vk1od.net/dl6wu						

LPDA: Logperiodikus dipóltömb

- Az LPDA félhullámú dipólok sorozatából áll, amelyek mindegyike egy pár fémrúdból áll. Az elemek a frekvencia logaritmusával arányosan vannak elosztva, hosszuk a gém mentén fokozatosan csökken. Ez a tervezés két legfontosabb lépése.
- A sugárzás iránya, a fő lebeny a gém tengelye mentén helyezkedik el, a végén a legrövidebb elemekkel. Mindegyik dipóluselem rezonáns, a hullámhossza megközelítőleg megegyezik a hosszának kétszeresével.
- Az antenna sávszélessége és max nyeresége kb. a leghosszabb és a legrövidebb elem rezonáns frekvenciái között van.
- Minden eleme táplált!
- Elemek hozzáadása a Yagi-hoz növeli annak irányítottságát vagy nyereségét, míg az elemek hozzáadása az LPDA-hoz növeli a sávszélességét.

Logper

- A direktorok hossza és távolsága változik

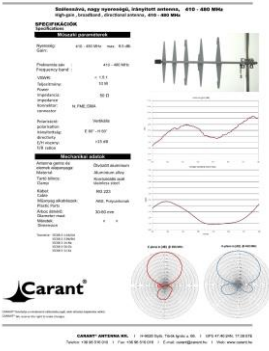


Helikális (hélix)

- 2,4 GHz-es hélix antenna



SUPER LINEAR ANTENNA LPA 045



Tápvonal

- Az antennát az adóval ill. a vevővel köti össze
- Kábel vagy ún. csőtápvonal
- Csillapítása van: ohmos vesztesége ill. C és L tagja is.
- A végtelen hosszú tápvonal bemeneti, önmagára jellemző, hosszától független R,L,C tulajdonságai által meghatározott impedancia neve: hullámimpedancia.
- Kellően nagy frekvencia felett ez ohmos (pl. 50, 75 koax kábel)
- Ez nem a vezető hosszától függ!

- Belátható, hogy egy véges, l -hosszúságú vezetőt, ha hullámimpedanciájával zárjuk le, akkor annak bemenő impedanciája is a kábelre jellemző hullámimpedancia lesz.
- Ez antennánál úgy jelentkezik, hogy a rádióadó kimeneti ellenállása meg kell egyezzen az antennáig elvezető tápvonal hullámimpedanciájával, az pedig az antenna talpponti impedanciájával.
- Ekkor optimális, „illesztett” a rendszer.
- Mikrohullámú alkalmazásokban ún. csőtápvonalat használunk, amelyben szinte csillapítás nélkül terjed a jel.
- Vákuum, levegő hullámimpedanciája:

$$Z_0 = (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2} = 12\pi = 377 \Omega$$

RF koaxiális kábelek (75 ohm)

66%
CablLink DG Sky 5 koax kábel (75 Ohm)



- Csak komplett tekercsként vásárolható (200m)
 - Impedancia: 75 Ohm
 - Anyagok: önzott réz hártya, dupla AL/Pet fólia és CU belső ár
 - Vezetési adatok: 1000MHz 24,9 dB/100m (bővebb adattáblázatot az angol katalógusban talál)
 - Fehér színben
 - Akció a készlet erejéig!
- ✓ A termék raktárkészletünkől azonnal vihető. (100-499 darab)
- Bruttó ár: 114,- Ft Nettó ár: 90,- Ft

Állóhullámarány

- A hullámimpedanciával lezárt tápvonal végéről nem verődik vissza semmi.
- Ha nem ilyen a lezárás, akkor haladó és reflektált hullámok találkoznak a tápvonalon, adott pontban a feszültséget vektoriálisan (fázishelyesen) kell összegezni.
- A feszültség képét a tápvonal mentén felrajzolva állóhullámképeket kaphatunk.
- Ahol azonos fázisú a reflektált és a haladó hullám, ott feszültség maximumot kapunk, ahol ellenfázisú, ott minimumot.
- A maximális és minimális feszültség arányával definiáljuk a *feszültség állóhullámarányt* (SWR, Standing Wave Ratio):

$$SWR = U_{\max} / U_{\min} = (U_{\text{haladó}} + U_{\text{reflektált}}) / (U_{\text{haladó}} - U_{\text{reflektált}}).$$

Ha a lezárás illesztett, nincs reflektált hullám, $SWR = 1$, illesztetlenség esetén mindig pozitív, egynél nagyobb, rövidzár ill. szakadás esetén végtelen.

Az r -reflexiótényezővel kifejezve:

$$SWR = (1+r)/(1-r) \text{ ahol } r = P_{\text{reflektált}} / P_{\text{haladó}}$$

Az állóhullámarány mérhető.

Lakihegy

- 284 méter + 30 méter kitolható hangolócső
- 1933
- Porcelán talpcsukló



Solt

- 300 méter, 1977
- Kossuth középhullám
 - 540 kHz
- 2 MW



- A második világháborút a szivarantenna sem élte túl sérülés nélkül. A nyolc feszítőkötélből hatot felrobbantottak, a torony összetört.
- 314 méteres antennatornyával 1949-től Kossuth Rádió néven folytatta működését.
- A korábbinál ismét nagyobb teljesítményre volt szükség, ezért 1977-ben az ország geometriai középpontjában, Solton két 1 MW-s adót helyeztek üzembe. A lakihegyi torony tartalék toronnyá vált.
- 2006-ban ismét felújították. Továbbra is a solti adó tartaléka maradt. Ipari rádiójelet sugároz, amelyet elektromos művek használnak, például közvilágítás fel- és lekapcsolásához. Ezen kívül ipari alpinisták képzésének helyszíne.

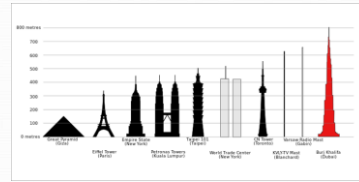
DCF77

- Rádióvezérlésű órákhoz, cézium-atomóra digitális adat formájában
- 77,5 kHz vivő, AM
- 50 kW, 18 torony, hosszúhullám
- 110-222 m magasak
- Mainflingen (Frankfurt)



Konstantinov (Lengyelország)

- 1974-1991 (összedőlt)
- 646m a legnagyobb épített alkotás volt
- 227 kHz-es vivő, hosszúhullám
- 1-3 MW



Adattömörítés és hibajavítás

- A nyers „nettó” adatfolyam nem alkalmas átvitelre, hiszen maximálisan hibaérzékeny pl. a csatorna rossz jel-zaj-viszonya, visszaverődések stb. okán.
- Ezért minden esetben szükség van az alábbiakra:
 - hibajelzés és -javítás (többféle, akár egyszerre is)
 - keretformátum
 - szinkron
- Ezek együttesét redundanciának nevezzük, és a bruttó adatsebesség megnövekedéséhez vezet. Ez akár többszöröse is lehet a nettó adatsebességnek.

- A csatornában fellépő hiba ellen kétféle védekezés van:
 - a vevő érzékeli és felismeri a hibát, majd visszirányú csatornán jelezve újraküldést kér (hibajelző kódok),
 - az adó előre hibajavítással látja el a jelet, amellyel a vevő megkísérli a hibák kijavítását (Forward Error Correction – FEC)
- A hibajavítás célja, hogy a véletlenszerűen fellépő 0-1 és 1-0 átmenetek, amelyek hibaként kerülnek elő felismerhetők és részben javíthatók legyenek.
 - egyedi ún. bithibák
 - hibacsomók (bőrsztozs hiba)

Hibajavítás

- Egyedi bithibák ellen hibajavító kódok
 - Végtelen sok hibajavító bit: minden hiba javítható
 - Valóság: korlátozott számú bithiba javítható
- Hibacsomó ellen keresztátszővés (interleaving)
 - Ez nem javítja a hibát, hanem szétszórja: logikailag/ időben egymás utáni minták térben vagy időben eloszlásra kerülnek, a vevő rendezi vissza
 - Utána jön a hibajavítás, ami kijavítja (ha tudja)
 - A kettő együtt jár!

Példák hibajavító kódra

- Hamming-kódok:
 - 1 és 0 helyett pl. 1111 és 0000
 - Észleli és bizonyos számút javítani is tud, de pazarló
- Reed-Solomon kódok
 - Hang- és képinformációhoz használatos kódcsalád
 - Nem bit-alapú, hanem szimbólumokat kezel, a redundancia kisebb
- Konvolúciós kódok:
 - Több bitet egyben kezel, amelyek logikai kapcsolatban (XOR) állnak
 - Memóriát tartalmaznak
 - A dekódolás elve, hogy csak bizonyos állapotokban lehet a kódoló

Tömörítők

- **Veszteségmentes:** nincs adatvesztés, hatásfok kb. 50%. Adatok esetén mindig, hang/kép esetén néha használjuk.
- **Futamhossz (RLC) kód:** egymás után hány darab 1 vagy 0 következik.
- **Huffman kód (entrópia kódolás):** gyakoribb kódszavakat kevesebb bittel ír le, az átlagos méret csökken
- **ZIP, RAR is tartalmaz ilyen**
- **Veszteséges:** csak hang és kép esetén. Hatásfok akár 90%. Adatok vesznek el, de ezt nem érzékeljük. Hívjuk forráskódolásnak vagy érzeti kódolásnak is.

Szélessávú infokommunikáció

- Szélessávú infokommunikációs szolgáltatásokat
 - vezetékes (optikai általában)
 - vezeték nélküli (rádiós) és ezek
 - kombinációjával hoztunk létre.
- Magyarországon 2008 végén kb. 15%-os volt a szélessávú lefedettség, 2020-ra 90% feletti, európai átlagban is élmezőny. A tervezéskor figyelembe kell venni az adott ország sajátosságait (népesség, települések mérete, elhelyezkedése, földrajzi viszonyok).
- Szolgáltatási szintek:
 - Multimédia szolgáltatási képességű hálózat, amely internetet, telefont és valamilyen felbontású digitális mozgóképátvitelt tesz lehetővé egyidejűleg (ún. „triple play”).
 - Alapszintű szélessávú internetszolgáltatás, ahol a multimédia elérés az adott helyen nem valószínűsíthető meg. Itt is a 2 Mbps sebesség a megcélzott.

Hálózati technológiák

1. **szélessávú gerinc- és körzethálózati technológiák** közé tartozik minden olyan technológia, amely a hozzáférési hálózatok (a LAN-t is) forgalmát koncentrálnálva továbbítja más hálózathoz. Optikai alapú, amennyiben vezetékes.
 - A DWDM (nagysűrűségű hullámsztáros multiplexálás) rendszerű optikai hálózat két pontja között egy szálon egyszerre, több hullámhosszú fénnel lehet kommunikálni. Minden hullámhossz megfelel egy csatornának (2 – 10 Gbps). Több száz ilyen csatorna lehetséges, így Tbps-ot is el lehet érni optikai feldolgozással.
 - Az optikai Ethernet lehet FE (Fast Ethernet) 100 Mbps vagy gigabites (GE 1-10 Gbps).
 - A szinkron digitális hierarchia (SDH) mindig optikai szálú, de előfordul mikrohullámú rendszerben is (155 Mbps – 40 Gbps). Jól működő, széles körben használt rendszer.
 - Pont-pont közötti mikrohullámú összeköttetést a földfelszínen lehet alkalmazni, egyszerűen, olcsón, gyorsan telepíthető, de kisebb az adatsebesség, mert a csatorna kevésbé megbízható (2 – 140 Mbps).
 - A VSAT (Very Small Aperture Terminal) kétirányú műholdas kapcsolatot hoz létre, kisméretű paraboloid antennával, geostacioner műholddal. Azonnal, bárhol használható, földi telepítés nem kell.

2. **A vezetékes hálózati technológiákat a hordozó szerint osztályozzuk** (sodrott érpár, kábel, fényvezető).
 - A DSL (Digital Subscriber Line), a digitális előfizetői vonal telefonhálózatot használ az Internet elérésére. Sodrott érpárok 40%-án lehet ilyen létrehozni, ha az igény ennél nagyobb, optikára lesz szükség.
 - A KTV, kábeltvés modem-es ellátás. Ezek a hálózatok általában optikai fővonalból és koaxiális végelosztókból állnak. Internet és telefonellátás is megoldható, de a visszairányú kommunikációhoz egy külön modem szükséges és csillagpontos hálózati struktúra, valamint kétirányú erősítők. 55 Mbps letöltési és 10-30 Mbps feltöltési sebesség érhető el.
 - Az FTT (fiber to the home, fiber to the building) azt jelenti, hogy az előfizető gépéig optikán érkezik a jel. Lehet azonban rézvezetős, hibrid megoldást is készíteni, mert az eljárás drága.

3. **A vezeték nélküli hálózati technológiák**
 - A második generációs GSM átviteli lehetőségek között a GPRS (114 kbps) még nem számít szélessávúnak. A 2.5G-nek nevezett EDGE már 384 kbps, átmenet a szélessáv felé. A 3G (UMTS) már 2 Mbps-ot biztosít, de csak álló helyzetben, mozgás közben 384 – 1000 kbps az érték. A 3G éppen leváltásra kerül az 5G által. A 3.5G elnevezés már igazi szélessávra utal.
 - A CDMA (Code Division Multiple Access) hatékonyan használja ki a frekvenciaspektrumot, jó a zavarérintettség. A mobil szolgáltatók az 1900 és 2100 MHz-es sávban használják. A CDMA adat és hangátvitelre is alkalmas, de csak korlátozott felhasználó veheti igénybe egyszerre, a ritkán lakott területeken lehet hiánypótló megoldás.

- Az FWA (Fixed Wireless Access) helyhez kötött, de vezeték nélküli hozzáférést jelent, egy központ vevő lát el több állomást (pont – multipont rendszer). Irányérzékeny antennák kellenek.
- Az LMDS (Local Multipoint Distribution System) rendszert eredetileg digitális tévére akarták használni, nálunk 26 GHz-en üzemel, kétirányban. A nagy frekvencia miatt közvetlen rálátás szükséges (az antennáknak látniuk kell egymást).
- A WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) is pont-multipont hálózat. Állandó helyi hozzáférési rendszer a 2 – 11 GHz sávban, jelenleg 3,5 GHz-en a legelterjedtebb. Legfeljebb 30-60 km-t lehet áthidalni, maximálisan 70 Mbps-al, 20 MHz sávszélesség mellett. Közvetlen rálátás nem szükséges, az általános lefedettségekhez 4 – 10 km-es hatótávot érdemes tervezni.
- A műholdas hozzáférések
 - LEO (Low Earth Orbit), MEO (Medium Earth Orbit), EEO (Elliptic Earth Orbit) vagy GEO (geostacioner) alapúak.
- A WLAN elektromágneses hullámokat használ a LAN létrehozására (Wi-Fi). Korlátozott a hatótávolság, ezért helyi kapcsolatok kiterjesztésének a legjobb (lakáson belül, reptéren, szállodákban). Leggyakrabban 2,4 GHz-en működnek, max. 11 Mbps-os sebesség mellett, 100 méteren belül.

LTE – 4G

- Long Term Evolution
- 326 Mbits átvételre képes 4x4 antennával, 20 MHz széles tartományban
- Fixen 1 Gbps, mobilon inkább csak max 100 Mbps
- 4G a telefonokon: 5-10 Mbps
- Kezdetben non stand alone 5G: 4G core hálózat, 5G külső hálózat

- LTE torony:



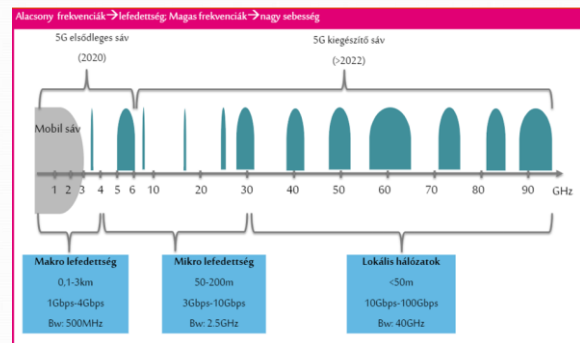
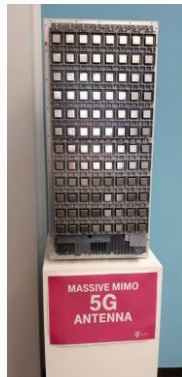
5G

Előnyök:

- az alacsony késleltetés (low latency)
- a nagy adatsebesség (Gbps feletti)
- a megbízhatóság növekedése és
- skálázhatóság (network slicing)

Hátránya, hogy ezen a frekvencián - bár kisebb méretű antennák is elégségesek, - a kis hatótávolság (jellemzően néhány tíz-száz méter) okán azok száma óriási: a jelenleg használatban lévő 3G és 4G antennák sokszorosa, akár több százezer új antenna(tömb) felszerelését igényli.

- A network slicing annyit jelent, hogy egy fizikai hálózat több logikai alhálózatra (szeletre) felosztható, így míg az egyik egy nagy prioritású kritikus infrastruktúrát lát el alacsony látenciával, egy másik teljesen más feladat kielégítésére szabható.
- Elsődleges felhasználónak az ipar és a közlekedés tűnik, ahol a campus hálózatok kifejlesztésével az egyes nagyvállalatok (ill. kórházak, egyetemek stb.) saját hatáskörben, lokálisan helyezhetnek és üzemeltethetnek 5G hálózatokat.



Hazai helyzet

- Hét vizsgált sávból négy frekvenciasávban indított értékesítési eljárást 2019-ben a hírközlési hatóság, míg az 1500 MHz-es, a 2300-2400 MHz és 26 GHz-es frekvenciasávokban egyelőre nem.
- A nyertesek 15 évre kapják meg a használati jogosultságot, ami egyszer további öt évre hosszabbítható.
- Az NMHH célja, hogy a szolgáltatók a spektrumrészek értékesítésével rendelkezzenek az 5G hálózatok működéséhez szükséges frekvenciával, másrészt, hogy az új frekvenciák felhasználásával növelhessék a már üzemelő mobilhálózatok kapacitását. A 700 MHz-es frekvenciasávban a DVB-T helyére került az 5G.

6G

- A THz tartomány kiaknázása
- Hivatalosan nem létezik, még hivatalos logója sincs. Egyes vélemények szerint az 5G csak ugródeszka lesz a még fejlettebb 6G-hez, míg mások óva intik a felhasználókat, hogy ne akarják túl korán átugrani és kihagyni az 5G-lepcsőfokot.
- A 6G a THz-tartomány alján ígér Tbps sebességű működést. Jelenleg a hardverek fejlesztése és tesztelése zajlik ezen a frekvencián. A cél az optikai vezetékes hálózatok által biztosított minőség (Quality of Experience) létrehozása vezeték nélküli hálózaton.

- A THz-tartomány teljesen más eszközöket és technológiát igényel, mint az alatta található mikrohullámú és a felette található optikai hírközlés világa. Míg előbbiben az elektronikai készülékek, utóbbiban a fotonikai eszközök rendelkeznek kiforrott technikával.
- A terjedés sajátosságait is meg kell vizsgálni (levegő és vízgőz elnyelése, abszorpció, szóródás, irányítottság stb.).
- A hírközlés számára tervezett 0.1-10 THz tartományban kevés eszköz létezik, a kutatások jelenleg is folynak. Az alkalmazott berendezések nem lesznek tisztán optikai alapúak, hanem opto-elektronikus hibridek (alapsávi nagysebességű félvezető alapú elektronika és egy front-end, ami vivőhullámra ülteti a jelet).
- A kis hullámhossz miatt az alkalmazott antennaméret is a mm – néhány száz mikrométer nagyságban (többszöröse rendezve) képzelhető el.

Kínai 6G műholdak

- 2020 nov.7:
- Összesen 13 műholdat lőttek fel egyetlen rakétával a kínai Senhszi tartományban lévő kutatóbázisról. A műholdak egyike a világ első 6G-s műholdja, mellyel ennek az adatátviteli technológiának a lehetőségét kezdik el kikísérletezni a kínaiak.
- A 6G-s műhold révén a THz-es kommunikáció lehetőségét vizsgálják majd a világűrben, ami áttörést jelenthetne az űrbeli kommunikációban.

2022 február

- Pekingi egyetem: 1 TB adatátvitel 1 mp alatt 1 km-re
- 2021-ben az Oppo bemutatta az első „fehér könyvet”, 206 Gbps érték el
- 2030 körül lehetne kereskedelmi forgalomban
- Kína birtokolja a 6G-hez köthető szabványok 40%-át, az USA 35%
- <https://twitter.com/i/status/1479724554511470592>

Wikipedia táblázat 2020:

Mobiltelefon-hálózati szabványok	
3G (rádiótelefonok)	MTS - MTA - MTB - MTC - MTD - IMTS - AMTS - OLT - Autoradiophelin - B-Netz
1G	AMPS család Egyéb: NMT - C-450 - Hicap - Mobitex - DataTAC
2G	GSM/GPP család 3GPP2 család AMPS család Egyéb: CDMAOne (TIA/EIA/IS-95 and ANSI-JSTD 008) D-AMPS (IS-54 és IS-136) CDPD - IDEN - PDC - PHS
2G transitional (2.5G, 2.75G)	GSM/GPP család 3GPP2 család Egyéb: HSCSD - GPRS - EDGE/EGPRS (UWC-136) CDMA2000 1X (TIA/EIA/IS-2000) - 1X Advanced WIDEN
3G (IMT-2000)	3GPP család 3GPP2 család CDMA2000 1xEV-DO Release 0 (TIA/IS-856)
3G transitional (3.5G, 3.75G, 3.9G)	3GPP család 3GPP2 család IEEE család HSPA (HSDPA - HSUPA) - HSPA+ - LTE (E-UTRA) CDMA2000 1xEV-DO Revision A (TIA/EIA/IS-856-A) - EV-DO Revision B (TIA/EIA/IS-856-B) - DO Advanced Mobile WiMAX (IEEE 802.16e) - Flash-OFDM - iBurst (IEEE 802.20)
4G (IMT Advanced)	3GPP család IEEE család LTE Advanced (E-UTRA) WiMAX-Advanced (IEEE 802.16m)
5G	3GPP család 5G NR