

## 8. gyakorlat: Műsorszóró rendszerek

### O.8.1. Osztályozási szempontok

A szétszított híryanag rendszerint hang (mono vagy sztereo), illetve (mozgó)kép és hang együtt. A közvetítő közeg oldaláról megkülönböztetendő a sugárzás két formája (földfelszíni és műholdas), a (jellegzetesen koaxiális) kábel, illetve az absztrakt digitális (Internet) átvitel. Alapvető különbséget jelent, hogy a híryanag analóg vagy digitális formában jelenik-e meg.

### O.8.2. Analóg műsorszórás

A hangműsorok különféle minőségi szintekkel jellemezhetők, pl. 50 Hz-4 kHz vagy 50 Hz-15 kHz sáv szélesség, mono vagy sztereo. Az előadáson ismertettük a sztereo multiplex jel felépítését, a gyakorlaton tárgyaljuk az egyik demodulálási lehetőséget.

Nagy vonalakban ismertettük a PAL rendszerű összetett képjel felépítését, hangsúlyozva az összetevő jelek fésűs spektrumának a jelentőségét. Megemlítettük, hogy a színsegédvívő megválasztása (a sorfrekvenciával összefüggésben) sarkalatos kérdés, s szó esett a mono kísérőhang elhelyezéséről is.

A szorosán vett átviteli feladat (a műsor eljuttatása a fogyasztókhoz) frekvenciaosztásban történik, a modulációs módszer, a felhasznált sáv szélesség híryanagtól, minőségtől függően más és más. Közös a venni kívánt műsor (állomás) kiválasztásának problémája. Az egyszerű, közvetlenül hangolt sávszűrőt alkalmazó út nem járható. Helyette fix, jó minőségű, szelektív sávszűrőt alkalmaznak, és a venni kívánt frekvenciasávot transzponálják a szűrő áteresztősávjába. Ez valójában egy AM-SSB/SC modulációs lépés. Bebizonyítottuk, hogy ez a beavatkozás megváltoztatja a modulált jel vivőfrekvenciáját, de nem befolyásolja a modulációs tartalmát:

$$2 \cdot A(t) \cos(2\pi F_v t + m(t)) \cdot \cos(2\pi F_o t + \Phi) = A(t) \cos(2\pi(F_v + F_o)t + \Phi + m(t)) + \\ A(t) \cos(2\pi(F_o - F_v)t + \Phi - m(t))$$

Az  $F_v$  vivőjű vett jel és az oszcillátor jelének összeszorozásával („keverésével”) két jel is keletkezik, változatlan modulációs tartalommal, ám eltérő vivőkkel. A szelektivitást biztosító szűrő e két termék közül csak az egyiket, pl. az  $F_{kf} = F_o - F_v$  vivőjűt engedi át. Kis szépséghiba, hogy ilyenkor nemcsak az  $F_v$  vivőjű állomás jele keveredik a középfrekvenciás erősítő sávjába, hanem az  $F_t = F_o + F_{kf} = F_v + 2F_{kf}$  frekvencia környéke is. Ez a sáv a venni kívánt állomás tükörfrekvenciája. A tükörszelektivitás biztosítása a bemenő szűrő (erősítő) feladata, ezért a vevők bemenő erősítőjét az állomásválasztás során kénytelen-kelletlen együtt kell hangolni a kiválasztás orozslánrészét végző oszcillátorral.

A középhullámú (hang)műsorszórás AM-DSB, az URH sávú sztereo sugárzás szögmodulációt használ. Egy földrajzi régióban előbbinél 9 kHz, utóbbinál 300 kHz az állomások „helyfoglalása”.

A földfelszíni televíziós adások AM-VSB modulációval működnek, a kétoldalsávú AM jel egyik oldalsávját csonkítják, így a modulált jel helyfoglalása mindössze 8 MHz (van persze a világban más szabvány is). Azt, hogy a demodulált jelben a moduláló jel minden komponense helyes nagyságú legyen, a vevőkészülékek KF szűrője biztosítja. Lényegében ugyanilyen a modulált jel az analóg kábeltelevíziós rendszerekben is.

Az analóg műholdas TV műsorszórás szinkronpályás műholdakról, 10-12 GHz környékén, műsoronként kb. 27 MHz sávszélességben frekvenciamodulációval történik. A frekvencialöket kb. 6 MHz. Ugyanaz a sáv két műsort is kiszolgál, mert szétválasztható az elektromágneses hullám vertikális és horizontális polarizációjú módusa.

### O.8.3. Digitális műsorszórás

Két pillére a hatékony tömörítés és a hatékony modulációs eljárásokat támogató jelfeldolgozás. Erénye a(z adó) teljesítmény és a rendelkezésre álló sávszélesség jó kihasználása. Módszerei ugyanakkor elég bonyolultak.

A mozgóképtömörítés alapvető szabványa az MPEG-2. Szemben a studióminőséget biztosító, 270 Mbps sebességű (13.5, ill.  $2 \cdot 6.75$  MHz mintavételi frekvencia és 10 bites minták a világosságjelre, ill. a színkülönbségi jelekre) ún. SDTV jellel a tömörített jel sebességigénye (némi minőségáldozattal) 3-6 Mbps-re is leszorítható. A hangcsatornák  $2 \cdot 48$  kHz  $\cdot$  16 bites, kb. 1.5 Mbps sebességigénye is kb. 200 kbps-re csökkenthető. Mozgóképtömörítésnél egyféle relatív jellemzéshez folyamodunk, azaz csak az egymást követő képek megváltozásait kódoljuk, a hangkódolásnál pedig kihasználjuk az emberi érzékelés fogyatékosait, nevezetesen az elfedési jelenségeket.

A digitális műholdas sugárzás az analóg műsorsugárzással azonos sávban, QPSK modulációval történik. A jelzési sebesség 27.5 MBd, így az adatátviteli sebesség 55 Mbps. Az alapsávi csatornák nem NRZ elemi jelet használnak, hiszen annak nagy lenne a sávszélessége, helyette 35%-os emelt koszinuszos elemi jelet alkalmaznak. Az elfoglalt sáv szélessége így  $2 \cdot (1+0.35) \cdot 27.5/2$ , azaz kb. 37 MHz. Egyetlen jelfolyamban 3-6 műsor közvetítésére kerítenek sort.

A kábeltévé rendszerek jobb adottságú környezetben működnek, a kompatibilitás miatt a sávszélesség azonban korlátozott, 8 MHz. Itt 64 állapotú QAM a jellemző modulációs mód, s az alapsávi elemi jel 15%-os lekerekítésű emelt koszinusz. A jelzési sebesség  $8/(1+0.15)$ , azaz 6.96 MBd, s ez végül is 41.76 Mbps adatsebességet eredményez.

A földi sugárzás fő ellensége az időben is ingadozó diszperzió, amely a többutas terjedés következménye. Az efféle echók hatása csaknem érdektelenné tehető, ha a jelzési időrések mérete az általuk okozott diszperziót (kiszéledést) jelentősen meghaladja. 100  $\mu$ s diszperzióval számolva pl. akár 1 ms széles időrések is szóba kerülhetnek. A kicsiny jelzési sebesség miatt (a jókora adatátviteli sebesség elérése érdekében) egyidejűleg több, sokállapotú QAM rendszert kell üzemeltetni, eltérő vivőkkel, eltérő frekvenciasávokban. Kérdés, milyen közel helyezhetők el az egyes QAM (al)rendszerek vivői, úgy, hogy modulációs tartalmaik egymást ne zavarják. Legyenek az alkalmazott vivőfrekvenciák az  $F_k = k \cdot 1/T_0$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$  értékek! A sokvivős modulált jel egy időrésben (pl. a  $t \in (0, T)$  szakaszon, ahol  $T > T_0$ ) így

$$s(t) = \sum_{i=1}^N \left[ d(i) \cdot \cos\left(2\pi \frac{i}{T_0} t\right) - c(i) \cdot \sin\left(2\pi \frac{i}{T_0} t\right) \right]$$

alakú. A QAM demoduláció általános receptje – szorzás a vivőkkel, majd aluláteresztő szűrés – itt is működik, a szűrés funkciót most a vivők közös periódusidejére vett integrálás tölti be. A demodulált értékpárok tehát a



### P.8.1. A szupervevő és a tükörfrekvencia

Szuperheterodin<sup>1</sup> vevő építését tervezzük a 87.5 MHz és 108 MHz közötti CCIR frekvenciasávú FM rádióadás vételére. A középfrekvencia  $F_{KF} = 10.7 \text{ MHz}$ .

- Felső keverést alkalmazva milyen sávban kell hangolhatóvá tenni a vevőnk helyi oszcillátorát?
- Hová kell hangolni a helyi oszcillátort, ha a 94.8 MHz-en adó MR2 Petőfi műsorának választékából akarunk „nagyon zenét” hallgatni?
- Mi az előző pontban kért adó tükörfrekvenciája?
- Miért tűnik jó választásnak ehhez a sávhoz a 10.7 MHz-es KF választása?

#### Megoldás:

Felső keverésről akkor beszélünk, ha a helyi, hangolt oszcillátor rezgési frekvenciája nagyobb, mint a venni kívánt állomás vivője. Ilyenkor a középfrekvenciás jel afféle alsó oldalsávi terméként jelenik meg. Ez egyébként érdektelen, csak a szögmodulációs tartalom előjelét befolyásoló tényező. A különbségi frekvencia „hasznosításának” másik lehetősége az alsó keverés volna (az oszcillátor frekvenciája kisebb, mint a venni kívánt állomás vivője. Megjegyezhető, hogy középfrekvenciaként akár az összegfrekvenciára is berendezkedhetnénk, de ezt csak igen ritkán tesszük. Érdeklünk, hogy az oszcillátor hangolását minél szűkebb sávban kelljen biztosítani, ez a sáv felső keverésnél a legkeskenyebb. Most a hangolási sáv alsó határa  $87.5 + 10.7 = 98.2 \text{ MHz}$ , felső határa pedig  $108 + 10.7 = 118.7 \text{ MHz}$ .

A 94.8 MHz-es sáv vételéhez  $94.8 + 10.7 = 105.5 \text{ MHz}$  frekvenciájú oszcillátor kell. Érdekes megfigyelni, hogy nagyobb vivőfrekvenciájú adó vételéhez nagyobb oszcillátorfrekvenciát kell beállítani. Gondoljuk meg, vajon így van-e ez alsó keverésnél, illetve összegfrekvenciát hasznosító keverésnél (sajnos nem ezt hívják összegző keverésnek) is!

Felső keverésnél tükörfrekvenciás az az adó, amelynek a jeléből az oszcillátorunk alsó keveréssel előállítja a középfrekvenciás jelet. A tükörfrekvencia ilyenkor tehát éppen középfrekvenciánival nagyobb az oszcillátorfrekvenciánál, azaz épp kétennyivel nagyobb a venni kívánt állomás vivőjénél. Most tehát a tükörfrekvencia  $94.8 + 10.7 + 10.7 = 116.2 \text{ MHz}$ .

Hogy mi is ebben a jó? Leginkább az, hogy még a venni kívánt sáv alsó határának a tükörfrekvenciája ( $108.9 \text{ MHz}$ ) is nagyobb, mint a vételi sáv felső határa, vagyis a tükörfrekvenciák sávjában legalább műsorszolgáltatás nincs (másféle adás persze lehet). Alsó keverésnél is ugyanez lenne a helyzet. Mindkét esetben annak van szerepe, hogy a középfrekvencia nagyobb, mint a műsorsáv szélességének a fele.

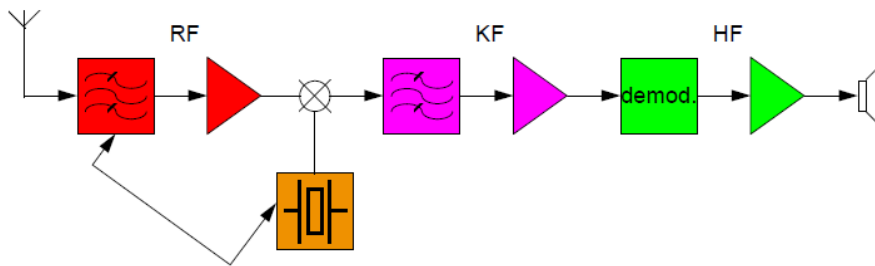
---

<sup>1</sup> Szupervevő, pontosabban “supersonic heterodyne receiver”; a neve (természetesen) a görög “supersonic” (hangsáv feletti), “hetero-” (eltérő, más) és “-dyne” (teljesítményű) szavakból gyökerezik. Összeolvasva: hangsáv feletti teljesítményáthelyezés (frekvenciatranszponálás, azaz keverős) elvű vevő.

**P.8.2. Hol van a Kossuth Rádió tükörfrekvenciája?**

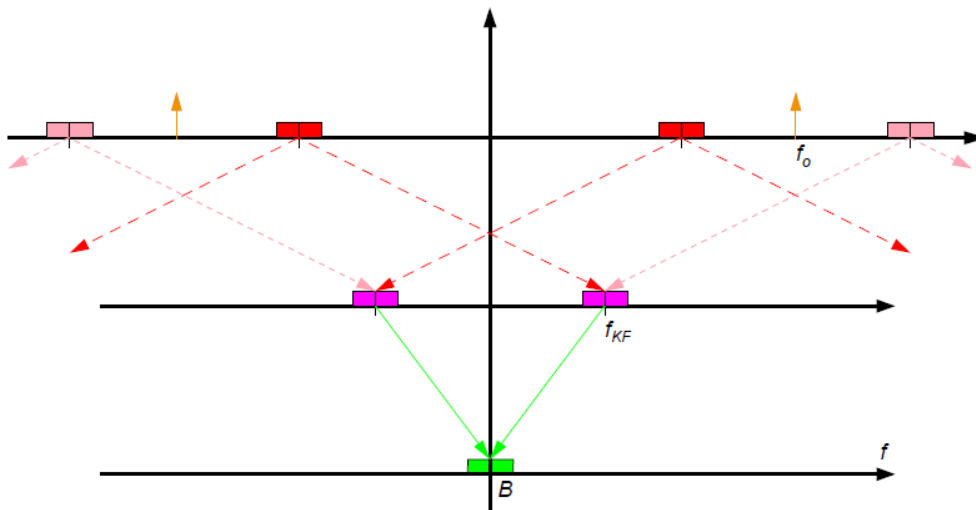
Megoldás:

A középhullámú szuperheterodin vevőkészülékek tipikusan  $f_{KF} = 455$  kHz-es ú.n. középfrekvenciára keverik le a bejövő nagyfrekvenciás (most: az  $F = 540$  kHz-es vivő körüli AM-DSB) jelet. A közelszelektivitást biztosító szűrőt<sup>2</sup> bár nagyságrendileg most is hasonló frekvenciasávban kell implementálni (540 helyett 455 kHz körül), ám azzal hogy az aktuálisan venni kívánt adó jelet a helyi oszcillátorral mindig erre a KF frekvenciára transzponáljuk, így neki már *mindig* e sávban kell szűrnie, azaz nem kell ezt a jóságát hangolhatóan tudnia! A transzponáláshoz a helyi oszcillátor frekvenciájára két ötletünk is lehet (ezt érdemes egy egyszerű ábrán megmutatni):  $F+f_{KF}$  illetve  $F-f_{KF}$ ; gyakorlati okból<sup>3</sup> mindig az előbbit (az ú.n. felső keverést) alkalmazzuk - így viszont ugyanebbe a KF sávba kerül a  $F+2 \cdot f_{KF}$  vivőjű adó jele is (lásd ugyanazon az ábrán), és ez ellen az ú.n. tüköradó ellen kell védekezni a bemeneten lévő RF szűrővel.



Példánkban a helyi oszcillátort 995 kHz-re kell hangolni, a Kossuth tüköradója pedig 1450 kHz-en van (ami egyébként bőven a középhullámú rádiózásra kijelölt sávba esik).

Ha alsó keverést alkalmaztunk volna, akkor a helyi oszcillátort 85 kHz-re kellene hangolni, a tüköradó pedig 370 kHz-en lenne.



<sup>2</sup> A szomszédos adók 9 kHz-re vannak; az ő jelüket már el kell nyomni, ugyanakkor túl sokat nem haraphatunk ki a hasznos jelünkből.

<sup>3</sup> Könnyen belátható, hogy így a helyi oszcillátornak kisebb relatív frekvenciaátfogást kell biztosítania.

Ezen az ábrán a színek a fentebbi blokkdiagrammal koherensek,  $F$  viszont szándékosan nincs bejelölve: ha a piros alá írjuk akkor felső, ha a mályva színű alá akkor alsó keverést alkalmazunk<sup>4</sup>; a tükörszelektivitást biztosító szűrőt is ezen választástól függően kell berajzolni, a közelszelektivitást biztosító KF szűrő viszont mindig a lila dobozok köré kerül, mégpedig az előbbi laza (és hangolható), az utóbbi meredek (de fix) specifikációval.

### P.8.3. A sztereo multiplex jel demodulálása

Tervezzünk – blokkvázlat szinten – demodulátort a sztereo multiplex jel JOBB és BAL összetevőinek visszaállítására! Gondoljuk át, milyen nehézségek léphetnek fel az eljárás végrehajtása során! Gondoljuk át azt is, mi indokolja, hogy a  $38\text{ kHz}$  frekvenciájú vivő helyett pontosan félekkora frekvenciájú ( $19\text{ kHz}$ -es) pilotjelet alkalmaznak! Vizsgáljuk meg a mintavételezős megoldás lehetőségét is!

#### Megoldás

Kézenfekvő megoldás a szorzós demodulátor alkalmazása, nem is kell feltétlenül szűrni az elején (legalább elvileg nem). Kapcsolóüzemben is lehet működni, hiszen az FM demodulátor szolgáltatja jelben nincsenek  $60\text{ kHz}$ -nél nagyobb frekvenciájú komponensek, amelyek a vivő harmonikusairól visszalapolódva kellemetlenségeket okozhatnának. Rendelkezésre áll így az FM demodulátor kimenő jele, amelyben az alapsávi komponens a  $J(t) + B(t)$  összeg, s a szorzó kimenő jele, amelyben az alapsávi komponens a  $J(t) - B(t)$  különbség. Ezt a két jelet kombinálva (összegezve, kivonva) a sztereo jel komponensei keletkeznek. Az eljárás sarkalatos pontja, hogy a szorzó kimenő jelét megfelelően erősítsük, hiszen az erősítéshiba a csatornák között áthallást okoz. Hasonlóképpen óvatosan kell eljárni az esetleg mégis alkalmazott szűrőkkel is.

A demodulátort a kétoldalsávú jel  $38\text{ kHz}$ -es vivőfrekvenciájával kell működtetni. Pontos vivőre lévén szükség, ezt a jelet magából a vett jelből kell kinyerni, ezt könnyíti meg a pilotjel alkalmazása. Maga a  $38\text{ kHz}$  nem túl alkalmas a pilotozásra, leválasztása ugyanis nagyon keskenysávú szűrőt igényelne, s egy ilyen keskenysávú szűrő kicsiny elhangolódása is már nagy fázishibát okozhatna. A  $19\text{ kHz}$  frekvenciájú jel elég távol van az alapsávi komponensek felső ( $15\text{ kHz}$ ) és a modulált komponens alsó ( $23\text{ kHz}$ ) sávhatárától, így leválasztása a multiplex jel többi komponenséről sokkal kényelmesebben megvalósítható,

A mintavételezős megoldásnál a mintavételi frekvencia megegyezik a DSB jel vivőjével:

$$(J(t) + B(t)) + (J(t) - B(t)) \cdot \cos(2\pi Ft) \Big|_{t=t_0+kT} = \begin{cases} 2 \cdot J(kT), & \text{ha } t_0 = 0 \\ 2 \cdot B(t_0 + kT), & \text{ha } t_0 = T/2 \end{cases}$$

vagyis az alkalmas időpontokban vett minták éppen a számunkra fontos adatokat hordozzák. Látható, hogy fontos a mintavétel pozíciója, kis elcsúszás a csatornák között áthallást eredményez. Ha a multiplex jelet lineáris torzítás éri, az is áthallást okoz, ugyanúgy, mint a szorzó demodulátoros demultiplexálásnál.

<sup>4</sup> Az elnevezések  $F$  és  $f_0$  relatív viszonyából adódnak.

### P.8.4. Sztereoó átvitel: zenei „A” hang megjelenése a bal mikrofonban

Rajzoljuk fel, hogyan néz ki a Sláger Rádió éterben megjelenő jele, (időfüggvény, spektrum), amikor Voga János egy zenei „A” hangot fütyül a baloldali mikrofonba! Mit hall ebből egy „monó” hallgató?

#### Megoldás:

Előadáson megtanultuk, hogy az FM-sztereoó jel hogyan áll elő. Ismétlésként rajzoljuk fel a frekvencia moduláció előtt keletkező összetett jel spektrumát egy általános esetre! (Alapsávi M jel + AM-DSB/SC-vel 38 kHz köré modulált S jel + 19 kHz-es pilotjel; ez utóbbi kapcsolgatja a kis piros LED-et és a fáziskötése miatt vele demodulálható a vevőben az AMDSB/SC modulált S jel. Az L és R jelekből az 50 és 15 kHz közötti komponensek kerülnek majd továbbításra.)

A konkrét esetre a végső moduláció előtti jel M és S összetevője is egy 440 Hz-es szinuszos jel, így a frekvencia modulációt végző egység bemenetére egy 440, egy 19000, egy 37560 és egy 38440 Hz-es szinuszos jel összege kerül. A kimeneten megjelenő FM jel időfüggvénye egy szokásos FM jel képét mutatja (konstans amplitúdó, változó pillanatnyi frekvencia), a spektruma pedig elvileg végtelen sáv szélességű lesz, de persze azt is tudjuk, hogy a jel teljesítményének zöme (Budapesten) 100.8 MHz környékén összpontosul, a lökettől függő (sáv)szélességben. A függvények precíz megadásától eltekintünk, egyrészt mert az egyes szinuszos tagok arányát nem ismerjük, másrészt ha ismernénk is, a valóság picit tovább bonyolódna azzal, hogy az FM-et tipikusan mindig megelőzi még egy előkiemelő<sup>5</sup> is - a példa lényege pedig itt inkább az M és S jelek valamint a sztereoó pilotjel megismertetése.

A második kérdésre egyszerű a válasz: a monó vevőkészülék csak az M (összeg) jelet teszi a(z egyetlen) hangszórójára - ez pedig V.J. zenei „A” hangja lesz.

### P.8.5. Rádióadók a CCIR sávban

Hány rádióadó élhet egymás mellett a CCIR (87.5-108 MHz) sávjában Budapesten?

#### Megoldás:

Ebben a sávban az előírás szerint 75 kHz lehet a maximális frekvencialök. A durva becslésként alkalmazott Carson szabályból az FM jel gyakorlati sáv szélességére  $2 \cdot (75 + 53) = 256$  kHz adódnék, ami nagyságrendileg nem is rossz, mert a pontosabb<sup>6</sup> mérések (és az ezekből következő specifikáció) 300 kHz-ben állapítják meg az FM-sztereoó adók éterbe sugárzott sáv szélességét. (Számolhatunk egy olyan szinuszos jellel is, aminek nagyon alacsony a frekvenciája és a két oldalon éppen ellenfázisban

<sup>5</sup> Itt egy egytöréspontos (75  $\mu$ s időállandójú), ami aztán majd kb. 14 dB jel/zaj viszony javulást eredményez a vevőnél.

<sup>6</sup> A speciális moduláló jel(ek) és az előkiemelés hatása mellett még például azt is figyelembe kellene vennünk, hogy a 19 kHz-es pilotjel elviszi a löket 10%-át - az RDS-t még nem is említve.

jelenik meg: ekkor becslésünkkel az FM jel gyakorlati sáv szélességére 312 kHz adódik<sup>7</sup>.)

A kérdésben szereplő (és a köznapi URH/FM rádiózásban ma kizárólagosan használt) CCIR sávban elvileg  $(108-87.5)/0.3 = 68$  adó fér így el szépen egymás mellé rendezve - ugyanakkor a gyakorlatban nem pakoljuk az adókat közvetlenül egymás mellé. Budapest XI. kerületében a sáv egy részét végignézve ilyesmit tapasztalunk:

[...]

90.9 MHz – Jazzy (Sas-hegy)

92.1 MHz – Klasszik (Gellért hegy)

93.5 MHz – Fúzió Rádió (Újbuda)

94.2 MHz – Mária Rádió (Sas-hegy)

94.8 MHz – MR2 Petőfi (Széchenyi-hegy)

95.3 MHz – Klub (Széchenyi-hegy)

\* 95.5 MHz – Neo FM (Kékestető)

95.8 MHz – Info (Széchenyi-hegy)

98.0 MHz – Civil (Lágymányos)

[...]

Az általában várható 2-300 kHz-es lépésköz néhol ugyanannál az adótoronynál (pl. Széchenyi- hegy) is lehet  $2 \cdot 250$  kHz. A \*-gal jelölt tovább rontja a szabályosságot. Ez utóbbiról viszont kiderül, hogy nem közeli adó (95.5 MHz – Neo FM, Kékes) viszont az FM-nek köszönhetően, és főleg monóban<sup>8</sup> még mindig jó minőségben vehető, és az RDS-t bekapcsolva a vevőkészülék azonnal átáll a megfelelő közelebbi frekvenciára (Neo FM esetében most 100.8 MHz) - de ez már egy másik történet.

### P.8.6. Játék a sakktáblával a TV képén

Tévénk képernyőjén épp' egy üres (FeFe) sakktábla látszódik.

(a) Hogyan néz ki a továbbítandó jel időfüggvénye közvetlenül az AM-VSB moduláció előtt?

(b) Hogyan változik ez a jel, ha a sötét négyzetek nem feketék, hanem 50%-os szürkék?

(c) És hogyan változik, ha a világos négyzetek fehér helyett sárga ( $RGB = [1 \ 1 \ 0]$ ) színűek? Mit lát ebből egy FeFe néző?

#### Megoldás:

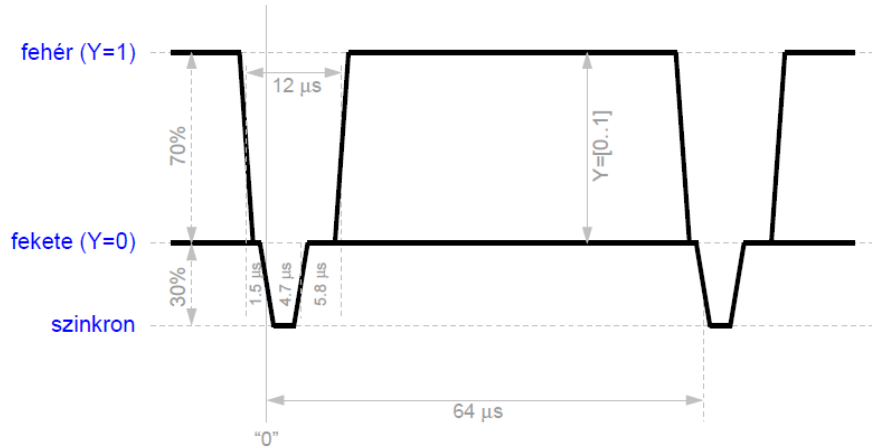
(a) Az időfüggvényt rajzoljuk fel a tanultak alapján! Nálunk a képfrekvenciából (25 Hz) és a sorok (625) számából 15625 Hz-es sorfrekvencia adódik, azaz a kért  $s(t)$  jelben egy sorra 64  $\mu$ s jut. Az aktív soridő 52  $\mu$ s, az egyes sorokhoz tartozó

<sup>7</sup>  $\alpha = 1 + \sqrt{0.9 \cdot 75/38} + 0.9 \cdot 75/38, 2 \cdot \alpha \cdot 38 = 312.3$  [kHz]

<sup>8</sup> Ennek oka szintén nagyon érdekes: az FM demoduláció ún. háromszög-zajához van köze - és épp' ezen hatás csökkentésére alkalmazzuk a már említett előkielést.



jelalakok között pedig  $12 \mu\text{s}$ -nyi idő van a sorszinkron jelre<sup>9</sup>. Az aktív soridőn belül az időfüggvény értéke  $Y$ -t követi 0.3 és 1.0 közé skálázva: így tehát  $s(t)$  értéke 0.3 (fekete) és 1.0 (fehér) között mozog (kb. 36 soron keresztül ismétlődve, majd ott a 0.3 és 1.0 értékek megcserélődésével), a sorszinkront pedig az egyes sorok között az  $s(t)$  jel 0 értéke fogja jelezni a vevőnek. Érdekes itt is visszautalni a félév során tanultakra: az előálló jelet (pontosabban nem őt, hanem  $(1-s(t))\cdot t^{10}$ ) ezután AM-VSB modulációval továbbítjuk. Az ábrán egy fehér sor jele látható.



(b) Első közelítésben azt mondhatnánk, hogy az  $s(t)$  jel 0.3-es ( $Y=0$ =fekete) értékei 0.65-ra ( $Y=0.5$ =középszürkéből adódóan) módosulnak, de a valóságban sajnos ez sem ilyen egyszerű. A képcsövek felületén létrejövő fénysűrűség ugyanis nem egyenesen arányos a vezérlő feszültséggel, hanem inkább annak a  $\gamma \approx 2.2$ -ik hatványával arányos, ezért aztán (hogy ne minden egyes készülékbe kelljen ezt kompenzáló áramkört építeni) sugárzáskor ún. gamma-előtorzítást alkalmazunk, azaz  $Y$  aktuális értékéből mindig ennyiedik gyököt vonunk<sup>11</sup>. Így ezeken a helyeken  $s(t)$  értéke  $0.3+0.7 \cdot 0.5^{(1/2.2)} \approx 0.3+0.7 \cdot 0.73 = 0.811$ -nek adódik.

Az alábbi szemléltető ábra felső sorának négyzeteit  $Y$ , az alsókat pedig  $Y^{(1/2.2)}$  értékének lineáris növelésével árnyaltam (M.Gy.) - ez azonban nyomtatásban, kivetítőn, LCD panelen stb. másképp és másképp fog látszani, mivel az ő  $\gamma$  értékük más-és-más, ráadásul (épp' ezért) a legtöbbnek a vezérlő HW-e és/vagy SW-e is (sokszor állíthatóan) csinál valamiféle további  $\gamma$ -előkompenzációt.

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

(c) Elmondani: QAM illetve 2·FM - de ez ebbe a gyakorlatba nem fér bele...

<sup>9</sup> Valójában a sorszinkron jel ennek csak kevesebb mint felét ( $4.7 \mu\text{s}$ -ot) foglalja el, mert van az előző sornak egy rövid ( $1.5 \mu\text{s}$ -os) ún. "utóváll", és az aktuálisan következő sor számára egy hosszabb ( $5.8 \mu\text{s}$ -os) előváll is, ezekkel időt biztosítva a tranziensek kifizetésére.

<sup>10</sup> A negatív moduláció oka az, hogy a jeltovábbítás során megjelenő tüskezajok így nem fehér, hanem fekete pontbeütésként jelentkeznek - ami sokkal kevésbé zavaró. Ugyanakkor ezzel a választással a nagyobb kisugárzandó átlagteljesítmény kellemetlenségét vesszük a nyakunkba - de ezt vállaljuk.

<sup>11</sup> Az egészet tovább bonyolítja az RGB megjelenése - de ettől a mélységtől (vagy magasságtól) itt eltekintünk.

### P.8.7. A teletext sorai

Várhatóan mennyit kell várnunk egy kiválasztott teletext oldal megjelenésére, ha minden félkép 10 sorát használjuk a teletext jel továbbítására?

Megoldás:

Nézzük, milyen adatokra van szükségünk!

A teletext adatok bináris NRZ jelei a félképkioltási idő néhány sorában kerülnek továbbításra, hibajelző illetve -javító kóddal kiegészítve, emelt koszinuszos PAM-mal.

Egy teletext oldal 24 sort, soronként 40 (“monospaced”) karaktert tartalmaz; számoljunk összesen 500 oldallal.

Európában 50 félkép/másodperc az ú.n. félképfrekvencia; a (fél)képszinkron jel 25 soridőt ölel fel (tehát 2·25 sor jön le Európában a 625-ből), viszont ezen 25 soroknak csak egy részébe tehetünk teletext jelet ahhoz, hogy ne zavarjuk meg a TV-k V-szinkronját -> számoljunk 10 sorral<sup>12</sup> félképenként (például mert ezt írtam a feladatban). Egy TV soridő alatt konkrétan 45 byte-ot továbbítunk, ami egy teljes teletext sort tartalmaz órajel befutóval (ami a bitszinkront adja), keretkóddal (ami a byte-szinkront adja), oldal<sup>13</sup>- és sorszámmal, magát a tartalmat hordozó karakterek kódjával, valamint a védőbitekkel.

A fenti adatokkal számolva legrosszabb esetben (amikor a keresett oldalt épp' a sugárzása után választottuk ki) 24 másodpercet ( $50 \cdot 10 / 24 = 20.83$ ,  $500 / 20.83 = 24$ ), átlagos szerencsével számolva (azaz várhatóértékben) pedig ennek felét kell várakoznunk - elhanyagolva például olyan részleteket, hogy az üres karaktersorokat nem kell továbbítani, viszont a hosszú ékezetes karakterek külön ú.n. “fantom” sorokat igényelhetnek, valamint azt sem vettük figyelembe, hogy az oldalakat nem egyenletes időközönként továbbítják: a 100-as (fő-) oldalt például sokkal sűrűbben adják, hogy az nagyon hamar megjelenhessen.

Elhanyagolásainkkal azért nem lépünk ki nagyon a valóságból: a TV2 ma este 21, az RTL Klub pedig 30 másodperc alatt járt körbe az összes lapon.

Elmondhatjuk még, hogy a mai vevőkészülékek már többszáz oldalnyi cache memóriát tartalmaznak, amik a nézett csatorna kiválasztása után rögtön elkezdnek tölteni, így a mai fiatalok tempójához már soknak tűnő várakozási idő - a már tárolt oldalakra - gyakorlatilag 0-ra zsugorodik.

### P.8.8. A pilotjelek szerepe az OFDM-nél

Vezetéknélküli alkalmazásokban nem alapsávi OFDM jelet használnak – hiszen annak igen nagy a relatív sáv szélessége – hanem annak minden összetevőjét ugyanazzal a frekvenciával eltolva hozzák létre az antennán leadott jelet. Gondoljuk át, mi ennek a következménye az alkalmazandó pilotjelekre!

---

<sup>12</sup> A PAL rendszer legfeljebb 17 sort engedélyezhet (6-22. és 318-335.). A SECAM, az ú.n. SECAM azonosító jelek miatt, ennél jóval kevesebbet: elvileg is csak 7-et, ami - egyéb megkötések miatt – akár 2-re (19-20. és 332-333.) is csökkenhetett.

<sup>13</sup> Ennél trükkösebb a dolog: ú.n. magazin-számot továbbítanak, de ezzel most nem foglalkozunk.

Megoldás:

Ha alapsávi OFDM-el volna dolgunk – vezetékes alkalmazásokban, pl. ADSL-ben ez a helyzet – a vevőnek elég ismernie az  $F_0 = 1/T_0$  alapfrekvencia értékét. Ezt az ismeretet biztosítandó egy vivőt – legalább egyetlen egyet – az ortogonális vivők közül modulálatlanul szőnek az összegjelbe. A vevő - ismerve e pilotvivő névleges frekvenciáját - ehhez a pilotvivőhöz hangolódva határozza meg alapvető működési ciklusait (pl. akár a mintavételi frekvenciát).

Ha a sokvivős jel nem alapsávi, akkor a vivők közötti raszter pontos ismeretéhez nem elég egyetlen vivő, hiszen a frekvenciaeltolást is pontosan azonosítani kell. Így ilyenkor legalább két pilotjelre van szükség: egyikük (vagy átlaguk) az alkalmazott frekvenciaeltolás, másikuk (pontosabban a különbségük) az OFDM raszterfrekvenciájának (alapfrekvencia) a megismerését teszi lehetővé.

Valójában sokkal több pilotjelet alkalmaznak, folyamatosan, vagy szabályos időközönként, rövid időre bekapcsolva. Ezek a pilotjelek biztosítják, hogy a vevő képes legyen azonosítani a csatorna okozta lineáris torzításokat, tehát valójában az üzem közben végzett mérések mérőjeleit szolgáltatják. Számuk valóban nagy, pl. az említett DVB-T rendszerben a 6817 vivő közül 177 a folyamatos, 524 pedig az időnként bekapcsolódó pilotvivők száma. További 68 vivőt vesz igénybe az ún. TPS (Transmission Parameters Signalling), ami egy afféle szolgálati jelzőcsatornát jelent.

**P.8.9. A többutas terjedés hatása OFDM jelekre**

Vizsgálja meg, mi a hatása az 1.8 MHz sávszélességű, vivőjű DAB jelre annak a lineáris torzításnak, amely egy 125  $\mu$ s mikrosec (többlet)késleltetésű, 12 dB (többlet)csillapítású jelút következtében lép fel!

Megoldás:

A többutas (jelenleg kétutas) terjedés hatása két eltérő jelenségben nyilvánul meg. Az egyik jelenség az, hogy az egyik, illetve a másik úton hozzánk eljutó jelzések időben elcsúsznak, s az egymást követő jelzések így egymással is átfedésbe kerülnek. Ez tkp. a szimbólumközi áthallás, de itt (az OFDM-nél) ezt meg sem próbáljuk kiküszöbölni, ehelyett a vett jel ilyen durván sérült szakaszait értékelhetetlennek minősítjük. Ez sem könnyű, meg kell találni a vett jelben azt a szakaszt, amelyet ugyanazon adási szimbólum különféleképpen késleltetett változatai hoztak létre.

A másik jelenség éppen ez: a vett jel a leadott szinuszos jel különféleképpen késleltetett és erősített változatainak összege. A keletkező torzítás lineáris, átviteli függvénye:

$$H(f) = 1 + A \cdot e^{-j2\pi f\tau}$$

Ez az átviteli függvény a frekvencia periódikus függvénye, a periódus éppen  $f_p = 1/\tau$ , s ez a periódus most 8 kHz. Az is látható, hogy esetünkben az eredő erősítés nagysága  $1-A$  és  $1+A$  között változik, a határok most 0.75 és 1.25. Az átviteli függvény okozta fázistolás is frekvenciafüggő. A DAB jel vivői 1 kHz osztásban helyezkednek el, ez a 8 kHz periódushoz képest nagy, ezért az egyes vivők eléggé eltérő mértékben csillapodnak, s fázisuk eltolódása is jelentős mértékű. Ezzel együtt sincs azonban nagy baj, mert az alkalmazott modulációs módszer (a 4QAM) egyrészt elég robusztus, másrészt ez a torzítás vivőről-vivőre kiismerhető, és minden egyes vivőre egyedileg figyelembe vehető.

**G.8.1. Gyakorló feladat**

Ismertesse az FM hangműsorszórásban alkalmazott sztereo multiplex jel szerkezetét!

- a) Rajzolja fel egy olyan rendszer blokkvázlatát, amely alkalmas a multiplex jel előállítására!
- b) Milyen frekvenciájú összetevői lesznek a multiplex jelnek, ha a BAL mikrofon egy 10 kHz-es jelet vesz?
- c) Milyen frekvenciájú összetevői lesznek a multiplex jelnek, ha a JOBB mikrofon egy 25 kHz-es jelet vesz?

**G.8.2. Gyakorló feladat**

Szóke kapitány, a feltaláló zseniális gondolata a tükörfrekvenciás hatás kiküszöbölésére a következő: minden adó sugározza a maga adását a saját tükörfrekvenciás sávjában is. Valóban működőképes lehet egy ilyen eljárás? Miféle buktatói lehetnek?

**G.8.3. Gyakorló feladat**

OFDM rádióadás (pontosabban: vétel) zavarására alkalmas adót kell készítenie. Gondolja át, hogyan célszerű felhasználnia a rendelkezésére álló adóteljesítményt!