

BEVEZETÉS A STÚDIÓTECHNIKÁBA

Dr. Wersényi György

egyetemi docens

egyetemi jegyzet

Széchenyi István Egyetem
Műszaki Tudományi Kar
2008

Tartalom

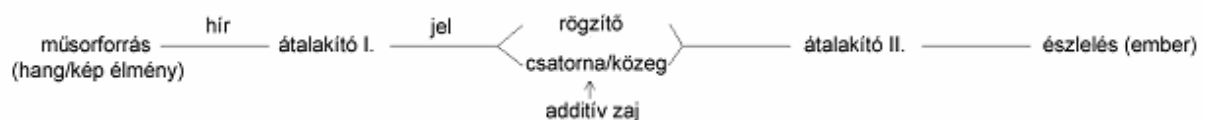
Tartalom	2
1. Bevezetés.....	4
1.1 A bitsebesség és a digitális jelfeldolgozás	5
1.2 A hang fizikai leírása.....	8
1.2.1 Az emberi hallás fiziológiai tulajdonságai	10
1.2.2. A beszéd	15
1.3. A hangtér mesterséges előállítása és leírása.....	16
1.4 Teremakusztikai alapfogalmak	21
2 Rögzítők	23
2.1 Mágneses szalagos rögzítés.....	26
2.1.1 A fej-szalag kapcsolat	27
2.1.2 Az átviteli függvény	29
2.1.3 Digitális rögzítés	32
2.2 A HDCD.....	45
2.3 A digitális mágnesszalagos rögzítés rendszerei	48
2.3.1 Az állófejes rendszerek	49
2.3.2 A forgófejes rendszerek és a DAT	51
2.4 A digitális mágneslemezes rögzítés rendszerei.....	57
2.4.1 A MiniDisc	58
2.5 Analóg és digitális soksávós rögzítés	62
2.6 Lézerlemezes rendszerek.....	64
2.6.1 CD	65
2.6.2 DVD	71
2.6.3 Új DVD-szabvány születik.....	75
2.6.4 Hangrendszerek a filmszínházban.....	78
2.6.5 Nagyfelbontású hangformátumok	81
2.6.6 A jövő zeneformátumai: DVD Audio és SACD	85
3. Zenei hangok forráskódolása	96
4. Stúdiótechnológiák.....	108
4.1 Elektroakusztikai átalakítók	109
4.2 Stúdió-lehallgatási rendszerek.....	118
4.3 Mikrofonozási technikák és felvétel	120
4.4 A keverőasztal	123
5. Irodalom	134
6. Függelék.....	135

Békésy György Budapesten született 1899. június 4-én. Münchenben, Isztambulban, Zürichben és Budapesten is tanult, de a berni egyetemen diplomázott. Doktorátust 1923-ban Budapesten szerzett, miközben a postai kutatóintézetben dolgozott. Új telefonvevőt készített és teremakusztikai kísérleteket végzett. Később a fizikai tanszék professzora lett a Pázmány Péter Tudományegyetemen. A második világháborúban bombatalálat érte a postai intézetet és sok munkája megsemmisült. Ezután Svédországban dolgozott, ahol kifejlesztette a híres automatizált audiométerét. *Stevens* meghívására elvállalta a Harvard Egyetem Pszichoakusztikai Laboratóriumának vezetését 1947-től. 1961-ben orvosi Nobel-díjat kapott a halláskutatásban elért magyarországi eredményeiért. 1965-ig dolgozott a Harvardon, ahol biofizikával és halláskutatással foglalkozott. Végül Honoluluba költözött egészségügyi okokból, ahol 1972-ben halt meg.

1. Bevezetés

A stúdiótechnika összefoglaló néven magában foglalja az összes olyan technológiát, technikát, módszert és elvet, amely a hang és (mozgó)kép információ megragadását (felvételét), rögzítését, tárolását, továbbítását és visszaadását teszi lehetővé. Tág értelemben ide tartozik a hírközlésemélet, antennák, hullámterjedés, erősítők és kábelek kapcsolástechnikája éppúgy, mint a mikrofonok, kamerák, hangszórók műszaki paraméterei vagy éppen a digitális jelrögzítők, különböző CD formátumok hibajavító kódolása, tömörítése.

Az alábbi blokkvázlat mutatja, miként történik az általánosságban vett kép- és hanginformáció továbbítása. Ez a műsorforrás lehet egy mozifilm, koncertfelvétel, rádióriport, ami „hírforrásként” indul és a megfelelő átalakítás után „jellé” alakul. Definíció szerint a jel a hír elektromos megfelelője, azaz az „átalakító I” feladata, hogy a látványt és/vagy a hangot elektromos jellé alakítsa (mikrofon, kamera). Ez a jel kétféle úton terjedhet: vagy műsorszórás/elosztás útján a csatornába kerül (kábel, rádióhullám, műhold stb.) vagy pedig egy rögzítőre (mágnes szalag, CD, DVD, hard disk stb.). Közös jellemzőjük, hogy mindkettő „zajos”, azaz elsődleges célunk lesz ennek minimalizálása. Természetesen, egy rögzítőn lévő tárolás sokkal jobb minőségű átvitelt jelent, mint egy sugárzott, sokkal kevesebb zaj éri illetve azok formája is más. Egy adóból kisugárzott rádióadás, mely a levegőben terjed, egész más hatásoknak van kitéve, mint egy zeneszám a CD-n (utóbbi pld. karcolások károsítják). Így a hozzá adódott additív zaj alapján meghatározza a mérnöki feladatot, legtöbbször élesen elkülönül a „jó átvitel” megvalósítása a két esetben. Ez praktikusán pld. a hibajavító kódolásokban jelenik meg: más minőségi követelmény kell egy DVD filmhez, mint a DVB-S műsorokhoz. Az ábrán az additív zaj a csatornához van bejelölve, ezzel is jelezzük, hogy a csatorna mindenképpen zajos, tökéletlen, hibát okoz az átvitelben. Tökéletes, zaj ill. hibamentes csatorna csak elméletben létezik, ehhez nem szükséges hibajavítás. Az átalakító II inverze az átalakító I-nek, feladata, hogy az elektronikus jelet ismét az ember által észlelhető, feldolgozható formává alakítsa (hangszóró, képernyők stb.). Az átalakító I minősége fontosabb, mint a kettes, mert ez az anyag kerül rögzítésre. Jellemzően ez található a stúdióban, így ott professzionális, drága berendezésekkel dolgoznak, míg az otthoni végfelhasználó pénztárcája és igényessége függvényében választhat lejátszó berendezéseket. Más szóval, újításokat, fejlesztéseket úgy kell végrehajtani, hogy egyrészt az lehetőleg kompatibilis maradjon a régiekkel, ill. az új berendezések közül a felhasználónál lévő legyen lehetőleg egyszerű, olcsó, gyors, kicsi, könnyű stb. Tipikus példája ennek a későbbiekben megismert MP3 kódolás, ahol a kódoló oldal számítási igénye és bonyolultsága lényegesen nagyobb a dekóder oldalánál.



A technika olyan gyorsan fejlődik, hogy lépést tartani vele rendkívül nehéz. Ez a jegyzet talán 1-2 éven belül már hiányos lesz, melyet modernizálni kell. Manapság a stúdiótechnika világa 90%-ban digitális. Ez részben könnyíti a helyzetünket, részben nehezíti. A tananyag nagy része is a digitális technika világát deríti fel, ugyanakkor röviden megismerteti az analóg

berendezések máig használatos, esetleg „legendás” eszközeivel, de leginkább csak az elvi működéssel (mint pld. a mágneses hangrögzítés elemei).

Ahogy a tartalomból is kitűnik, teljességre nem törekedhetünk. Ez a jegyzet elsősorban akusztikai oldalról, a hang stúdiótechnikájával foglalkozik. Teszi ezt azzal a nem titkolt céllal, hogy ugyanekkorra terjedelemben - a későbbiekben - helyet adjon a képtechnikának is, kamerák, lejátszók, filmtechnikai és átviteli berendezések, képstúdió eszközeivel, eljárásaival, és leginkább a digitális kódolási eljárásokkal is megismertesse a hallgatókat. A tantárgy párja a „TV technika”, mely tárgyalja a képfeldolgozás, tárolás és továbbítás alapvető rendszereit, módszereit és eszközeit az analóg és digitális televíziózás világában.

1.1 A bitsebesség és a digitális jelfeldolgozás

Nézzük tehát kissé részletesebben a két átalakítónkat! Az átalakító I tipikusan kamera, mely képet, illetve mikrofón, mely hangot alakít elektromos jellé. Analóg esetben katódsugárcsővet kamerára kell gondolni, digoitalis esetben CCD eszközre, vagy az analóg módon felvett jel utólagos digitalizására. Ennek részletei a másik tárgy keretébe tartozik. Hang esetében is hasonló a helyzet. Manapság természetes a digitális technika alkalmazása, azon belül is a legfontosabb kérdés a bitsebesség. Ez rokon fogalom a sávszélességgel – utóbbi analóg esetben használjuk. Nagyjából igaz az az állítás, hogy ahány MHz sávszélességünk van, annyi Mbps „mehet át rajta”. Más szóval, ha digitális jeleket kezelünk, megbecsülhetjük annak helyigényét a rögzítőn, ill. az átviteléhez szükséges sávszélességet. A legfontosabb paramétert egy digitális jelátvitel során a *bitsebesség*. Egy bit per másodperc (bps) az átvitel sebesség (sebességigénye) akkor, ha másodpercenként 1 bit kerül továbbításra, átvitelre. Mivel ez nagyon lassú, általában ennek sokszorosát szoktuk megadni: kbps (kilo bit per secundum), Mbps (mega bit per secundum), ahol $k=1024$, $M=1024*1024$ -et jelent, a számítástechnikában szokás szerint. Néha, főleg DVD-k esetén, használatos még a kB/s MB/s is, ahol 1 Byte=8 bit. Ez egyben azt is megadja, mekkora tárolókapacitás szükséges 1 mp. anyaghoz: egy 768 kbps „sebességű” anyag 1 másodpercéhez 768 kbit-re van szükség. Célunk nagyon sok esetben az, hogy ezt csökkentsük, tömörítsük.

A kép sokkal nagyobb hely- és sebességigényű, mint a hang. A levezetés mellőzése nélkül egy 100 különböző szürkeárnyalattal rendelkező fekete-fehér kép másodpercenkénti igénye az alábbi képlettel becsülhető:

$$600*800 [\text{pixel}] * 25 [\text{fps}] * ld \ 100$$

ahol a kép mérete (felbontása) 600 illetve 800 képpont (pixel) vertikálisan ill. horizontálisan, 25 darab a képszám másodpercenként, ami a mozgóképek észleléséhez szükséges (progresszív letapogatással, fps = frame per secundum), *ld* pedig a kettes alapú logaritmus jele. Utóbbi magyarázatához az tartozik, hogy a 100 különböző szinttel rendelkezhető pixelek ilyen nagy számban statisztikusan ekkora információtartalmat hordoznak hosszú idő alatt. Ez tehát információelméleti megfontolás. A fenti érték 80 Mbps, ami azt jelenti, hogy 1 másodperc fekete-fehér mozgóképek (ilyen paraméterek mellett) 80 Mbit-et foglalna el a lemezen (10 MByte).

Ugyanezt a számolást színes képre elvégezve meglepődve tapasztalhatjuk, hogy a bitsebesség nem nő meg drasztikusan. Ennek az az oka, hogy az emberi szem érzékenysége (felbontóképessége) ötször rosszabb színes képek esetén. Azaz, ötöde felbontás is elégséges, ami a két dimenzió miatt megfelel 25-ször akkora pixeleknél! A számítást elvégezve az érték kb. 84 Mbps-ra növekszik. Ezt látni fogjuk később, a mai professzionális, tömörítést nem

alkalmazó felvevők (vágáshoz, editáláshoz) ehhez hasonló sebességgel dolgoznak, így gyakori a több GByte-os fájl méret is, amelyek kezeléséhez nagy számítógépek szükségesek. A maximális felbontás és minőség a digitális képtechnikában elérheti a 200-300 Mbps-t is! Hosszantartó tárolás azonban még DVD-kel sem lehetséges, így a műsorszórásban és a rögzítésben is különböző tömörítéseket fogunk alkalmazni (tipikusan MPEG 1, MPEG 2, MPEG 4). Ezeket a betömörített anyagokat aztán a megfelelő szabványos formátumra kell hozni (DVB-S, DVB-T, DVB-C, DVD stb.). A felvevő eszközök külön tantárgyat tölthetnének ki, itt most nem foglalkozunk velük részletesen (kamerák, CCD eszközök).

Már említettük, hogy a hang kevesebb helyet foglal el, hiszen a manapság már szokásos CD minőségben egy korongra kb. 70 percet tudunk sztereóban rögzíteni. Ez az 1980-as években, amikor a fejlesztés történt, hatalmas technológiai ugrásnak számított! De kezdjük az egyszerűbbel. A legegyszerűbb hang a beszéd. A beszéd továbbítása egyszerű, hiszen egyrészt a frekvenciatartománya, dinamikája nem olyan széles, másrészt természetes „hibajavítás” is van benne, amit nyelvtudásnak nevezünk. A telefon egész más követelményeket teljesít, mint egy koncert rádiós sugárzása, hiszen a *beszéderthetőség* lényegesen más paraméter, mint mondjuk a torzítás. A digitális telefonia 8 bites kvantálás és 8 kHz-es mintavétellel dolgozik, ami (összeszorozva) 64 kbps sebességet igényel. A Shannon-tétel szerint, egy hang akkor reprodukálható, ha a maximális sávszélességnél legalább kétszeresével mintavételezzük, azaz ez esetben 4 kHz-ig tudunk átvinni hangot, ami messze van a 20 kHz-es HiFi határtól, de nem is ez a cél. Megjegyeznénk, hogy a telefonok 3,4 kHz-nél már levágnak, és a fennmaradó helyben adat, jelzés stb. információk áramolnak. Vigyázzunk, hogy a „nyers” ún. *raw data*-nál az átvendő adat sokkal több, hiszen keretformátum, szinkron, hibajavítás, fejléc, stb. rendszerinformáció is áramlik!

A CD sebességét így tudjuk kiszámítani:

$$2 \text{ [csatorna]} * 16 \text{ [bit]} * 44100 \text{ [Hz]} = 1,4 \text{ Mbps.}$$

Ennyi tehát a sztereó CD minőségű hanganyag helyigénye (ún. *raw lineáris PCM*). Ha 70 percnél többet akarunk rögzíteni, akkor vagy nagyobb helyre lesz szükség, vagy a hangot is tömöríteni kell. Különösen, ha a két csatorna helyett többet, házimozinál 6-8, stúdióban akár 48-96 darab csatornát is rögzítünk. A legismertebb tömörítési eljárások az MPEG 1, MPEG 2, ATRAC, PASC, MUSICAM, Dolby Digital stb., melyek mindegyike **veszteséges** bitsebességsökkentő eljárás. Azaz, amit egyszer betömörítettünk, kitömörítve elveszíti az információ nagy részét. Ezt azért engedhetjük meg magunknak, mert az emberi szem és a fül „becsapható”, ahogy látni fogjuk az MPEG részletes tárgyalásánál. Stúdiókban és jó minőségű rendszerekben léteznek **veszteségmentes** kódolások is, melyek mindössze 50% hatásfokkal működnek (ellentétben az akár 80-90%-os MPEG-el), viszont hibátlanul visszaalakíthatók. Ezek gyakran rokonságot mutatnak a WinZip programokkal, amelyek tipikusan veszteségmentesek, hiszen adattömörítés nem engedhet meg veszteséget! Az ilyen audiofil alkalmazások High Definition Audio-nak, nagy felbontású hangrendszereknek nevezzük (Super Audio CD, DVD Audio).

A **csatorna** hírközlésméleti fogalom. Matematikailag megragadható, nem más, mint ún. átmeneti valószínűségek halmaza. A csatorna egy leképezés, amely adott valószínűséggel képezi le a bemeneti adatot (bitet) a kimenetre, elsősorban digitális esetben. Pld., egy csatorna olyan átviteli modell, ahol a bemenetre adott „1” szimbólum 90%-os valószínűséggel „1”-ként jelenik meg a kimeneten, de 10% valószínűséggel (az additív zaj és egyéb hibák miatt) „0”-ként kerül dekódolásra, ami hiba. Annál jobb egy csatorna, minél jobbak a paraméterei. Persze, egy csatorna nem feltétlenül kétállapotú, ahogy a példa, hanem lehet tízállapotú is, ahol a számokat egytől tízig képezi, és nem feltétlenül szimmetrikus (azaz előfordulhat, hogy az 1-0 tévedés valószínűsége más, mint a 0-1 tévedésé). Számunkra a lényeg, hogy egy csatorna

attól csatorna, hogy nem tökéletes és hibázik, ami ellen nekünk hibajavító kódolással kell védekezni. Legfontosabb paramétere az analóg jel-zaj-viszony:

SNR (signal-to-noise ratio) = $10 \cdot \log(S/N)$ [dB],

ahol S a jel (signal), N pedig a zaj (noise) teljesítménye. Minél nagyobb egy rendszer, erősítő, csatorna jel-zaj-viszonya, annál jobb a helyzet, hiszen annál nagyobb a hasznos jel aránya a zajhoz képest. Ez az érték digitális technikában is értelmezett, közvetlen kapcsolatban áll a felbontással (kvantálással).

A **hordozó** az, amire a felvételt készítjük, minősége ennek sem tökéletes, ezért hibajavításra itt is szükség van (sérülhet, kophat). A jel-zaj-viszony itt is fontos paraméter, és szétválaszthatjuk az analógot a digitálisról, a konzum elektronikát a (fél)profitól.

Miért is fontos a digitális technika az életünkben? A tévhittel ellentétben nem a minőség javulása! Azaz, attól, hogy egy rendszer digitális, még nem jobb az analógnál, csak akkor, ha az megfelelően van paraméterezve. Jó példa erre egy alulmintavételezett és alulkvantált CD felvétel (8 bit, 8 kHz telefonvonalis átvitel esetén), ami bár digitális minden szempontból, mégis elmarad bármely analóg hanglemez vagy magnó mögött.

A digitális technika és rögzítés célja a *reprodukálhatóság*. Más szóval, a minőség konzerválása: amit egyszer felvettünk, az úgy is marad. Erre garancia a hibajavítás és maga az elv, az hogy 0 és 1 biteket kell dekódolnunk. Ezt pedig akár nagyon zajos környezetben is megtehetjük! Gondoljuk el, hogy egy zajos csatornában analóg jelet sugárzunk, amit egzaktul kéne vennünk: ha a zaj befolyásolja, torzítja a jelet, a vétel minősége romlik. Ugyanebben a csatornában a digitális jelek, amelyek valójában ugyanolyan elektromos feszültségértékek teljesen hibátlanul dekódolhatók egész addig, amíg a dekóder felismeri az 1 és 0 biteket. Akármennyire is eltorzulhat egy ideális 101010... négyszögjel, amíg a dekóder ezt képes visszanyerni, az átvitel tökéletes.

Ugyanez vonatkozik a másolásra is: analóg anyagot másolva a minőség folyamatosan romlik. Ilyenkor beszéltünk Master és Copy szalagról, ez mára már Original és Clone névre hallgat...persze, ez sok jogi kérdést is felvet, hiszen korlátlan a digitális másolás lehetősége.

Mi tehát a digitális jel? Két dolognak kell megfelelnie, amit az analóg-digitál (A/D) átalakítók végeznek:

1. mintavétel (sampling): a mintavétel során az analóg jelből mintát veszünk adott időközönként. Így **időben diszkrét** mintasorozatot kapunk, amely számsorozat (még) végtelen sok tizedestörtből áll. A Shannon-féle mintavételi törvény szerint, ha f_{mv} (mintavételi frekvencia) $\geq 2B$ (ahol B a jel sávszélessége), akkor ezek az időminták leírják a jelet a közbenső időszakokban is tökéletesen, és a visszaállításhoz egy ideális aluláteresztő szűrő szükséges (interpoláló szűrő). A jel visszaállítás (D/A) hibátlan és tökéletes! Ez azonban csak elméleti lehetőség, hiszen a számértékek még végtelen sok bittel írhatók csak le. Ahhoz, hogy rögzíthessünk, ezeket az értékeket kerekíteni kell.
2. a kvantálás során a fenti értékeket most a másik tengely mentén diszkrétizáljuk. Az egész dinamikatarományt felosztjuk apró lépcsőkre (kvantálási lépcső), méghozzá minél többre. Egy 8 bites kvantálás során minden „kódszó”, azaz minden lehetséges lépcsőfoknak egy 8 bites szót feleltetünk meg, ez összesen 2^8 darab lépcső. Ha még egy bitet hozzáadunk, akkor ez a lépcsőszám duplázódik, azaz a felbontás kétszeresére finomodik. A CD-hez 16 bites felbontást használunk, de a DVD Audio és a DVD már 24 bittel (is) dolgozhat. Ezután tehát a már időben diszkrét minták **amplitúdóban is diszkrét**é válnak. A finom részletek, kis változások (amelyek kisebbek, mint két lépcső közötti távolság fele) véglegesen elvesznek, tehát veszteséget, vissza nem állítható hibát csak a kvantálás okoz a digitális rendszerben, a mintavételezés elvileg nem. Persze, a kettő úgyis együtt működik, és a cél az, hogy ezeket a hibákat már ne

vegyük észre, ne lássuk meg a képen, ne halljuk meg a hangban. A túl finom felbontásra nincs szükség, hiszen egy idő után már a termikus, additív zajkomponenseket fogjuk kvantálni és finomítani, amire nincs szükség.

Kvantálási zajnak nevezzük a kerekítési hibát (pontosan a hiba négyzetes várhatóértékét). Amennyiben egyenletes a kvantálás (minden lépcső azonos magasságú és q nagyságú), akkor a kvantálási zaj értéke $q^2/12$. Ez a zajteljesítmény egyenletesen oszlik el a frekvenciatartományban. Oka, hogy az időtartománybeli minták kerekítése a kvantálás során azonos valószínűséggel történik: éppolyan valószínű, hogy egy mélyhangot kerekítünk, mint ahogy egy magasat.

Általános ökölszabályként igaz, hogy amennyiben a kvantálást egy bittel megnöveljük a jel-zaj viszony (és vele együtt a dinamika) +6 dB-el javul. A 16 bithez tehát $16 \cdot 6 = 96$ dB tartozik, ami a CD minőség környéke (bizonyos CD lejátszók képesek ennél jobbra is, ami becsapós, hiszen ennél jobb nem jön ki belőle, itt arról van szó, hogy utólagos jelfeldolgozással, pld. 20-24 bitre alakítással és számolással javítanak, valamint az analóg áramkörök sem korlátozzák a 96 dB-t).

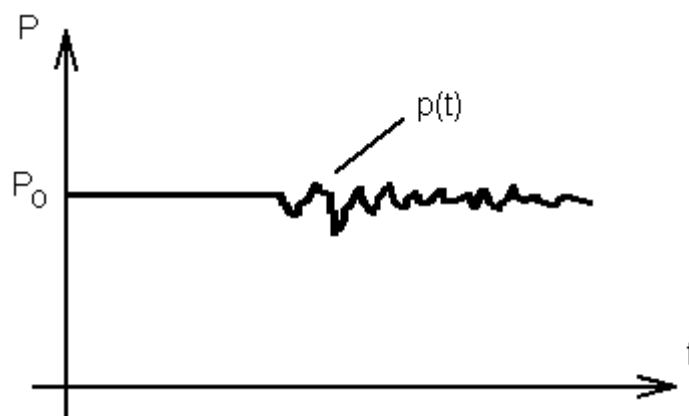
Természetesen úgy a bitszám, mint a mintavételi frekvencia növelése helyigénnyel jár. Ráadásul, a kvantálás a kritikusabb folyamat, mintavételi frekvenciában nem gond akár a több MHz nagyságrend sem, ellenben 16-ról 24 bitre ugráshoz sokkal több technika és fejlesztési idő kellett. Látjuk majd a hallástartományánál, hogy az emberi hallás dinamikája, a leghalkabb és leghangosabb hangok aránya kb. 130 dB. A 24 bites felbontáshoz 144 dB dinamika tartozik, magyarul ennél több bitre sosem lesz szükség, mert az már csak a hallásunk által nem érzékelhető zajkomponenseket fogja finomítani. A digitális jel tehát számunkra a továbbiakban *időben és amplitúdóban is diszkrét* jelfolyam (bitstream), melynek minőségi követelményeivel fogunk foglalkozni. Előtte azonban a hang és a hallás fizikai jellemzőit ismerjük meg röviden.

1.2 A hang fizikai leírása

Fizikai jellegét tekintve a hang valamilyen rugalmas közeg mechanikai rezgéséből áll. Ilyenkor a rugalmas anyag azon részecskéi, amelyek külső hatásra kimozdultak nyugalmi helyzetükből, a rugalmassági erő és a tehetetlenség folytán periodikus rezgésbe jönnek. Szilárd anyagokban az úgynevezett testhang, cseppfolyós anyagokban a folyadékhang és levegőben léghang keletkezik és terjed. Az emberi fül döntően a levegőben terjedő hangokat érzékeli, ezért a léghanggal kapcsolatos ismeretek (pl. hangkeltés, terjedés, érzékelés stb.) kiemelt jelentőségűek.

A léghang légnyomásingadozás formájában jelentkezik. Az állandó értékűnek tekinthető légköri nyomásra szuperponálódik a hangnyomás. A tér egy pontjában az eredő $P(t)$ légnyomás a P_0 - al jelölt konstans légköri nyomás és a $p(t)$ összegeként adható meg.

$$P(t) = P_0 + p(t)$$



A hangnyomás időfüggvénye.

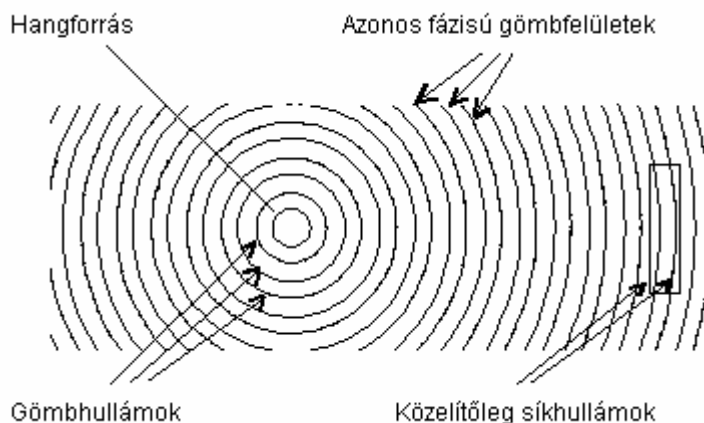
A továbbiakban csak az időben változó második taggal, a hangnyomással fogunk foglalkozni. A hang fizikai jellemzésére leggyakrabban a hangnyomás effektív értékét szokás használni. A hangnyomás szabványos mértékegysége a Pa, ami 1 Newton erőhatást jelent 1 m^2 felületen. (A konstans légköri nyomás közelítőleg $100\,000 = 10^5 \text{ Pa}$). A hangnyomás értékét mérőmikrofonnal mérjük. Méréskor gyakori szokás az, hogy a mért hangnyomás és egy referencia érték arányát adják meg dB-ben. Ilyenkor a referencia $p_0 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$, ami az átlagember számára az éppen meghallható 1000 Hz-es szinuszhang nyomásértéke. Ügyeljünk arra, hogy P_0 -t és p_0 -t ne keverjük össze! A hangnyomásszint tehát:

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

A hanghullámok azonos fázisú pontjai közötti távolságot hullámhossznak nevezzük. A hullámhossz és a frekvencia szorzata egy állandó érték, ami a hang terjedési sebessége.

$$c = f\lambda$$

A hang terjedési sebessége függ a hőmérséklettől, de átlagos értékkel számolva 340 m/s . Ha a hang forrása pontszerű, és ha a térben a hang minden irányban akadálytalanul terjedhet, akkor gömbhullámok keletkeznek. A hangforrástól nagy távolságra az azonos fázisú gömbfelületek alig görbülnek, ezért ezeket már síkhullámoknak tekinthetjük.



Gömbhullámok terjedése.

A hang jellemezhető az időegység alatt a felületegységen áthaladó energia nagyságával is. Ezt nevezzük hangintenzitásnak, értékét a hangnyomás és a részecskesebesség szorzataként számítjuk:

$$I = p \cdot v.$$

Az intenzitást is gyakran viszonyítva, dB-ben kifejezve adjuk meg. Könnyen belátható, hogy a viszonyítási alap $I_0 = 1 \text{ pW/m}^2$, ami az 1000 Hz-en éppen meghallható szinuszhang intenzitásértéke. Az intenzitás szintjét tehát:

$$L_i = 10 \lg (I/I_0).$$

1.2.1 Az emberi hallás fiziológiai tulajdonságai

Tapasztalatból tudjuk, hogy az emberi hallás mind frekvencia, mind pedig a hangnyomás tartományokban korlátozott. Az ember a fülével és az agyával „együtt” hall, ahogy a látás is az agyban történik, a szem csak egy (fény)felvevő eszköz. Nagyszámú kísérleti alannal végzett mérések alapján megállapították, hogy milyen hangnyomásszinteket vagyunk képesek még éppen meghallani a frekvencia függvényében. E mérési eredményeket *hallásküszöb*nek is szokás nevezni. A hallásküszöb erősen függ a frekvenciától. Eszerint a fül érzékenysége a néhány kHz-es tartományban a legnagyobb, kisebb és nagyobb frekvenciákon az érzékenység leromlik.

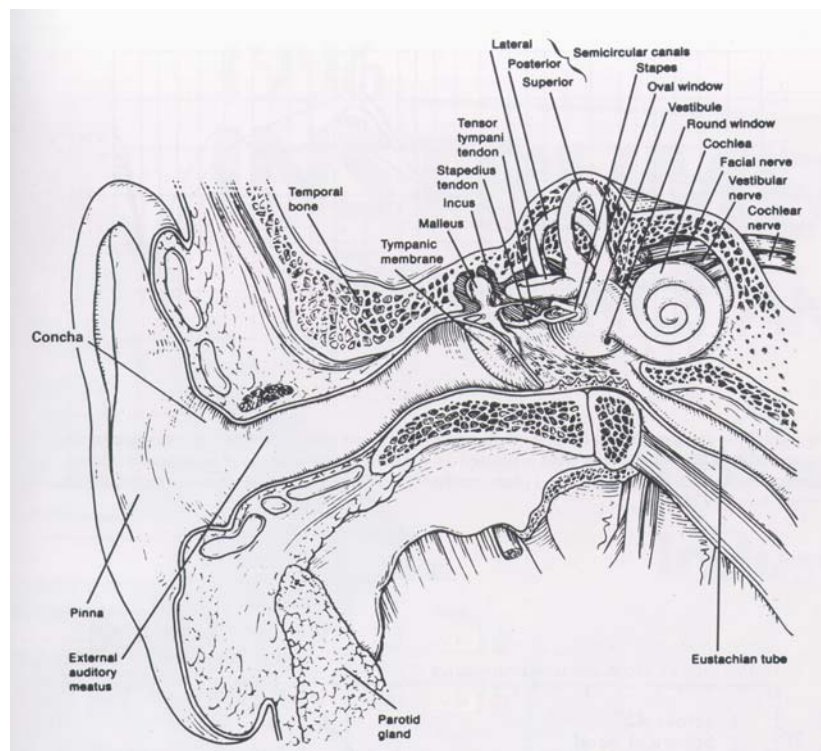
A hallástartomány kb. a 20 Hz – 20 kHz-ig terjedő sáv, amely a korral erősen romlik, különösen a magas frekvenciák válnak érzékelhetetlenebbé. Mivel ez egy nagy frekvenciasáv, az akusztikában szinte kizárólag logaritmikus skálákkal dolgozunk. Így lehetővé válik nagy léptékek ábrázolása is, csak arra kell ügyelnünk, hogy adott nagyságú lépés a tengelyen nem lineáris növekedést eredményez, hanem a logaritmustól függően többszöröset. Az oktávskálán a feltüntetett egységek egymás kétszeresei, azaz ugyanakkorát lépve a frekvencia duplázódik. Egy oktáv kétszeres frekvenciát jelent (pld. 100 Hz – 200 Hz – 400 Hz – 800 Hz – 1,6 kHz – 3,2 kHz – 6,4 kHz stb.). Látható, hogy egy egység az elején csak 100 Hz-et fog át, a skála végén pedig már 3200 Hz-et. Hasonlóan elterjedt még a dekad-osztás, amely tízszeres frekvenciaviszonyt jelöl (100 Hz – 1 KHz – 10 kHz), valamint általánosan használt sáv szélesség még a tercsáv, vagy más néven harmadoktáv sáv (1/3 octave), ahol három terc ad ki egy oktávot.

A hallás a fülkagylóval kezdődik, mely a hallójárat bemenetéig tart. Idáig értelmezhető egy a hangforrás irányától erősen függő átviteli függvény, utána azonban már a hangterjedés a középfülben „irányfüggetlen”. Ez azt jelenti, hogy a tér- és irányhallás kialakul a hallójárat bemenetéig, onnan pedig „elfelejti” honnan jött. Ennek fizikai oka a hallójárat méretében keresendő, kb. 17 kHz-ig igaz az, hogy a beeső hangok innen új pontforrásból terjednek tovább.

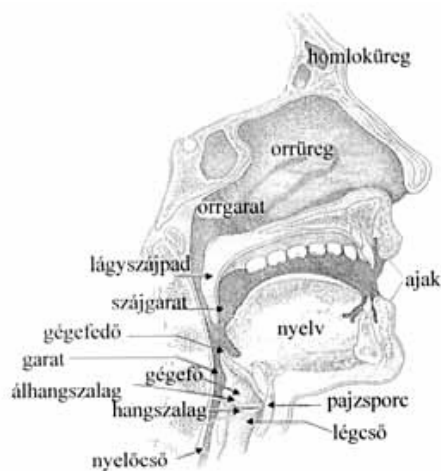
A hallójárat a középfrekvenciákat kissé erősíti, és pontosan leírható akusztikus elem (geometriájából és a lezáró impedanciából számítható). Ez a lezáró akusztikus impedancia a dobhártya, ami nyomáskülönbségek során rezgésbe, mozgásba jön. A belső feléhez kapcsolódnak a hallócsontok: kalapács, üllő, kengyel, melyek mozgásba jönnek és megtörténik az akusztikus hullámok mechanikai rezgéssé alakítása. A hallócsontok az ovális ablakhoz továbbítják a rezgéseket, a kitérést (amplitúdót) le, az erőt ez a szerv (kb. 1:30

arányban) feltranszformálja, nagy amplitúdóknál határol. Itt ér véget a középfül, ahonnan a belső fülbe vezet az út.

Az ovális ablak másik feléhez kapcsolódik a csiga (cochlea), amely egy folyadékkal telített felcsavart szerv. Benne található a Corti-szerv, ami a Basilar membránból és a rajta található ún. szőrsejtekből áll. Ez is a középvonal mentén van felcsavarodva és végzi a frekvencia-transzformációt oly módon, hogy az ovális ablakon átadódó rezgések haladóhullám formájában (Békésy-féle haladóhullám) tovaterjednek rajta. Ezek a frekvencia függvényében különböző állóhullámokat hoznak létre, a kiemelkedések pedig az ott található szőrsejteket ingerelik és végül elektromos ingereket gerjesztenek. A szőrsejtekhez kapcsolódik az idegpálya, ami az agyba fut fel és az ingerületet oda továbbítja (ezek már diszkrét, idegi impulzusok).

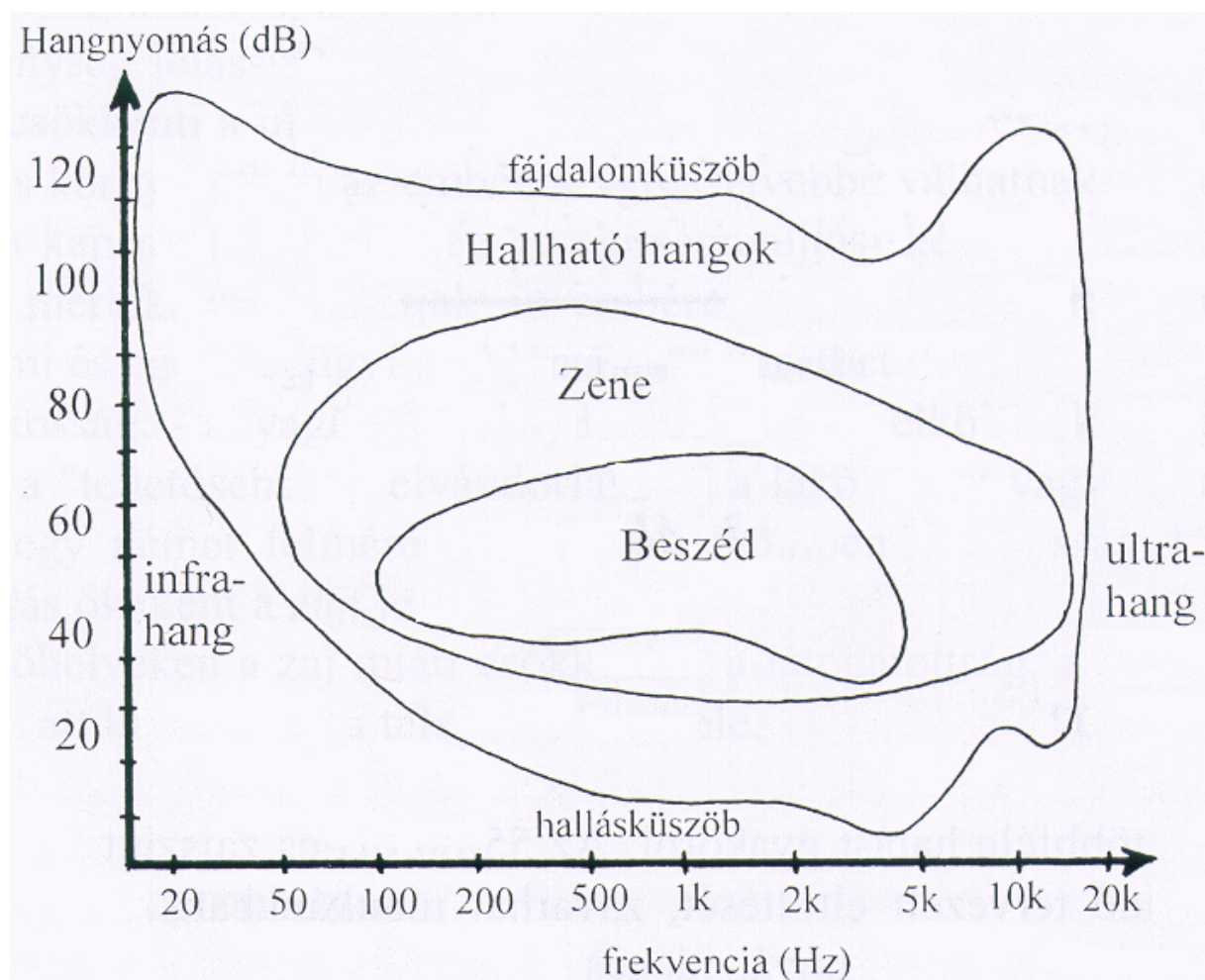


A fül felépítése.



A beszéd szervei.

A halláshoz nem kapcsolódik közvetlenül, de a nyomáskiegyenlítéshez elengedhetetlen az Eustach-kürt, amely összeköttetésben áll a száj- és orrüreggel is, és amely nyeléskor nyílik (és amely megakadályozza a fül bedugulását nagy magasságokban).

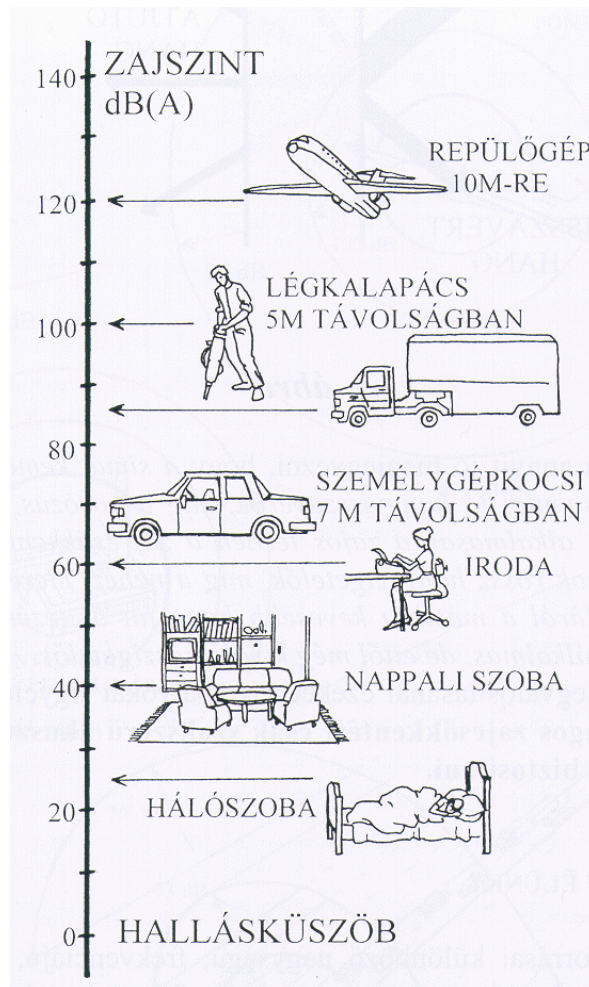


A hallástartomány dinamikában és frekvenciában.

Ezek alapján jól látszik, hogy a hallhatóság tartománya 20 Hz és 20 kHz közé esik. A nagyon erős hangok fájdalomérzetet keltenek. Ezt a határt *fájdalomküszöb*nek nevezzük. Ennek görbéje már nem annyira frekvenciafüggő. Ezen korlátokon belül találhatóak a zene és a beszéd tartományai. Jól látható, hogy a zene frekvencia és dinamikahatárai lényegesen nagyobbak, mint amelyekkel a beszéd rendelkezik.

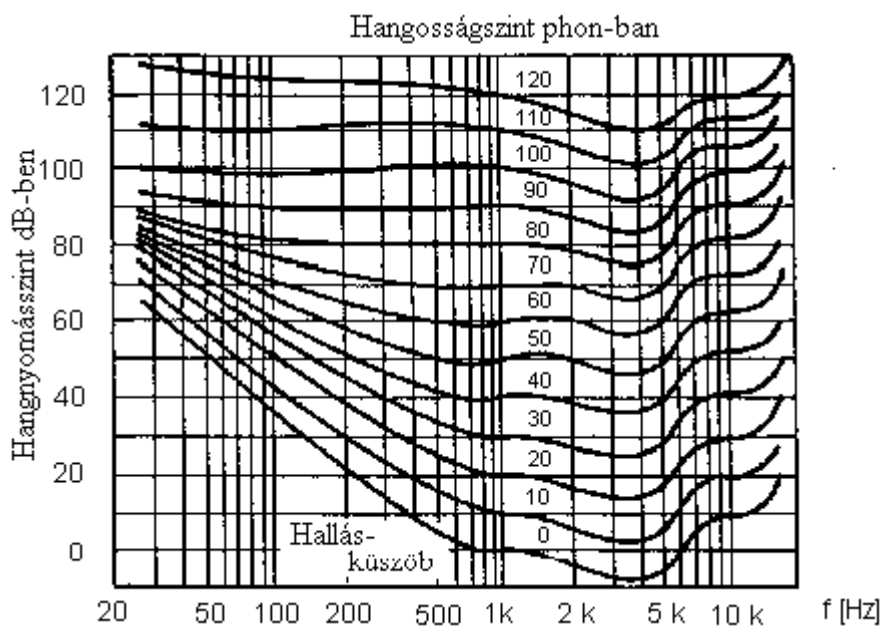
A HiFi átvitel régi, német DIN szabványa szerint 50 Hz – 15 kHz-ig kell átvinni, 0.1% torzítás mellett. Ezt az FM rádiók, kazettás magnók és a bakelit hanglemezek már teljesítették. A CD szabványban 20 Hz – 20 kHz az átviteli sáv, a torzítás gyakorlatilag nem értelmezett. *Frekvenciatartomány*nak általában a 3 dB-es pontok közötti részt értjük, azaz azt a sávot, amelynek két szélén az átviteli karakterisztika 3 dB-t esik (félteljesítményű pontok távolsága a középfrekvenciához képest). A *dinamika* a leghalkabb és leghangosabb jelszint aránya dB-ben, ebből következik, hogy a dinamika mindig kisebb egyenlő, mint a jel-zaj-viszony, azt nem haladhatja meg. Ideális az a rendszer, ahol a dinamika egyenlő a jel-zaj-viszonnyal. Az átvitel másik fontos paramétere a *torzítás*, ami lehet lineáris vagy nem lineáris. A harmonikus torzítás (THD, total harmonic distortion) a többszörös frekvenciák effektív értékének és az alaphang (ált. 1 kHz) effektív értékének a hányadosa %-ban megadva.

A zene hangszeres hangkeltés. A hangszerek lehetnek tonálisak, harmonikus felhangokból és alaphangból álló rezonátorok (gitár), vagy zajszerűek (dobok). A nagyzenekar teljesítménye elérheti a 70 Wattot, de átlagteljesítmény ekkor is csak 0,1 W körüli.



Hangnyomásszintek.

A szubjektív hangosságérzet számszerűsítésére vezették be a *hangerősség* fogalmát. Ennek alapján egy tetszőleges hang hangerőssége annyi *phon*, ahány dB a vele azonos hangosságérzetet keltő 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintje. (Ebben a kísérletben a mérendő hangot és a megfigyelő által változtatható szintű referencia hangot felváltva kell meghallgatni.) Ha a frekvencia függvényében összekötjük az azonos hangerősségű pontokat, akkor megkapjuk az úgynevezett Fletcher-Munson görbéket.



A Fletcher-Munson görbék.

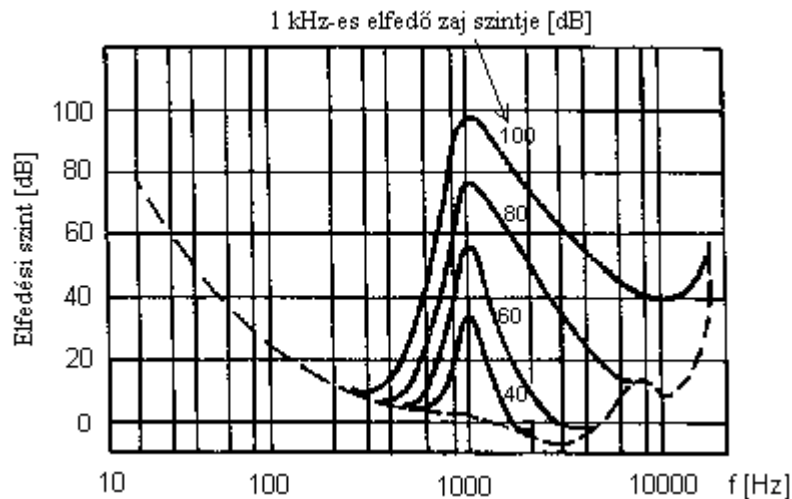
Egy adott frekvenciájú és adott hangnyomásszintű hang hangerősségét a görbékre írt *phon* érték alapján állapíthatjuk meg. Az így megállapított hangerősség jele L_N . Ezen az alapon már eltérő frekvenciájú hangokat is össze tudunk hasonlítani a hangerősségük alapján.

Az egyidejűleg megszólaló hangok eredőjének meghatározására vezették be a *hangosságot*, melynek jele N és mértékegysége a *sone*. A kiszámítás módja, ha a hangerősség meghaladja a 40 phont:

$$N = 2^{\frac{L_N - 40}{10}}$$

Eszerint 10 phon hangerősség-növekedésnek kétszer akkora hangosság felel meg. Amennyiben a különféle hangok nem közeli frekvenciájúak, akkor a sone-ban kifejezett hangerősségeik összegezhethetők (1 sone + 1 sone = 2 sone, és ez kétszer olyan hangos hangot jelent, míg 40 phon + 40 phon = 80 phon nem). A 40 phon hangerősség 1 sone értékű.

Frekvenciában közeli hangoknál fellép a *hangelfedés* jelensége. Ennek lényege az, hogy az első, zavarónak tekintett hang megemeli a másik, a vizsgálandó hang hallásküszöbét. A hangelfedést megvizsgálták tiszta szinuszos hangokra, keskeny és szélessávú zajokra. Az ábrán megadtuk különféle hangnyomásszintű 1000 Hz-es keskenysávú hangok által megnövelt hallásküszöböket. A hangelfedő hatás a magasabb frekvenciákon erősebben jelentkezik. A hangelfedés jelenségét előnyünkre fogjuk kihasználni az MPEG kódolóknak, az ismert MP3 és egyéb pszichoakusztikus kódolók (egyik) működési alapelve ez a jelenség.



Elfedés a frekvenciában.

A hangjelenségek térben játszódnak le, ezért igen fontos a térinformációk felismerése is. Ezek közül legjelentősebb a *hangforrás iránya*. A vízszintes síkban a két fülünkbe jutó hangnyomás-eltérés és futásiidő különbségek alapján lokalizáljuk a hangforrás irányát. Szemből érkező hanghullámok szimmetria okokból azonos hangnyomást keltenek mindkét fülünkben. Oldalirányú hanghullámok útjai eltérőek lesznek. Kisfrekvencián az útkülönbség okozta fáziseltérést detektálja a fülünk, míg magasabb frekvenciákon a fej árnyékoló hatása következtében fellépő intenzitáskülönbséget érzékeljük. Az irányok pontos érzékeléséhez a fej mozgatására is szükség van.

1.2.2. A beszéd

A beszéd a legfontosabb akusztikai jel, az emberi kommunikációnak és az éneknek az alapja. Fiziológiailag a tüdőből kiáramló levegő hangszalagok általi periodikus modulációjáról és az orr-szájüreg módusai által befolyásolt hullámterjedésről van szó.

A beszéd, úgy a telefonia, mind a stúdiótechnika (rádióriport, ének) fontos eleme. Szerencsére, a beszéd megértéséhez nincs szükség HiFi átvitelre, a telefonok szokásos 300 – 3400 Hz-ig terjedő sáv szélessége elégséges. Ennek oka, hogy 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. Így fordulhat az elő, hogy számunkra jól ismert embert elsőre nehezen ismerünk fel a telefonban a hangja alapján, de ez nem is követelmény! A telefonátvitelnek az érthetőséget kell biztosítania, valamint azt a lehetőséget, hogy többszöri, rendszeres beszélgetés után már ismerjük fel a másikat a vonal végén.

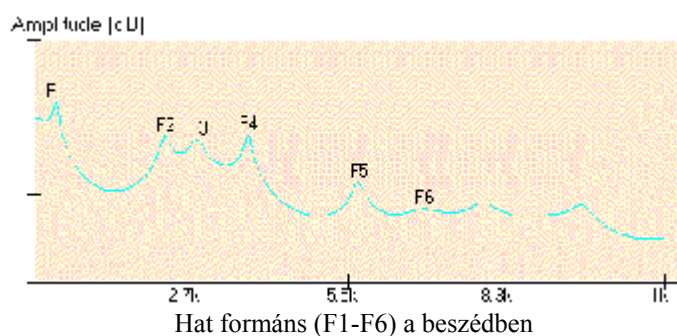
A műszaki, objektíven mérhető paramétert beszédérthetőségnek nevezzük. Létezik mondat, szó és ún. szótag- vagy logatom érthetőségi vizsgálat is. Ilyenkor kísérleti személyeknek mondatot, értelmes szavakat vagy értelmetlen szótagokat olvasnak fel, amit le kell jegyezniük vagy eltalálniuk egy listából (%-ban adják meg az eredményt). Természetesen mondatokat és értelmes szavakat sokkal könnyebb felismerni, mert az ember nyelvtudása segít kijavítani a hibákat. Ezért ez a vizsgálat jobb, de hamisabb eredményeket szolgáltat, ugyanakkor jobban közelíti a valóságot, hiszen aligha fogunk egy telefonbeszélgetés során értelmetlen szótagokat makogni. Ez a természetes hibajavítás a beszédben mindig meg van, gondoljuk csak bele,

hogy egy írott szövegben hiányzó betűket (keresztretjtvény) milyen jól ki tudjuk találni, sőt kis erőfeszítés árán akár az összes magánhangzót is elhagyhatjuk, a szöveg mégis érthető lesz.

Ezt a fajta a hibajavító kódolásban fellelhető „felesleget” nevezzük **redundanciának**, amivel a dekódolás és a hibajavító képesség arányos: minél redundásabb, minél több a „felesleges” információ (bit, betű stb.), annál könnyebben lehet az átviteli hibákat kijavítani.

Digitális technikában arról van szó, hogy pld. egy négyállapotú információ átviteléhez elvileg elégséges két bit (00, 01, 10, 11), ami nulla redundanciával bír, azaz „tökéletes kód”, ami a bitek kihasználtságát illeti, ugyanakkor a hibajavító képessége nulla, azaz használhatatlan. Miért is? Mert egy hibázó csatornán átküldve, ha bithiba (más néven szimbólumtévesztés) lép fel, akkor a fenti négy kódszóból egymásba vezetnek át az utak. Például a 00 átvitele esetén, bármelyik bit is hibásodik meg, az eredmény a 01 vagy az 10 szintén „értelmes” kódszó, tehát a hibát még felderíteni se tudjuk. Ugyanakkor, ha a fenti négy kódszót nem 2 biten, hanem 10 biten kódoljuk 1111100000, 0000011111, 0000000000, 1111111111 formában, akkor sok felesleget viszünk be, de a hibajavító képesség és a hibák felismerés megnő. Egy bit hibát nem csak felismer a rendszer, de egyszerűen ki is tudja javítani úgy, hogy a hozzá legközelebbi kódszóra „kerekíti”. Ennek részletes tárgyalásához vezették be a Hamming-távolság fogalmát, amivel az ilyen kódrendszerek minősíthetők.

Visszatérve a beszédhez, láthatjuk, hogy a beszédjel frekvenciatartomány képében lényeges információkat tudunk elkülöníteni. Az első és legfontosabb az **alaphang**, ami férfiaknál 90 Hz körüli, nőknél 300 Hz környékén van. Ez az, ami a hangszálak rezgéséből adódik. A beszédenergia nagy része 3 kHz környékén van, felette az ún. **formánsok** találhatók.



A formáns tipikusan beszédfeldolgozási fogalom, nem más, mint az amplitúdóspektrum jellemző, adott kis tartományra szorító „csúcsa”, helyi maximuma. Jelei rendre F_1 , F_2 ...stb..., egészen 15 kHz-ig eltartanak. Ezek a formánsfrekvenciák egyrészt egyértelműen jellemzik a magánhangzókat (alaphang + formáns struktúra első három eleme), másrészt ez adja a személyiségre jellemző jegyeket (a szájüreg által jönnek létre, F_4 - F_{10}). A magánhangzók periódikus rezgések, a mássalhangzók nem. Utóbbiak lehetnek zöngések és zöngétlenek, ha a hangszál nem vesz részt a képzésben.

A beszéd teljesítmény átlaga kb. 20mW, a kiabálás elérheti a 100mW-ot. A dinamikatartomány (a leghalkabb suttogástól a leghangosabb kiabálás aránya) kb. 50 dB.

1.3. A hangtér mesterséges előállítása és leírása

Az elérendő cél olyan mesterséges hangtér előállítása, amely tartalmaz minden lényeges információt a fül számára. Természetesen, ez a követelmény más és más az egyes összeköttetésekben, hiszen a fül által érzékelhető egész frekvenciasávra, a mintegy 130 dB dinamikára, valamint a hangforrások lokalizálhatóságára nincs mindig szükség.

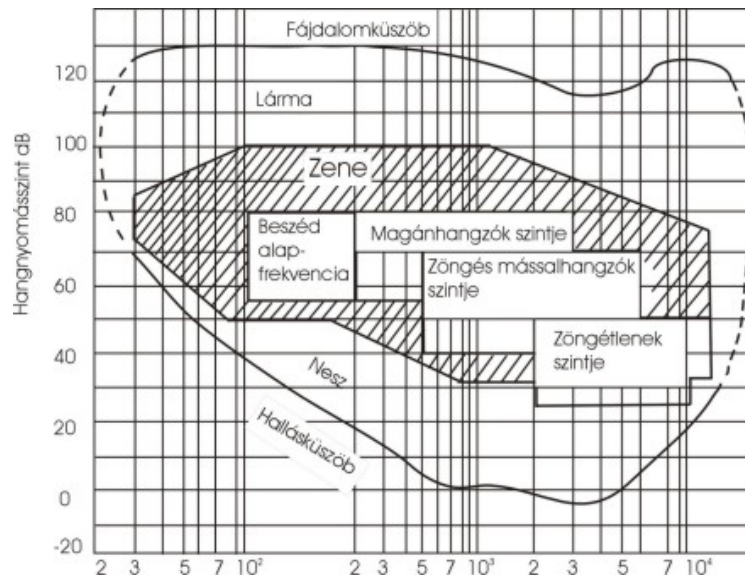
A hangtér előállítása történhet hangszórókkal illetve fejhallgatóval. Utóbbi esetben a normál körülményeket szimuláljuk, az átvitelt a szabadteréből a dobhártyáig mesterségesen kell beállítani. E szakasz átviteli függvénye az ún. fejhez rögzített külső fül átviteli függvények (angolul: HRTF: Head-Related Transfer Functions). Ezek a függvények komplexek és erősen irányfüggők, azaz tartalmazzák a térhallás alapvető paramétereit: a fülkagyló, a fej és a test geometriájának szűrőhatását.

A hangtér előállításának különféle lépései és eszközei vannak. Az eredeti hangtérben történik a *hangvétele*, amelynek eszköze a *mikrofon*. Esetenként több mikrofont kell használnunk. A mikrofonok a hangnyomással arányos jeleket állítanak elő, amelyeket a következő lépésben *jelfeldolgozásnak* vetünk alá. Ilyen feldolgozás például az egyes jelek megfelelő arányú összegzése, zengetése vagy szűrése stb. A feldolgozás történhet analóg vagy digitális eszközökkel. A feldolgozott jel az átviteli *csatornába* kerül, ami lehet vezetékes vagy vezeték nélküli összeköttetés. Egyszerűbb esetekben (pl. távbeszélő-összeköttetés) kifejezett jelfeldolgozásra nincs is szükség. A csatornán megérkező jelet a *vevő* fogadja és átalakítja azt oly módon, hogy alkalmas legyen a *hangszórók* illetve *fejhallgatók* táplálására. Ezek az átalakítók az elektromos jelből hangjelet állítanak elő. A hangszóró ill. hangszórók által keltett hangtér sokban függ a helység teremhangtani tulajdonságaitól is. Természetesen a fejhallgató keltette hang a fülben független ezektől a jellemzőktől. A fenti jelátvitel azonos időben történik, vagyis az eredeti hangtérhez képest a mesterséges téridőben csak igen kis késéssel jelenik meg.

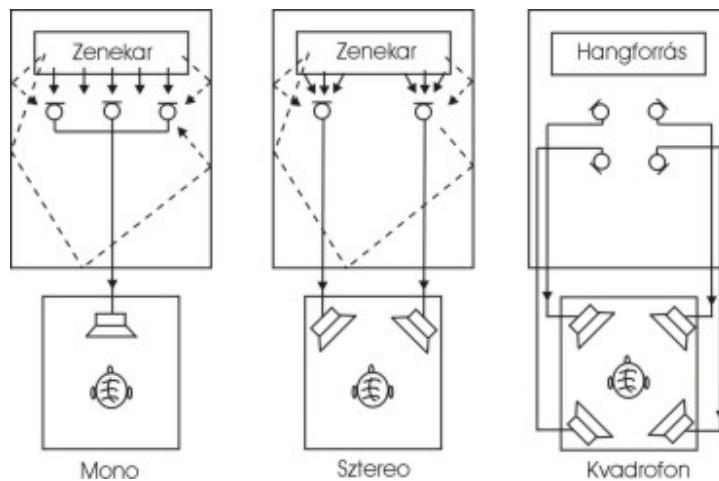
A jelátvitel speciális esete az, amikor a feldolgozott jelet valamelyik *hangrögzítőre* vezetjük. Ebben az esetben a hanghordozó (pl. hanglemezzel, kazetta stb.) jut el a fogyasztóhoz, aki tetszése szerinti időpontban hallgathatja meg (lejátszás) a műsort, vagyis az eredeti hangtér és a mesterséges hangtér megjelenése között nincs időbeni kötöttség.

Ha a hangtér leképzéséhez csak egy mikrofonnal vesszük a jelet, vagy több mikrofont használunk ugyan, de ezek jeleit összegezzük, akkor egycsatornás, más néven *mono* összeköttetést valósítunk meg. Természetesen az egy jelből reprodukált hangtérben semmiféle irányfelismerésre nincs lehetőség. A meghallgatott műsorban megszólaló összes hangforrás csak az egy hangszóró irányából lesz hallható.

A térérzet kialakításához a hangtérből legalább két független, jól megválasztott jelet kell venni, és azokat külön csatornákon továbbítani. Ez a 60-as években bevezetett, és azóta széles körben elterjedt *sztereo* rendszer, amelyet kidolgoztak az URH rádiózásra, valamint a különféle hangrögzítő megoldásokra is. A legjobb térérzet úgy alakul ki, ha a műsor lejátszásakor, illetve meghallgatásakor a két hangszóró és a hallgató egy egyenlő oldalú háromszög csúcsait alkotják



Az emberi beszéd a hallástartományban.

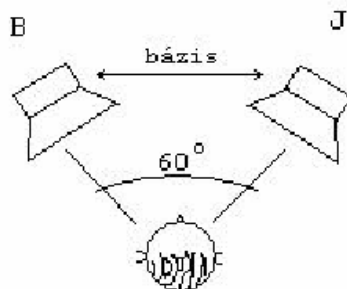


A hangtér előállításának módjai.

A sztereó jel mono kompatibilis. Két elterjedt jelöléssel:

S (Stereo, Seite) = $B - J$, az ún. különbségi jel, amit rádiózásban modulálásra használunk fel.

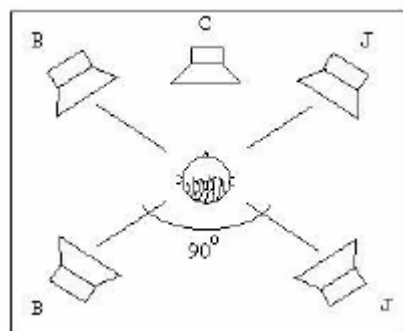
M (mono, Mitt) = $B + J$, az összeg jel.



Sztereó hangtérleképezés.

Ebből is látszik, hogy a két csatornát, a két független információt kétféleképp is megragadhatjuk: egyszer Bal-Jobb elven (szokták még X-Y elrendezésnek is nevezni a mikrofonozások során), vagy pedig S-M módon. A kettő matematikailag egyenértékű és egymásba átszámítható, egymással kiváltható. A két hangszóró közötti részt *bázisnak* hívjuk. Helyes polarizáció esetén a hang mindig a bázisban marad. Kisfrekvencián (600 Hz alatt) ellenfázisban kötött hangszóróval ki is kerülhet innen. Ha ellenfázisban kapcsolunk be egy vagy két hangszórót, az zavart okoz a térérzetben, ezért nagyon ügyeljünk a helyes polaritásra! A közepes frekvenciáknál (600 – 1500 Hz) diffúz térérzet keletkezik, ami az irányinformáció elvesztését jelenti. Magas frekvenciák még ellenfázis esetén is a bázisban maradnak.

Meg kell említeni, hogy a stúdiótechnológiák régi aranykorukat a sztereó bevezetésekor élték, amelyek fél évszázad után kezdenek idejeműlttá válni. A tantárgy során már csak érintőlegesen, a történelmi hűség és kialakulás kedvéért említjük meg a mikrofonozások módjait (nem utolsó sorban a mikrofonok miatt), de manapság már nem úgy készítenek sztereó felvételt, mint akkoriban. Ez abban merült ki, hogy a két csatornához két mikrofont használtak és valóban egyszerre két csatornán rögzítettek. Manapság a stúdiókban pusztán egy dobfelszerelésnek van egy tucat mikrofonja, és egy felvétel effektekkel, hangszereléssel elérheti a több tucat csatornát is, amiből a hangmérnök *kever ki* sztereót (vagy bármi egyéb, 5.1-es hangteret).



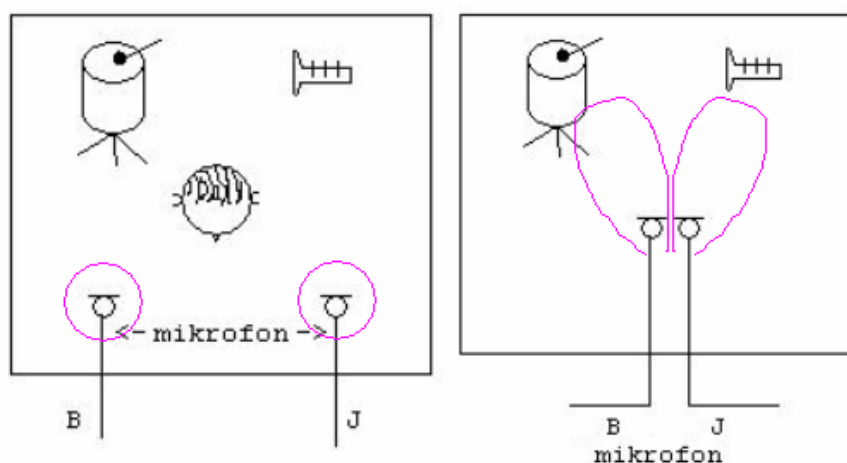
5.1 surround leképezés.

Régen két lehetőség állt rendelkezésre (elvi szintű tárgyalás):

Az ún. *időkülönbséges sztereofónia* alapja, hogy a két fülbe a jel **nem azonos időben** érkezik be (de azonos hangerősséggel). A forráshoz (most feltételezünk egy darab hangforrást) közelebbi fülbe előbb fog a hang beérkezni és ez alapján fogjuk az irányt megállapítani tudni. Ha tehát két hangszóróból időkéseltetéssel jön a hang, eltolódást fog okozni a hangérzetben és viszont, ha egy mikronhoz eltérő távolságba teszünk forrásokat, azok eltérő időben érkeznek be. Ha ez az időkülönbség túllép 1-10 ms-ot, már csak egyetlen forrást fogunk hallani akkor is, ha a másik (hangszóró) szintje akár 6-10 dB-el is hangosabb (érdemes otthon kipróbálni, hogy közelítünk az egyik hangszóróhoz, és egy idő után már csak azt fogjuk hallani, a másikat nem). 50 ms felett visszhangot fogunk érzékelni (echoküszöb). Az időkülönbséges sztereofónia során két mikrofont használunk (egyforma iránykarakterisztikával, ami nem kell gömb legyen, de ajánlott), amelyeket egymástól adott távolságra, 1-3 méterre helyezünk el a zenekar előtt és a rögzítés során automatikusan létrejön a B és a J csatorna.

Az ún. *intenzitásos sztereofónia* során a másik lehetőséget használjuk ki: ha a fülekbe azonos időben érkezik két jel, amelyek hangerőssége, **hangintenzitása különböző**, azt fogjuk közelebbinek hallani, amelyik hangosabb. Ha tehát veszünk két mikrofont, és egy pontban (koincidencia mikrofon) helyezzük el őket, de a nem gömbi iránykarakterisztikákat adott

nyílásszögüre állítjuk, akkor a mikrofonok ezen érzékenységéből adódóan létre fog jönni a térérzet (S-M jelleggel). Az iránykarakterisztika (lásd később) ugyanis a különböző irányokból eltérő érzékenységű, azaz egy adott hangforrásból a két mikrofon más szintet fog venni. Fontos, hogy ilyenkor (mivel a két mikrofon egy pontban van, tehát időkülönbség nem léphet fel), a térérzet a két csatorna közti intenzitás különbségből fog adódni, aminek fizikai oka a mikrofonok iránykarakterisztikája! Ez persze lehet egyforma mindkettőre nézve, csak nem nézhetnek egy irányba. Két hangszóró esetén 2 dB különbség már érezhető, 20 dB pedig teljes eltolódást okoz a hangosabbik irányába. Ha használnunk kell, a tiszta időkülönbséges jobb minőségű, mint a tiszta intenzitásos sztereofónia, azonban ez csak mesterségesen hozható létre, a valóságban a két jelenség a fülünkben egyszerre lép fel: a közelebbi hangforrás hangosabb is lesz és egyben hamarabb is érkezik be a fülbe a hangja.



Időkülönbséges (balra) és intenzitásos (jobbra) sztereofónia

A fenti ábrason tüntettük fel a legjobb térérzetet keltő négycsatornás, úgynevezett *kvadrofon* elrendezést is. Itt a hallgatóság a négyzet sarkaiban elhelyezett hangszórók által keltett tér belsejében foglal helyet. A legjobb térhatás a négyzet középpontjában jelentkezik. Ezt a rendszert a 70-es években dolgozták ki, de pénzügyi okok miatt széles körben nem terjedt el. Ehelyett a technika az ezredfordulón érte el a moziból kilépve és otthonunkba beköszönve a sokcsatornás surround hangzást, 5.1-től akár 7.1 csatornáig (ld. később). A fejlődés sosem áll meg. A stúdiótechnika a mono felvétel és átvitel után jutott el fokozatosan az oly sikeres sztereóhoz, majd a többcsatornás, teljes surround rendszerekig.

A cél ilyenkor az, hogy a kétcsatornás vevő (az emberi fej és fülek) valamint a végtelen számú hangút közötti átvitelt optimalizáljuk. Nincs lehetőség végtelen sok hangszóró elhelyezésére, ugyanakkor – elvileg – egy megfelelően kiegyenlített fejhallgató is elégséges a pontos reprodukcióhoz. A végső cél ugyanis ez, hogy egy valóságos hangtérben fellépő érzetet (koncerten állva, a film cselekményének középpontjában állva) a lehető legjobban, ugyanakkor olcsón „szimuláljuk” a CD lejátszón, a moziban vagy otthonunkban. A technikai mai állása elérte azt a lehetőséget, hogy még kezelhető mennyiségű csatornával (6-8) dolgozzunk, javított térérzettel, de még gazdaságos módon.

Még két szabályt szeretnénk megemlíteni. Az egyik az ún. *Haas-hatás*. Feltételezzünk egy szobát, egy hangforrással és egy vevővel (ember). A hang a forrásból egyrészt a közvetlen, direkt úton terjed a fülbe (elsőként érkezik be), majd a falakról reflexiók után másodlagos hangutak alakulnak ki, melyek időkésséssel és csillapítva érkeznek meg. Ha az időkülönbség kisebb, mint 30 ms és a szintek közötti eltérés nem nagyobb, mint 6-10 dB, akkor az ember egyetlen hangforrást fog érzékelni, melynek minőségét a közvetlen út határozza meg (és nem a rosszabb minőségű reflexiók). Ha az időkülönbség tovább nő, 50 ms fölé, akkor már

visszhangot fogunk hallani, ami rontja az esztétikát, a zenét és a beszédérthetőséget is. Még tovább növelve az időt, annyira szétesik a hangtér, hogy két különböző forrást fogunk érzékelni. Ez a Haas-hatás, vagy más néven az első hullámfront törvénye (precedence effect, law of the first wavefront). Kihasználjuk pld. a hangosításnál, ahol a rosszabb minőségű hangszórók is megfelelően pótolják a hiányzó reflexiókat és hangenergiát, a minőséget ugyanis a színpadról érkező direkt hang fogja meghatározni.

Összefoglalva, $\tau = 0$ esete az intenzitációs sztereofónia. Ha τ növekszik 1-5 ms körül, akkor a forrás elkezdi vándorolni az előbb megszólaló fül felé (első hullámfront törvénye), majd 5 – 50 ms között a Haas-hatás dominál, a két jel összegzése a fülben teljesítmény alapján történik. 50 ms felett visszhangot fogunk érzékelni egész kb. 70 ms-ig, amikor egy speciális jelenség, a primerhang elnyomás is jelentkezik (Békésy fedezte fel, hogy létezik olyan speciális eset, amikor a direkt hullámot nem halljuk). Ennél nagyobb τ esetén két különböző, egymástól független hangforrást fogunk észlelni.

A másik jelenség a *koktél-parti effektus*, mely nevét arról kapta, ahol a leggyakrabban tapasztaljuk. Egy síkban, élő beszéd esetén az emberi hallás képes arra, hogy a nagy zshivajban (háttérben sok beszélő) egy adott emberi beszédre oda tudjon figyelni, a többit pedig elnyomni és zajként tekinteni. Ugyanezt képest váltogatni, tehát másik emberre odafigyelni. Érdekes, hogy a gépek erre nem vagy csak nehezen képesek, és hogy az ember sem képes megoldani ezt a problémát, ha hangfelvételtől próbálja kinyerni az információt.

1.4 Teremakusztikai alapfogalmak

A stúdiótechnikai megközelítésben két alapkérdéssel találkozhatunk. Az első, hogy mekkora akusztikai teljesítményre van szükség egy adott feladatban a kívánt hangerősség eléréséhez. A másik már nehezebben megragadható, hiszen a „jó zenei átvitel”, azaz a jó minőség a kérdés.

A teremakusztikával részletesen a műszaki akusztikában találkozunk. Most a legfontosabb, hogy egy terem fizikai adataival mit tudunk kezdeni. Egy fal felületére beeső hang egy része reflektálódik, egy része áthatol rajta, egy nagyon kis hányada pedig elnyelődik, hő formájában felszabadul. Ha I a beeső intenzitás és α a falfelület elnyelési tényezője (abszorpciós fok), akkor αI mennyiség áthatol a falon, $(1-\alpha)I$ pedig visszaverődik, ha a veszteségeket elhanyagoljuk. A terem további fontos geometriai adatai: a térfogata és a különböző falfelületek nagysága (felülete) a hozzátartozó α -értékekkel.

Tudni kell, hogy α frekvenciafüggő, és alapján határozza meg egy felület akusztikai tulajdonságait. Teljes reflexió esetén α értéke zérus, egy zárt dobozban, ha benne hangforrás üzemel és nem jut át hang, csak visszaverődik, akkor belül állandóan növekvő hangenergia lenne. $\alpha = 1$ esetén nincs reflexió, minden energia kiáramlik a teremből (nyitott ablak, ajtó). A valóságban α 0 és 1 közötti szám, és egyensúlyi helyzetben a hangforrásból kijövő direkt hullám átlapolódik időben a visszaverődésekkel (amelyek annak késleltetett és csillapított másolatai). Az a távolság, amelyet a forrástól mérünk és ahol a direkt hullám által szállított energia megegyezik a visszaverődések energiájával a *Hall-rádiusz*. A forráshoz ennél közelebb a direkt hullám dominál, távolabb pedig egyre jobban a reflexiók.

A sok visszaverődés diffúz hangteret hoz létre. Ebben nincs kitüntetett hangterjedési irány és bármely térfogategységben azonos az energiasűrűség. Az energia eloszlása tehát egyenletes, amennyi egy adott térfogatba beáramlik, annyi ki is, a hangnyomás időátlaga helyfüggetlen.

A legfontosabb mérhető paraméter az *utóhangési idő*. Az utóhangzás nem más, mint a hangforrás kikapcsolása utáni hangenergia „lecsengése”. Gyakran hallható, exponenciálisan lecsengő folyamat. Értéke akár több másodperc is lehet, de stúdiókban 1-1,5 másodpercnél nem lehet hosszabb. Az az időtartam, ami alatt (a kikapcsolástól számítva) a hangnyomásszint

60 dB-el esik, az utózengési idő. Ezt mérhetjük ill. számolhatjuk is. Kis utózengési idő jó beszédérthetőséget tesz lehetővé, de a cél nem a nulla elérése, mert az túl „szárazzá” teszi a hangfelvételt. A zenei élményhez szükség van reflexiókra is! A stúdióban frekvencia független utózengési idő a cél, beszédhez kb. 0,5 s., zenéhez másfél másodperc ajánlott. A visszaverődések az időben az *echogram*-on is nyomon követhetők. Ezen jól látszik a direkt hullám (impulzus) beérkezése, az elsődleges reflexiók, valamint a sokszoros visszaverődések időben átlapolt tartománya.



Echogramm.

Akkor jó egy helység akusztikája, ha a reflexiók között nincs kitüntetett „kiemelkedés” és szintjük nem haladja meg egymást 5 dB-nél nagyobb mértékben. Az irányuk sem mindegy: a forrás irányából érkező reflexiók alig zavaróak, míg az oldalról érkezők nagyon is.

Azt a mesterséges mérőhelységet, amely a szabadtéri hullámterjedést modellezi és reflexióban szegény, süketszobának nevezzük. Itt végezzük az átviteli függvény méréseket. Ennek ellentéte a diffúz teret létrehozó, mindent visszaverő zengőszoba, ahol pld. hangforrások akusztikus teljesítménye, anyagok elnyelési tényezője mérhető. A normál helységek e két szélső eset között helyezkednek el. Ilyenkor a visszaverődések geometriailag is számíthatók. Nagy termék esetén, ahol a falak nagyobbak a hullámhossznál egyszerű fényvisszaverődési törvényeket használhatunk. Kisebb, szabályos termekben hullámelmélet és móduselemzés jön számításba, míg közepes, átlagos termekben a statisztikus analízis (utózengési idő számítása a Sabine vagy az Eyring formulával).

2 Rögzítők

A stúdiótechnika legfontosabb része a hang (és a kép) megfelelő minőségben történő rögzítése. Az ehhez szükséges felvevő berendezéseket rögzítőknek hívjuk. Létezik mágnesszalagos analóg és digitális, merevlemez alapú vagy memóriakártyás, illetve optikai elven rögzítő lézerlemez rendszerek. Ezek legfontosabb szereplőit ismerjük meg most.

Analóg	Digitális	
Fonográf	-	Mechanikai
Hanglemez (bakelit)	-	
Sztereó magnó (38 vagy 19 cm/sec szalagseb.)	Nagy számítógép	Mágnesszalagos
Sokcsatornás magnók	Álvideó (pseudo-video): SONY PCM UMATIC BETA	
-	Állófejes magnók (DASH)	
-	Forgófejes magnók: A-DAT R-DAT	
-	HDD (vincseszter), „nem lineáris rögzítők”	Mágneslemez
-	CD, DVD, MOD stb. HD-DVD, Blu-Ray	Lézerlemez (optikai)

A táblázat mutatja az eszközök csoportosítását. A kezdeti mechanikai rögzítés analóg volt, a fonográfot tekinthetjük az első „egyszer írható ROM” eszköznek. A bakelit hanglemez már HiFi minőségű sztereó felvételeket tett lehetővé. Jegyezzük meg azonban, hogy ez az elnevezés megtévesztő, hiszen anyaga nem bakelit, hanem műanyag (angolul vinyl-nek is hívják). Két méretben is kapható (volt): a kis lemez és a nagy lemez eltérő 45 ill. 33-as fordulatszámon működött. A kiolvasás elve a barázdák mélységi vagy oldalirányú modulációjával valósult meg.

A mágnesszalagos rögzítők a mai napig életképesek. A mindenki által ismert Compact Cassette (MC) kis méretű, vékony szalaggal ellátott praktikus kivitelű forma. A deckek, walkmanek a mai napig használják, a szalag mágnesrétegének függvényében különböző minőségben (frekvenciatartománnyal) lehet rögzíteni: a normál szalagnál jobb minőségű a krómdioxid (CrO₂) réteg, a legjobb pedig a metál szalag. Legfeljebb sztereó rögzítést tesz lehetővé. Ezt megelőzően a „nagy szalagos magnók” vezették be otthonunkba ezt a felvételi eljárást, manapság azonban már nem találhatók meg. A konzum elektronikával ellentétben a stúdiókban többcsatornás (4-8-16) magnók voltak, melyek a hangszereket külön rögzítették.



Régi szalagos magnók.



SONY szalagos videómagnó.

A digitális korszak a 80-as években köszöntött be az ún. álvideó rendszerekkel. Ezek videómagnót és szalagot használtak hangrögzítésre, digitális formában. Az első A/D-átalakító processzor a SONY PCM processzor volt, az akkoriban elérhető 44100 Hz-es mintavételi frekvenciával és 16 bites felbontással (innen eredt a kompatibilitás miatt a CD Audio formátuma is). Az állófejes magnók kora hamar leáldozott, mert kevés adatot lehetett rá rögzíteni a kis szalagsebesség miatt. A nagyobb sávszélesség, több adat, csatorna ugyanis egyre nagyobb fej-szalag relatív sebességet követel meg, így a forgófejes rendszerekben a

magnófej „ellenforog” a szalag haladási irányának, ezzel növelve a kettőjük közötti relatív sebességet. Az R-DAT a digitális mágneses rögzítés stúdióban is elfogadott veszteségmentes, CD-minőségű írható/törölhető formátuma.



A híres Nakamichi Dragon kazettás egység, melyet minden idők legjobb deckjeként tartanak számon.

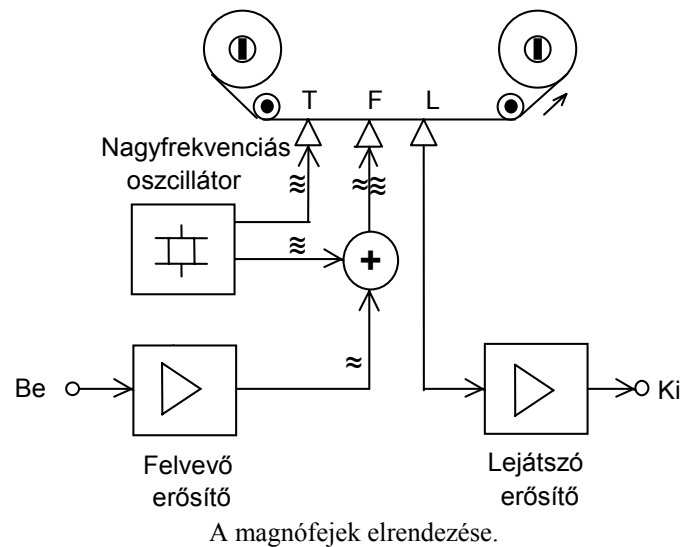
Sok elképzelés született (és halt el) az analóg kompakt kazettás magnókkal kompatibilis, de fejlettebb, jobb, digitális rendszerek kifejlesztése során. Ilyen volt az első között a Philips *DCC* (Digital Compact Cassette) eszköze, amelybe bár más fajta kazettát kellett helyezni a digitális felvételhez, a régi szokványos kompakt kazetta is belefért és képes volt azokat lejátszani. A DCC éppúgy veszteséges tömörítést alkalmaz, mint az MP3, csak ezt ebben az eszközben PASC-nak hívták (Precision Audio Subband Coding), mely nem kompatibilis semmivel, de elvben gyakorlatilag ugyanaz, mint utódai. A DCC kazettára tehát mágneses szalagos rögzítési elven lehetett zenét rögzíteni, annyi hátránnyal a MiniDisc-hez képest, hogy ez a készülék nem igazán hordozható, drágább, és mivel szalagos, a hozzáférés „soros”. Hátrány volt továbbá, hogy az analóg rossz minőségű szalagok koszolták a fejet, és elvileg minden digitális felvétel előtt egy tisztító kazettára volt szükség.

Az újabb korban is vannak kísérletek a hangtechnikában és a videótechnikában is (D-VHS). Érdekességgént született meg pld. a **Pioneer CT-S670D**, mint digitális kazettás magnó, de nem DCC. Képes az analóg bemenetére érkező jelet digitalizálni, mely DSP kezelésen esik át valamint a Pioneer saját Legato Link szűrőrendszerén megy keresztül. Ezután újabb D/A következik és analóg jel kerül a szalagra. A lejátszott jelet aztán ismét digitalizálják és egy jelprocesszoron át kerül a D/A-ra, végül pedig az analóg kimenetre. Újdonság benne az automatikus szintszabályozás (ALCA, Automatic Level Control Analysis), amely digitális jel fogadásakor automatikusan szabályozza a felvételi jel szintjét a kazetta peremétereinek függvényében. Legjobb újítása a digitális Dolby NR zajcsökkentés, hasonlóan a MD-ben lévő „szétszedem-összerakom” elvhez. Csak lejátszáskor használható és közel 8 dB-es (elég nagy) javulást eredményez a jel-zaj-viszonyban. A készülék természetesen rendelkezik optikai digitális bemenettel CD-hez és MD-hez.

A mai világ a stúdióban szinte teljesen digitális és „nem lineáris”. Ez utóbbi annyit jelent, hogy a felvét elkészítés és lejátszás nem soros (lineáris) hozzáférésű, hanem párhuzamos. Nem kell a szalagot csévélni, hanem a merevlemezen tetszőlegesen, gyorsan lehet ugrani, ami növeli a munka gyorsaságát. A mai kor lehetővé teszi a hangfeldolgozáshoz szükséges háttérkapacitás és számolási igény otthoni elérését is, így ez már nem akadály. A végleges tárolás azonban optikai lemezekon történik.

2.1 Mágneses szalagos rögzítés

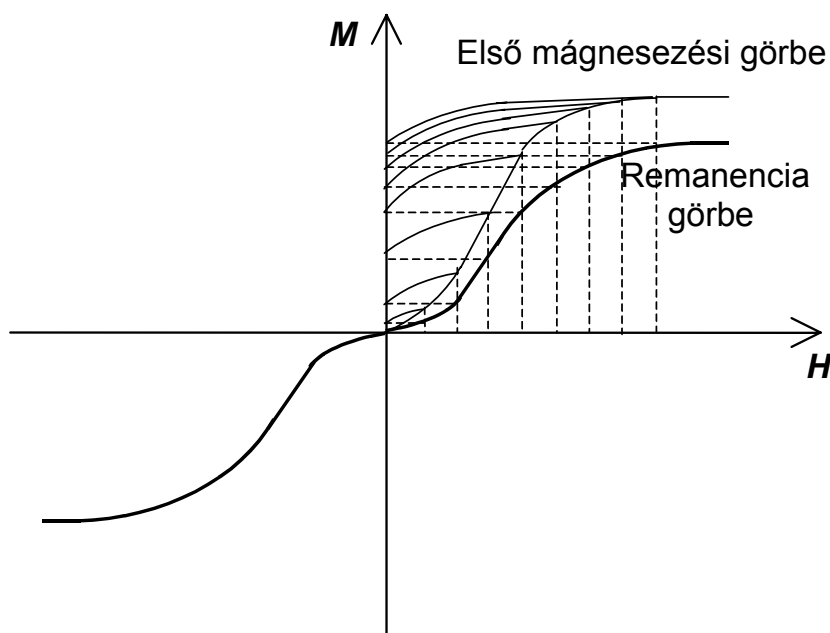
A mágnesszalagos rögzítő elvi vázlata az alábbi:



A fizikai elvet az alábbi eredő mágnesezési (indukciós) egyenlet írja le:

$$B = \mu_0(H+M).$$

A H a mágnesező térerősség, az M a mágnesezettség, azaz ami megmarad a szalag mágnestrétegében, miután az belekerült a H -térbe. Az M -függvény tehát a H -térerősségtől függ, és ha ábrázoljuk az M - H síkon, akkor az ismert hiszterézis görbe első szakaszát kapjuk. Ez az első mágnesezési görbe. Az $M=f(H)$ függvény az ún. *remanencia* függvény.



A remanencia függvény.

A remanencia függvény tulajdonsága, hogy nem lineáris, azaz torzított átvitelt valósít meg. A felvételre szánt jel ugyanis arányos a H-térerősséggel. A zene, amit rögzíteni kívánunk, a mikrofonból kilépve elektromos jellé alakul, amit mágneses elven kívánunk rögzíteni. Az elektromos jel egy elektromágnesen keresztül a magnó felvevő fejében „átalakul” vele arányosan egy H-mágneses térre. Magyarán, a H-térerősség időbeni változása arányos a zenével, és azt szeretnénk, ha ezzel lineárisan arányosan a szalag mágnesrétege is tartalmazná azt. A mágnesréteg a szalag mozgásával együtt áthalad a magnófej által létrehozott H-térben és így egy M-mágnesezettség marad meg benne. Később, a kiolvasáskor a folyamat ellentétesen zajlik le: a szalagban „maradt” M-mágnesezettség a kiolvasó fejben megváltoztatja a H-teret, ami elektromos feszültséget hoz létre a kapcsokon, amit erősítés után a hangszórókra vezetünk. A cél az lenne, hogy a H-térerősség és az M-mágnesezettség lineárisan képeződjön le egymásba, ne pedig torzítva. Ha megvizsgáljuk az ábrát, látható, hogy az első mágnesezési görbe után a „valóságos” átviteli függvény a remanencia görbe. Ez az első mágnesezési görbe alatt található, hasonló lefutású. Leolvasható róla, hogy nagyobb H-térerősséghez nagyobb maradandó M-mágnesezettség tartozik. Ez logikus, ugyanakkor a nemlinearitás miatt túl kicsi és nagy H-értékeknél ez nem lineárisan arányos mennyiség. A görbének a középső szakasz kb. lineárisnak tekinthető. Túl kicsi H-értékeknél (halk zenénél) a rögzítés „kiszjelű” és zajos.

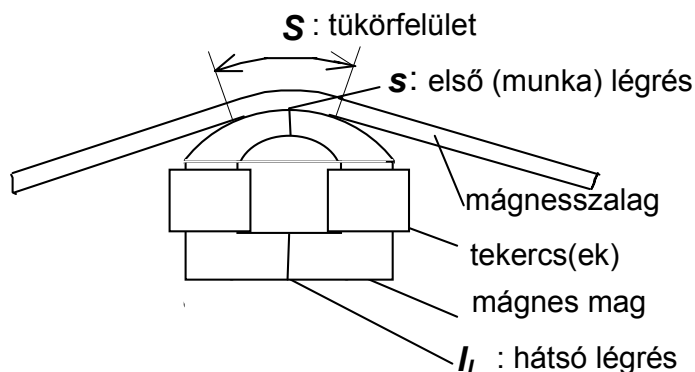
A megoldás erre a problémára elvi szinten kettős, gyakorlatban csak a nagyfrekvenciás előmágnesezést alkalmazzák. Elvileg DC előmágnesezés (eltolás) is használható lenne, amikor a rögzíteni kívánt jelet „eltoljuk” a lineáris szakaszra. Ettől azonban más részek szenvednek torzulást. A nagyfrekvenciás előmágnesezés olyasmi, mint az amplitúdó moduláció. Különböző mágnesréteghez különböző frekvenciájú és nagyságú előmágnesezés lenne szükséges (bias fine), de ezt a konzum deckek többsége nem tudta megoldani. A drágább típusokon található bias fine-kapcsoló adott szalaghoz beállította ezt az értéket.

A nagyfrekvenciás jelet egy oszcillátor állítja elő az 50-100 kHz tartományban. Ez a jel nem csak a felvételhez, hanem a törléshez is szükséges. A törlés ugyanis mindig megelőzi a felvételt, a törlő fej *után* következik a felvevő fej a magnóban. Ezért nincs szükség előre törlésre (formattálásra), mert a felvétel-gomb automatikusan a törlést is aktiválja. A törlés nem más, mint a nagyfrekvenciás mágnesezés által történő telítésbe vezérlés. A mágnesréteg a szalagon ilyen gyors és nagy amplitúdójú H-térben telítésbe vezérlődik és elveszti információtartalmát, a mágneses domének „resetelődnek” és egyértelmű kezdeti állapot áll be. A felvétel során ugyanez a nagyfrekvenciás jel „modulálja” a rögzítendő jelet, ami mintegy „ráül” arra. A remanencia függvény nemlineáris marad, csak a torzítás a nagyfrekvenciás jel finomszerkezetében jelentkezik (a vivőben), annak burkolója azonban, amely a hasznos jelet hordozza, torzítatlan marad! Ügyeljünk azonban arra, hogy az eljárás bár nagyon hasonlít az AM jelhez, ez mégsem az. Az AM jel ugyanis mindig szimmetrikus az időtengelyre, ez a jel azonban nem feltétlenül. Mivel a hasznos torzítatlan jel a burkolóban van, azt egy egyszerű aluláteresztő szűrővel kinyerhetjük a lejátszás során.

2.1.1 A fej-szalag kapcsolat

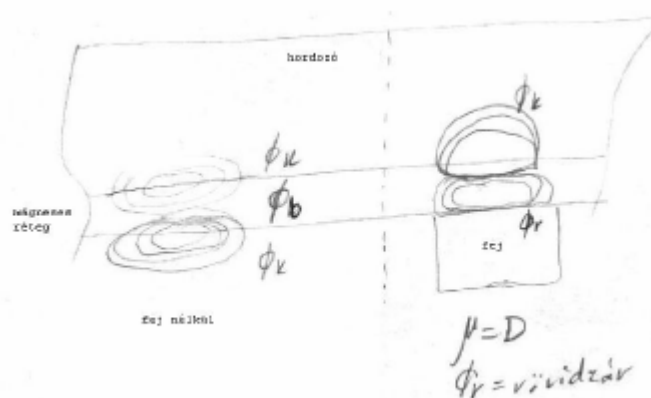
A rögzítés kritikus pontja a felvevőfej és a mágnesszalag kapcsolódása. Tükörfelületnek nevezzük (jele S) azt a felületet, ahol a magnófej a szalaggal érintkezik. A törlőfej viszonylag nagy munkalégrésű (0,22 mm), vasból készült fej. A tekercsek rajta kis menetszámúak, nagy áramúak. Ugyanez igaz a felvevő fejekre is, bár a munkalégrés kisebb (10 mikron körüli) és létezik egy hátsó légérés is (kb. 0,1 mm). A tekercsek a külső zavaró terek ellen nyújtanak védelmet. A lejátszó fejeken nincs hátsó légérés, a munkalégrés 1 mikron körüli. Tekercsei

nagy menetszámúak és kis áramúak. Olcsóbb eszközökben a felvevő és lejátszó fej egybe van építve.



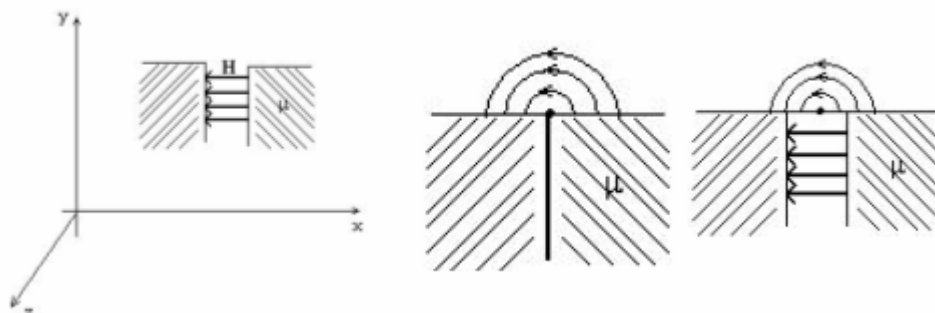
A magnófej és a szalag kapcsolata.

A folyamatot az időben úgy kell elképzelnünk, hogy a mágnesszalagban lévő M-mágnesezettség „mágneseiséget sugároz ki”. A vékony mágnesréteg csak töredékét teszi ki a szalagnak, a legnagyobb része a műanyag hordozó. A szalagon lévő M-mágnesezettség rendelkezik egy Φ_b belső fluxussal és egy Φ_k külső fluxussal. Ezek a fluxusvonalak mindkét irányban kilépnek: a hordozó felé is (veszteség) és „lefelé” is a magnófej felé. Fej nélkül ez a két külső fluxus kb. egyenlő, változás akkor áll be, ha a külső fluxus találkozik a lejátszó fejjel. A lejátszó fej ugyanis mágneses rövidzárként funkcionál (a hatalmas, gyakorlatilag végtelen permeabilitás miatt) és így a fejben $\Phi_{r\text{zár}}$ rövidzárási fluxus fog létrejönni – ez indukálja majd a feszültséget. Ahogy az időben folyamatosan érkeznek ezek, jön létre a kiolvasás (ez a merevlemezes rögzítésnél sincs másképp).



A lejátszófej és a szalag fluxusa.

A magnófej a H-teret a munkalégrésében hozza létre. Ennek matematikai kezelése nem egyszerű, így különböző *résmodellekkel* könnyítjük meg dolgunkat. A legegyszerűbb feltételezés a *homogén* résmodell, amikor végtelen permeabilitást és csak x-tengely irányú erővonalakat képzelünk el. A *hengeres* modell ezzel szemben (szinte) nulla légrést és éppen ezért félkör alakúan kilépő erővonalakkal számol. A valóságos, *vastagrés* modell a kettőt egyesíti, és mindkettőt figyelembe veszi.



Résmodellek.

A lejátszásnak megadhatjuk az átviteli függvényét. A bemenő jel a Φ_b belső fluxus, a kilépő pedig egy feszültségérték. Az elv, amit meg kell valósítani a felvétel és a lejátszás együttesében, hogy a felvenni kívánt jel egyezzen meg a lejátszattal, vagyis a felvétel legyen egyenlő a lejátszás inverzével (ún. reciprocitás elve).

2.1.2 Az átviteli függvény

Mielőtt felírjuk az átviteli függvény, megvizsgáljuk mely jelenségek rontják az ideális átvitelt egy szalagos rögzítőben. Ezeket a jelenségeket az átviteli függvényünkkel adjuk meg és majd mint szorzótényező fognak szerepelni az eredő átviteli függvényben.

1. A résfüggvény

A lejátszófej mérete nem végtelen nagy, így a kapcsolódás a szalaggal sem lehet végtelen nagy felületű. Az ideális átvitelhez azonban végtelen nagyságú S tükörfelület lenne szükséges. Az a tény, hogy ez nem így van veszteséget okoz, még hozzá nagyfrekvenciás határolást. Azt az átviteli függvényt, ami leírja ezt a jelenséget a frekvenciatartományban résfüggvénynek Ha a számításokat elvégezzük az eredmény ilyen alakban írható fel:

$$\phi_{rész}(t) = -konst \frac{\sin \frac{\pi S}{\lambda}}{\frac{\pi S}{\lambda}} \cos(\omega t).$$

A résfüggvény tehát $\frac{\pi S}{\lambda}$ -t változónak tekintve $\sin(x)/x$ alakú, amelyet $\frac{S}{\lambda}$ -függvényében ábrázolhatunk is, és akkor a szokásos ismert csillapodó lefutású függvényt kapjuk. A működési tartomány a görbe elején található, amíg annak értéke nem csökken jelentősen 1 alá, azaz kellően közel kell maradni a réshez és attól távolodva egyre romlik az átvitel és a kiolvasás „minősége”.

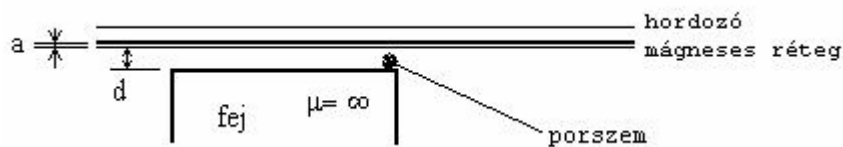
2. A távolsági és vastagsági függvények

A valóságban a rés felett nem nulla a távolság a mágnesrétegig. Ideális esetben a tükörfelületre végtelenül pontosan rá kéne simulnia a szalagnak, de ha ott szennyeződések, por található, akkor egy $d \neq 0$ távolság jön létre a fej és a szalag között (távolsági függvény).

Hasonlóan, ideális átvitelhez végtelen vastag mágnesréteg lenne szükséges, hogy a hosszú hullámhosszú fluxusvonalak is bennmaradjanak. Azonban a mágnesréteg $a \neq \infty$ vastagsággal rendelkezik (vastagsági függvény). Ezt a két hatást együtt kezelve az alábbi taggal bővül majd az átviteli függvényünk:

$$\phi_{r\acute{z}ar}(t) = konst \frac{1 - e^{-\frac{2\pi a}{\lambda}}}{\frac{2\pi a}{\lambda}} e^{-2\pi \frac{d}{\lambda}}$$

Látható, hogy a és d paraméter is megjelenik a függvényben, és mindkettő – a fentihez hasonlóan – nagyfrekvenciás határolást okoz, azaz aluláteresztő jellegű szűrés. Ez egybe is cseng tapasztalatainkkal: sajnos a nagyfrekvenciás rögzítés a kritikus a mágnesszalagos eszközökben.



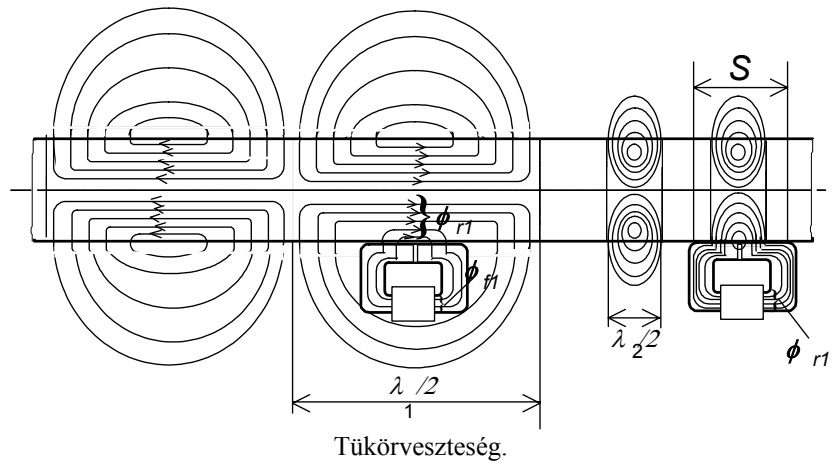
A vastagsági és távolsági függvények magyarázata.

3. Tükörfüggvény

A tükörfüggvény az egyetlen tényező, ami feluláteresztő szűrő-jellegű, azaz alsó töréspontot ad az átvitelhez. Ez az oka annak, hogy DC jelet fel lehet írni a szalagra, de lejátszani nem. Oka, hogy a frekvenciától függően, a nagyhullámhosszú (mélyfrekvenciás) erővonalak egy része megkerüli a nem végtelen nagyságú lejátszófejet. Ezek a fejen kívül záródnak és nem kerülnek kiolvasásra: minél kisebb a frekvencia, annál nagyobbak a hullámhosszok (akár több méteres is lehet), amely egyszerűen nem olvasható ki a mágnesrétegből, csak kellően nagy lejátszófejjel. Ahogy látható, a nagy frekvenciák nem szenvednek ettől a hibától, hiszen ahhoz kis hullámhossz tartozik.

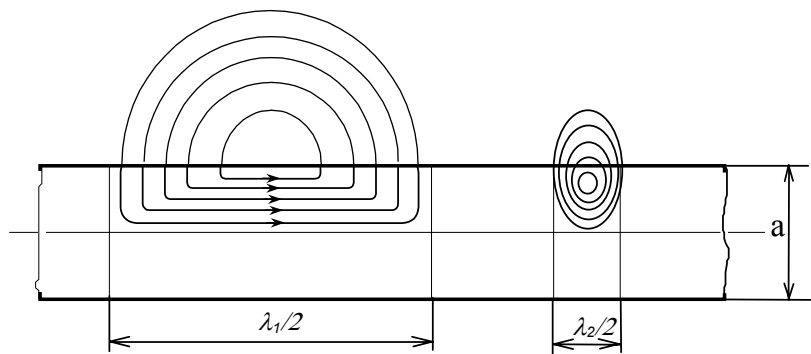
Ebből a szempontból a szögletes alakú fejek jobbak, mint a gyűrű alakúak. Jobb a mélyfrekvenciás átvitele, ugyanakkor az átviteli függvénye jobban ingadozik. A gyűrű alakú fej átviteli függvénye ilyen alakú (ahol D a gyűrű átmérője):

$$\phi_{r\acute{z}ar}(t) = 1 - e^{-\pi \frac{D}{\lambda}}$$



4. Önlemágneseződés

Az önlemágneseződés oka, hogy a rétegvastagsághoz képest kis hullámhosszú erővonalak nem lépnek ki a rétegből, még a rétegen belül záródnak. Ez a kiolvasó fej számára nem hozzáférhető, így nem ekrülnek kiolvasásra.

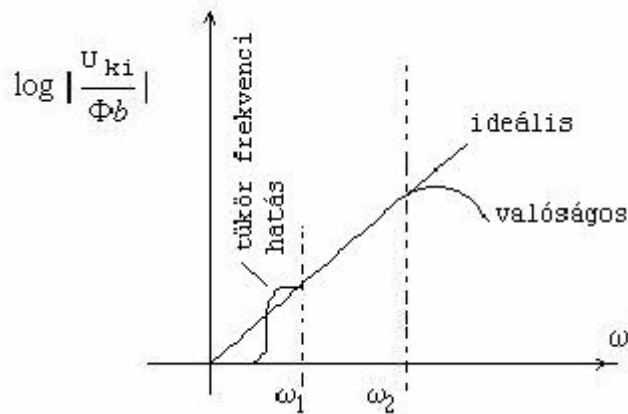


Önlemágneseződés.

Az átvitelbe belejátszik továbbá a mágneskör és az elektromos részek átvitele is. Ezek mindegyik szintén aluláteresztő-jellegű, utóbbi ráadásul másodfokú szűrő. A lejátszás eredő átviteli függvénye tehát ilyen alakú:

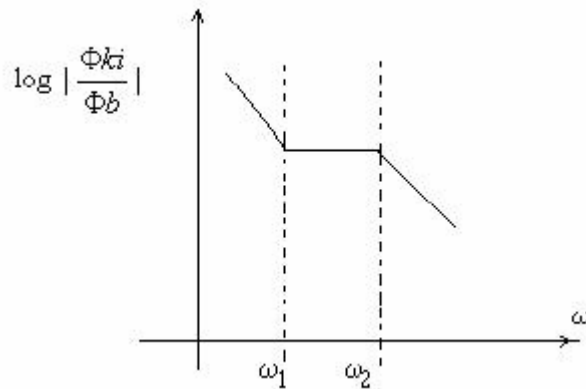
$$\frac{u_{ki}}{\Phi_b} = indukció * el.kör * mág.kör * résfgv * táv.fgv * vastagságifgv * tükörfgv.$$

Ezt ha logaritmikusan ábrázoljuk, az alábbi függvényt kapjuk:



A magnó átviteli függvénye.

Mivel ez nem lineáris a lejátszó erősítő ezt kompenzálja az alábbi karakterisztikával:



A kompenzáló lejátszó erősítő átvitele.

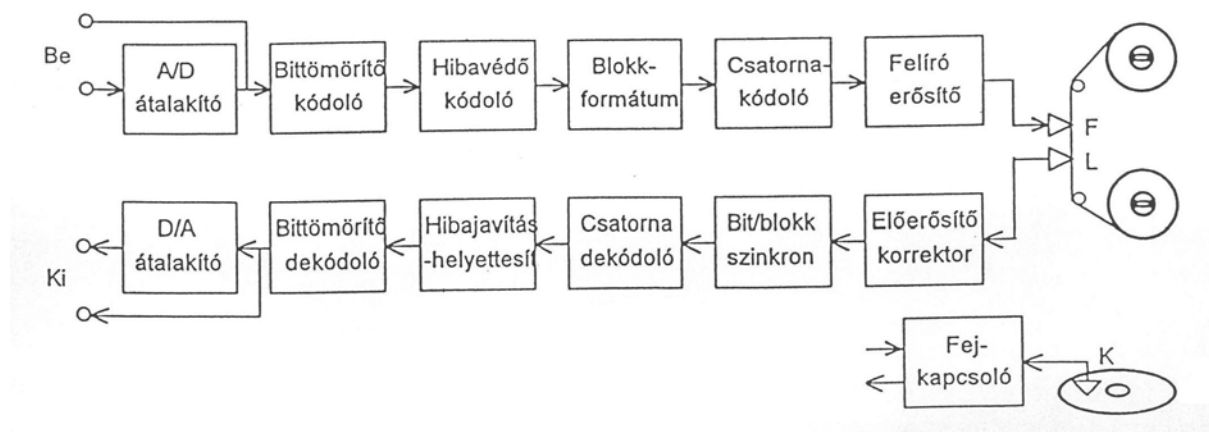
Létezik még egy függvény, ami a mágnesréteget, azaz a szalagokat minősíti. Ennek neve szabványos fluxuskarakterisztika, ami a logaritmikusan ábrázolt Φ_k/Φ_b függvény. Ez minden szalagra más és más, jobb minőségűnek szélesebb az átviteli tartománya.

2.1.3 Digitális rögzítés

A fent elmesélt függvények és elvek igazak analóg és digitális rögzítésre is. A hibák azonban másképp jelentkeznek, hiszen digitális rögzítéskor csak az a cél, hogy kiolvasáskor a bitek helyesen legyenek dekódolva. Az időfüggvény torzulásai mindaddig nem lényegesek, amíg ezt hibamentesen megtehetjük.

A rögzítéskor adott mintavételi frekvenciával és bitszámmal végezzük az A/D átalakítást. Lehetőség van *forráskódolásra*, vagy más néven bitsebességcsökkentő tömörítésre. Ez azonban nem feltétlen része a rendszernek. A hibavédelem, azaz a *hibajavító kódolás* azonban mindenképpen, itt adjuk hozzá a redundanciát a rendszerhez, ami hatékony felhasználást tesz lehetővé. A lejátszónak és a dekódernek fel kell ismerni a bitfolyamban a struktúrát, így minden digitális rögzítő használ valamilyen blokkformátumot, keretszerkezetet, szinkronizálást, jelzőbiteket, ami a kiolvasást lehetővé teszi a hatalmas 1-0 folyamban. A *csatornakódoló* feladat nem a „normál” hibajavítás, hanem az előállt bitfolyam (bitstream) hordozóhoz illesztése. Ha ugyanis előáll egy kép és hang együtteséből álló MPEG adatstruktúra, az felírható DVD-re, továbbítható az interneten vagy kisugározható DVB

állomással – és ezek mindegyike másfajta járulékos hibajavítást és apparátust igényel, ami hozzáilleszkedik az átviteli csatornához, azok hibájához, jel-zaj-viszonyához stb. A csatornakódoló (vagy másnéven csatorna moduláció) egy a hordozótól függő járulékos hibajavítás.



A digitális rögzítés blokkvázlata.

A kiolvasás ennek ellentéte, inverze. Szükség van bitszintű szinkronra és blokk szintűre is. Az első a bitek elejét, végét találja meg, hogy azt értelmezze (mintát vegyen belőle). Ha ez sikerül, akkor megkeresi a blokkok és a keretek elejét és végét, ami nem más, mint egy adott bitkombináció. Természetesen, ez a bitkombináció (lásd majd a CD-nél) nem fordulhat elő máshol a bitfolyamban, nehogy szinkronnak érzékelje a dekóder. A csatornakódolás „visszacsinálása” után a hibajavításra kerül sor, ha történt hiba. Ha túl sok hiba történt, akkor két lehetőség marad: a némítás vagy az interpoláció. Az interpoláció csak hanganyagnál fordulhat elő, adatoknál nem. Interpoláció során a kieső hangmintákat a szomszédos nem sérült mintákból becsüli meg a lejátszó, pld. egyszerű lineáris középértékkel. Ez a megoldás CD-ROM esetén pld. bizonyosan nem működhet, mert az adatok között ott nincs összefüggés, egy telefonszám középső számjegye nincs kapcsolatban a tőle balra és jobbra eső szomszédjával, nem találhatjuk azt ki a két szomszédosból. Ha a rendszerben volt bitsebességcsökkentő forráskód, akkor azt is vissza kell alakítani (ez történik MP3 fájlok lejátszásakor), majd ezután következhet a D/A visszaalakítás.

A hibáknak kétféle nagy csoportja van. Az első, az ún. *egyszeri* vagy *véletlen* hiba, amikor az átvitel során a zaj vagy más hibaforrás miatt egy-egy bit vagy szimbólum hibásodik meg. Sokféle hatékony hibajavító kódolási eljárás létezik, melyek bizonyos számú bithibát képesek felismerni és/vagy ki is javítani. A már ismert Hamming-távolság és kód a legegyszerűbb ezek közül, de ennél hatékonyabbak is vannak. Egy egész kódcsalád a Reed-Solomon kódok családjá, melyből az audio kódolás is felhasznál. Az RS-kódok több bitnyi hibát is képesek kijavítani, melyek véletlenszerűen fordulnak elő a jelfolyamban. Az RS-kódok ún. szószervezésű, szisztematikus kódok. A szisztematikus kódok azért előnyösek, mert az eredeti minta, amit alávétünk a hibajavításnak, eredeti formájában megmarad a bitfolyamban.

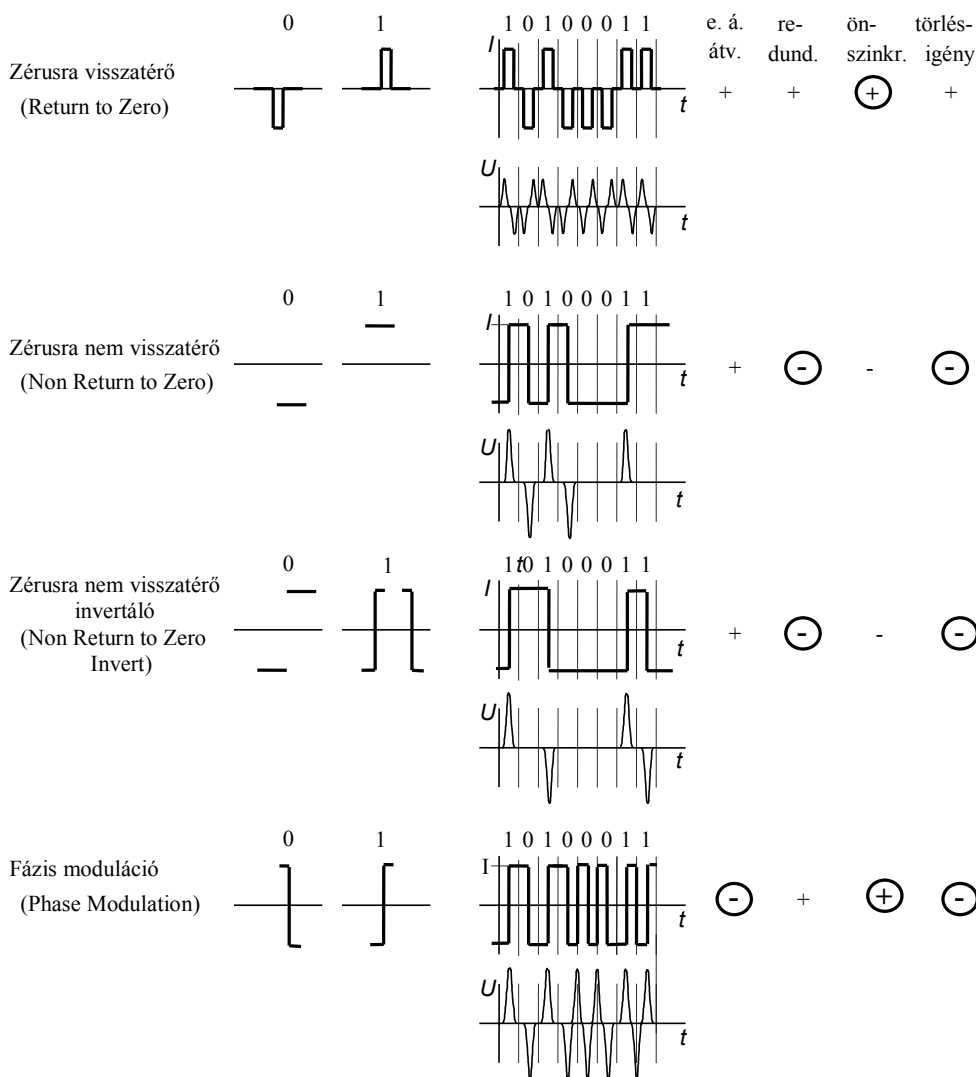
A hibák másik tipikus csoportja a *hibacsomó* vagy *burst*. Ilyenkor jellemzően nem egy-egy minta sérül meg, hanem csomószerűen sok egymás utáni. Jellemzője, hogy rövid ideig tartó zavar (pld. a rádiós összeköttetésben vagy egy karcolás a CD lemezen) sok egymás utáni mintát fog hibássá tenni. Ezt az RS-kód, vagy általánosan az egyedi hibákat javító kód nem képes kezelni. A védekezés ellene az ún. *keresztát szövés* vagy *interleaving*. Az elv egyszerű: nem időfolytonosan visszük át/rögzítjük a mintákat, hanem „szétszórjuk” azokat. Sugárzás esetén ez azt jelenti, hogy egy-egy átviteli időblokkban nem az egymás utáni minták

következnek, egy CD esetén pedig azt, hogy az időben egymás utáni minták nem egymás mellett helyezkednek el a lemez felületén. Másképp szólva, a lemezen egymás melletti minták nem szomszédok a valóságban. Természetesen a „szétszórás” nem ad hoc módon megy, hanem szigorú kötött szabályok szerint, amit a dekódoló is ismer és azokat ismét helyes sorrendbe rendezi. Mi ennek az értelme? A nyereség abból adódik, hogy ha ezután egy burstös hiba történik, pld. megkarcolódik a lemez, akkor nem egy kupacban lesznek hibák, hanem a sorrend visszarendezése után ezek szétesnek egyedi hibákra! Ezeket pedig a RS-kód már képes kijavítani. A kettő tehát együtt hatékony, pld. a CD lemezeken alkalmazott CIRC kód a Cross Interleave Reed-Solomon Code rövidítése, magyarul a keresztátszövést is alkalmazó RS-kód a hibajavítás alapja.

A hibajavítás tehát először a *deinterleaving*, a keresztaszövés visszaalakítása, majd az egyedi hibajavítás. Az egyedi hibajavítás mindig redundanciát visz a rendszerbe. A redundancia a „felesleg”, az a járulékos információ, melynek célja pusztán a hibajavítás és semmi köze a hasznos hangmintákhoz. A CD lemezen háromszor annyi adat van, ami nem a zene része, hanem a hibajavításé! Minél nagyobb a redundancia mértéke, annál jobb a hibajavító képesség, annál megbízhatóbb a rendszer, de annál kevesebb hasznos adat vihető fel az eszközre, lemezre. Tehát a CD lemez azért olyan jó minőségű és áll ellen az időnek, mert a karcok és egyéb véletlen hibákat nagyon jól ki tudja javítani. Ha pedig már ez sem sikerül, túl nagy a sérülés, akkor jön az *interpoláció*. Az interpoláció során a minőség romlik, hiszen számított minták kerülnek a jelbe, minél több, annál jobban fognak eltűnni a nagyfrekvenciás jelek, az interpoláció ugyanis átlagol, simít.

A digitális jelfolyamoknak van ún. kisfrekvenciás és nagyfrekvenciás korlátja. Ez a szinkron bitekből, és a hibajavító kódolás struktúrájából adódik. A digitális kisfrekvenciás jel olyan, ahol sok 1 és sok 0 áll egymás után, pld.: 111111100000000. Ez egy ideális négyszögjel-periódus, de lehetne kétszer, háromszor ilyen hosszú is, amíg a rendszer esetleg elveszíti a szinkronizációt, ez a korlát mindig létezik. Hasonlóan, a legnagyobb frekvenciájú jel a 10101010...sorozat, amely szintén nem lehet túl hosszú, de ezt csak esetenként kell korlátozni, nem minden rendszerben. A CD-nél majd látni fogjuk, hogy mindkét bitsorozat hossza korlátozott, és ellen védekeznek is.

A jelek beírási módja is különböző lehet. Az alábbi ábra mutatja a lehetséges, elterjedt beírási módokat. A táblázatban szerepel, hogy DC-jel felírható-e (+, ha igen, - ha nem), redundancia van-e a rendszerben önmagában, rendelkezik-e a beírási mód önszinkronizációval vagy külső kell hozzá, illetve, hogy van-e törlés igénye a felvétel előtt. Ha egy jel be van karikázva, azt jelenti, hogy az előnyös tulajdonsága a módszernek. Az első, az RZ (return-to-zero) kódolás tartalmaz önszinkronizációt, mert minden bitidőben van változás ugyanakkor, ebből az órajel kinyerhető a vevő oldalon. Ebből adódóan redundáns is. Az NRZ (non-return-to-zero) elnevezés abból adódik, hogy itt az előzőhöz képest nincs „visszatérés nullára” minden bitidőben. Jelváltás, azaz irányváltozás csak akkor van, ha 0-1 vagy 1-0 átmenet történik, az is a bitidő közepén. Ha tehát hosszú 000000... vagy 111111... sorozat érkezik, akkor nincs váltás. Ebből a szinkronjel nem nyerhető ki, viszont nem redundáns, nincs felesleges jelirány-váltás. A legfontosabb az NRZI (non-return-to-zero-inverter), ami csak 1-es bit esetén vált a bitidő közepén. A CD audio is ezt használja. A fázismoduláció (PM) gyakorlatilag a frekvencia moduláció egy fajtája, az információ a jelsűrűségből olvasható ki. Minden bitidő közepén van jelváltás, innen adódik a redundancia és a szinkronizálhatóság. Egyes bitnél felfelé kell menni, nullásnál lefelé a bitidő közepén, így ha azonos bitek érkeznek egymás után, pld. nullák, akkor a bitidő elején fel kell menni, hogy a közepén lejöhessen: sűrűsödnek a jelváltások, könnyen kiolvasható a bitfolyam.



Beírási módok.

Felépítésük szerint a digitális jelfeldolgozók vagy visszacsatolást tartalmazó vagy azt nem tartalmazó szűrőkből állnak. Előbbi IIR (infinite impulse response, végtelen impulzusválaszú) míg utóbbit FIR (finite impulse response, véges impulzusválaszú) szűrőnek nevezzük. Az elnevezés zavaró, hiszen nem feltétlenül szűrésről van szó egy ilyen eszközben. Viszonylag egyszerű matematikai kódszerekkel tervezhetők olyan lineáris fázisú FIR szűrők, melyek az analóghoz képest nem torzítják a fázismenetet.

A legegyszerűbb dolog az erősítés és a csillapítás, mert előbbi egy egynél nagyobb számmal való szorzás, utóbbi egy egynél kisebbel való szorzás. A PCM mintát egyszerűen meg kell szorozni digitálisan és kész az eredmény. Két minta összeadás is (keverése), a fázisfordítás is hasonlóan egyszerű feladat.

A digitális rögzítésben néhány utólagos *jelfeldolgozási eljárás* és trükk is szerepel a minőség javításának érdekében. Íme néhány elv:

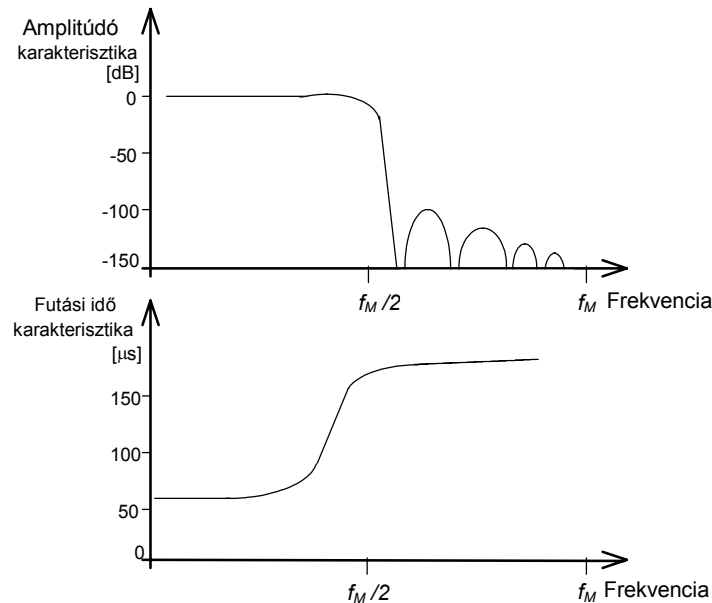
1. Futásidő korrekció

A futásidő korrekció lehet analóg is digitális DSP alapú is. A futásidő idő dimenziójú mennyiség, de a frekvencia függvényében ábrázoljuk: elmondja, hogy a rendszerben a

különböző frekvenciájú komponensek milyen sebességgel terjednek. Matematikailag a fáziskarakterisztika frekvencia szerinti deriváltja:

$$futasidő = \tau(f) = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \varphi}{\partial f}$$

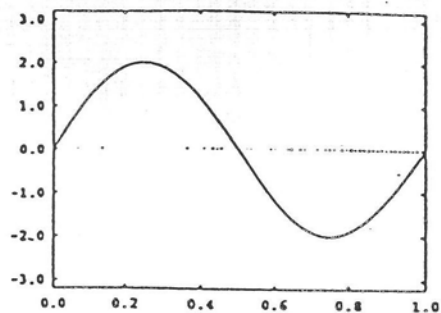
Ennek nagysága általában 50-200 μs és frekvenciafüggő, oka lehet pld. az A/D konverter szűrője. Ezt korrigálni kell, hogy minden komponens azonos sebességgel terjedjen. A korrektor az adott diagrammal ellentétes karakterisztikát valósít meg. Ilyen csoportfutási idő hibák tipikusan jellemzők a nagy meredekségű bementi szűrők okán.



A bemeneti aluláteresztő szűrő amplitúdó -és futási idő karakterisztikája.

2. Zajmoduláció (dither)

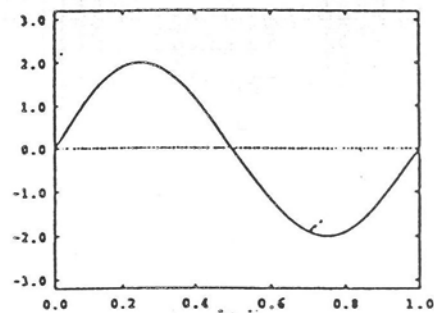
A dither magyar elnevezése zajmoduláció. A kvantálási zaj, mint láttuk, függ a jel alakjától, azaz jelfüggő. Megfelelő jelnél akár zérus is lehet, másiknál viszont maximális. A hallásunk speciális tulajdonsága (és ez a látásra is igaz), hogy sokkal érzékenyebbek vagyunk és jobban zavar minket a nem-lineáris (felharmonikus) torzítás, mint a jel zajossága. A zajmoduláció során az átalakítandó jelhez direkt, speciálisan megszerkesztett zajt adunk hozzá, amely befolyásolja a kvantálási zajt (a hibajel az eredeti és az átalakított jel között). Végeredményben az „elrontott” időfüggvényű jelből egy zajosabb kimenetet kapunk, de kevésbé torzítottat (lásd függelék).



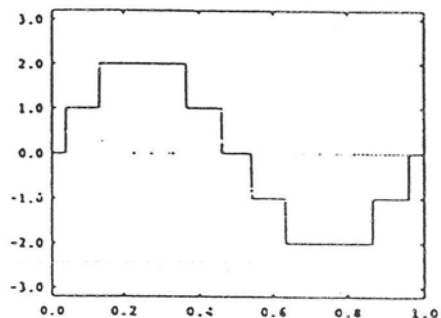
Bemenő
jel [LSB]

Idő [msec]

(a)



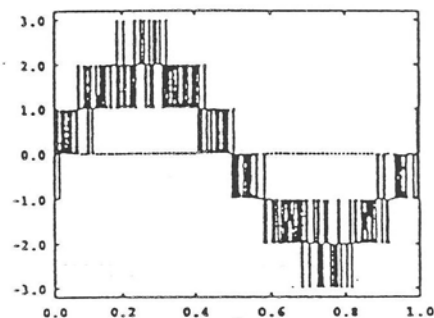
(a)



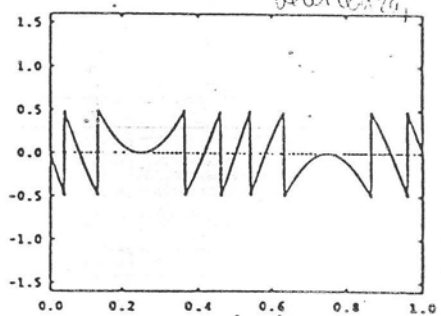
Kimenő
jel [LSB]

Idő [msec]

(b)



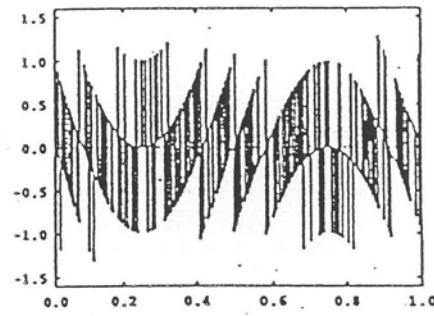
(b)



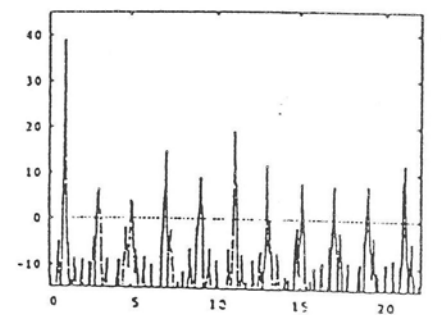
Hibajel
[LSB]

Idő [msec]

(c)



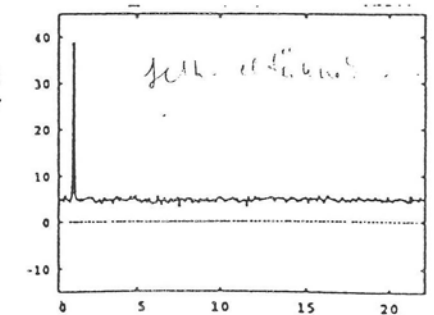
(c)



Kimeneti jel
teljesítmény
spektrum-
sűrűsége
[dB]

Frekvencia
[kHz]

(d)



(d)

Színuszjel kvantálása zaj nélkül és zaj hozzáadásával,
a hibajel spektruma.

Frekvencia 1 kHz, amplitúdó csúcsból csúcsig 4 LSB.

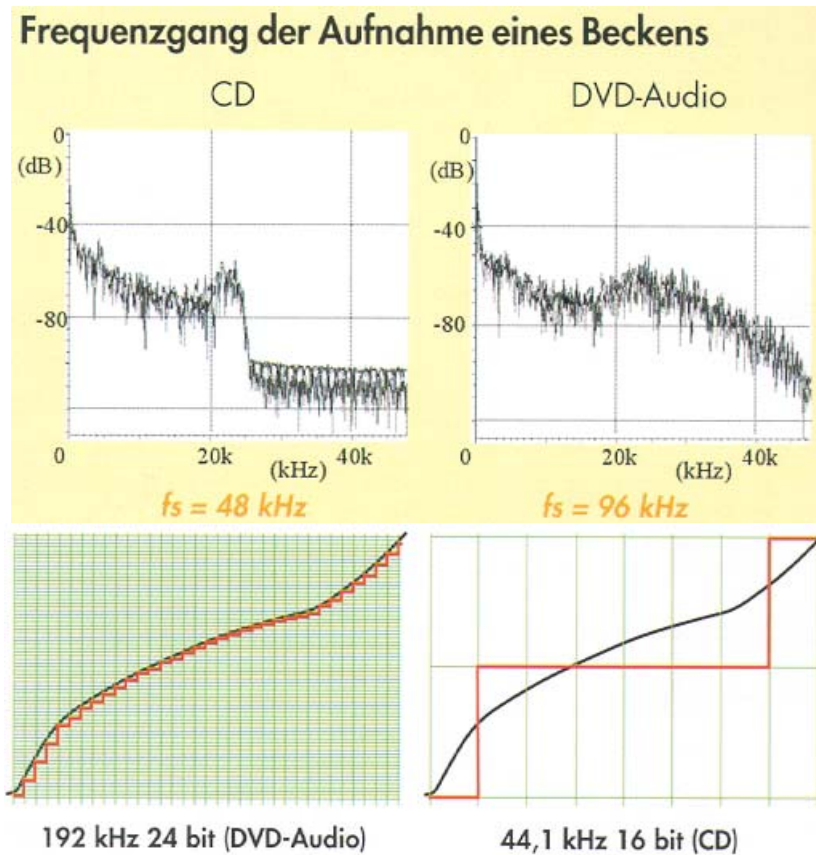
A zaj amplitúdója csúcsból csúcsig 2 LSB.

3. Túlmintavételezés

A digitális jelfeldolgozáskor mi csak az egyenletes lépésközű kvantálással találkozunk. Ekkor minden kvantálási lépcső egyforma, q -nagyságú. Ezekre a rendszerekre igaz, hogy a kvantálási zaj, a legnagyobb ellenség, egyenletes eloszlású a frekvenciában. A kvantálási zaj számítási hiba, a kerekítésből adódó hibák „összege”, matematikailag a négyzetes várható értéke. Azért négyzetes, mert a teljesítménnyel kell arányos legyen (mint minden más jel-zaj-viszony), a várható érték pedig megmondja, hogy kb. mekkora hibák fordulnak elő átlagosan a jelfolyamban, ami a kvantáláskor keletkezik. Lehetséges elvileg, hogy a kvantálási zaj értéke zérus, ha az átalakítandó jel olyan (lépcsős), hogy éppen eltaláljuk vele a kvantálási szinteket. A legrosszabb jel ebből a szempontból az, amelynek szintjei rendre két lépcső közé esnek félút tájékon, mert akkor maximális a hiba. A hiba maximális értéke egy mintánál $q/2$, hiszen alatta lefelé kerekítünk, felette felfelé. Ez minden mintánál más és más, több millió vagy millárd esetén csak a várható értékét becsülhetjük meg (ne feledjük, CD esetén másodpercenként 44100 minta van). A kvantálási zaj torzítja a jelet és hallható zavart okozhat. Tipikusan úgy lehet csökkenteni, hogy növeljük a bitszámot, a kvantálási lépcsők finomságát. Ezzel ugyanis q -értéke csökken, ezáltal a hiba nagysága is. Persze nagyobb bitszámhoz hosszabb minták és több adat tartozik: nagyobb tárolókapacitás kell. A másik oldalról közelítve: ha minél kevesebb bitet használunk fel a minták leírására, minél kevesebb a kvantálási szint, annál kisebb helyet foglal el az adatfolyam, de annál nagyobb lesz a kvantálási zaj. Szélsőséges esetben egy szinuszhullám, ami 16 biten még felismerhető, 1-bites kvantálásnál négyszögjellé torzul, hiszen csak 1 vagy 0 értéket vehet fel a mintája. Ez nagyon durva torzítás. Emlékezzünk majd ezekre később az MP3 kódoló tárgyalásánál, ami pontosan ezt végzi: azáltal csökkenti a hangfájl méretét, hogy a 16 bites mintákat csonkolja és helyette jóval kevesebb 3-10 bittel írja le azokat. Ez drasztikusan megnöveli a kvantálási zajt. A titok nyitja éppen abban rejlik majd, hogyha a hallás elfedési tulajdonságát megvizsgáljuk közben, akkor megállapíthatjuk, hol van az a határ, amikor ezt még éppen nem halljuk meg...

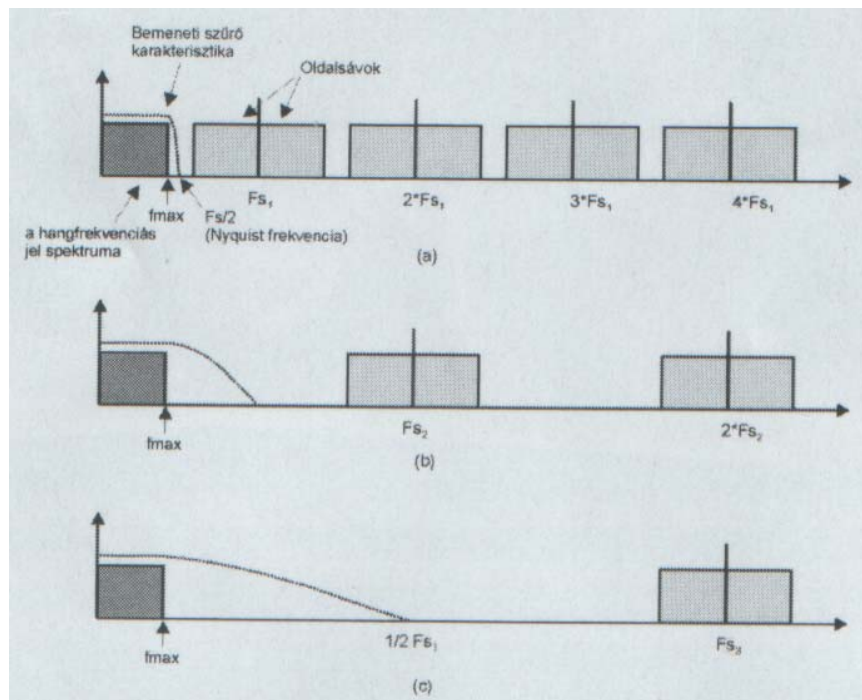
Visszatérve az elejére, egyenletes kvantálásnál a zaj teljesítménye (mivel pusztán a kerekítésből adódó számítási hiba négyzete) $q^2/12$ értékű. Ha nagyon kicsi a q , azaz sokbites a kvantálás, ennek értéke szükségszerűen kicsi. A kvantálási zaj tehát nem a rendszer analóg hibája vagy az eszközök problémája, hanem csupán *számításból* adódó gond. Ez a teljesítmény egyenletesen oszlik el a frekvenciában 0 Hz-től a mintavételi frekvenciáig. Ha a mintavételi frekvencia 44100 Hz (egyszeres), akkor ez egy téglalap, melynek területe $q^2/12$ értékű. Ha a mintavételi frekvenciát növelem, pld. kétszeres túlmintavételezéssel, akkor ugyanez a téglalap kétszer olyan élhosszúságúvá nyúlik és elér 88200 Hz-ig. Vele együtt a magassága a felére esik. Ha a túlmintavételezés ennél nagyobb, tipikusan négyszeres, 16, 32 vagy 64-szeres, akkor ennyivel kisebb lesz a magassága a zajnak. A Shannon-tételből tudjuk, hogy a mintavételi frekvencia legalább kétszerese kell legyen a sávszélességnek. Más szóval, az átvihető tartomány a mintavételi frekvencia feléig terjed. CD esetén 20 Hz-től 20000 Hz-ig kell átvinni, ehhez szükséges legalább 40000 Hz-es mintavételezés. A valóságban a Sony PCM processzora 44100 Hz-et használt, amihez elvileg 22050 Hz-es felső határ tartozna, de ez nem megengedett, hiszen a szűrőnek kell hely, hogy vágjon. Így is nagy a probléma, hogy a 20 kHz-es jelet még át kell engedni az A/D átalakító felé, de a 22,05 kHz-est már teljesen ki kell szűrni: nagyon meredek bemeneti szűrők kellene, amelyek rontják a minőséget. Ezeket a szűrőket AAF, anti-aliasing-filternek nevezik, mert célja, hogy kiszűrje az ún. *alias*-komponenseket. Az alias, vagyis „álnév” olyan komponens, amelyek a spektrumok átlapolódásából származnak, ha megszegjük a Shannon-tételt. Ha ráengednénk a 44100 Hz-es A/D átalakítóra egy 30 kHz-es komponenst, annak egy álneve, alias-ja jelenne meg a mintavételezett jelben 14100 Hz-nél. A CD-nél a cél tehát a 20 kHz átvitele, amihez a 44100

Hz elég. Ha ennél nagyobb választunk, akkor „túl” mintavételezzük a jelet és a szükségesnél gyakrabban veszünk belőle mintát, ami azonnal duplájára, négyszeresére...stb. növeli a helyigényt. A 64-szeres túlmintavételezés (angolul oversampling) 64-szer annyi mintát tartalmaz, mint a szükséges minimum!



A CD és a DVD Audio felbontásának szemléltetése.

Az előny azonban nagy, mert ettől még a hasznos sávunk továbbra is 20 kHz-ig terjed. Ha tehát a túlmintavételezés kétszeres, a Shannon-tétel 44100 Hz-ig lesz érvényes, így a szűrőnknek nem 2050 Hz, hanem 24100 Hz távolság áll rendelkezésre a lefutáshoz. Nem kell olyan meredek szűrő: jobb lesz a minőség. A másik hasznos dolog, hogy a hasznos sávba eső kvantálási zaj teljesítmény is feleződik. 64-szeres túlmintavételezésnél már csak az eredeti kvantálási zaj 64-ed része esik a hasznos sávba!

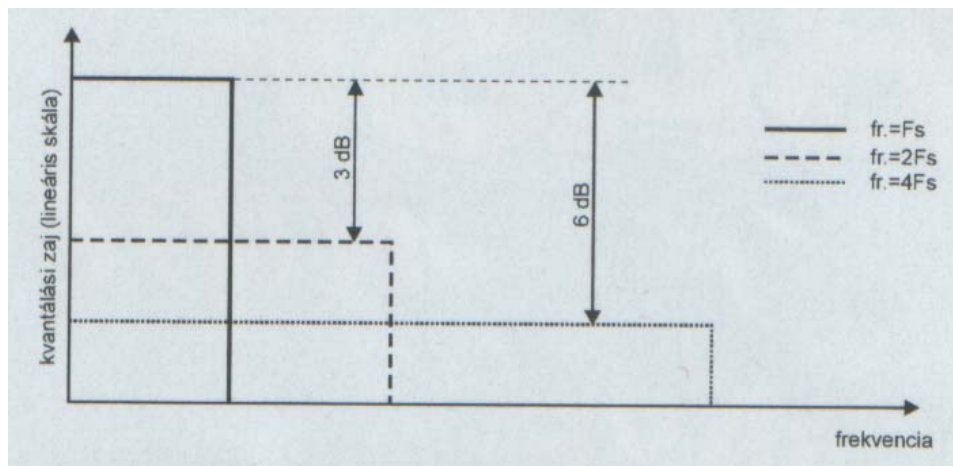


Túlmintavételezéskor lankásabb szűrők alkalmazhatóak. Az (a) ábra a Shannon-tételnek (Nyquist kritériumnak) megfelelő „egyszeres” mintavételezést mutat. A (b) ábra kétszeres, a (c) ábra négyszeres túlmintavételezés spektrumát és a bemeneti szűrő meredekségét.

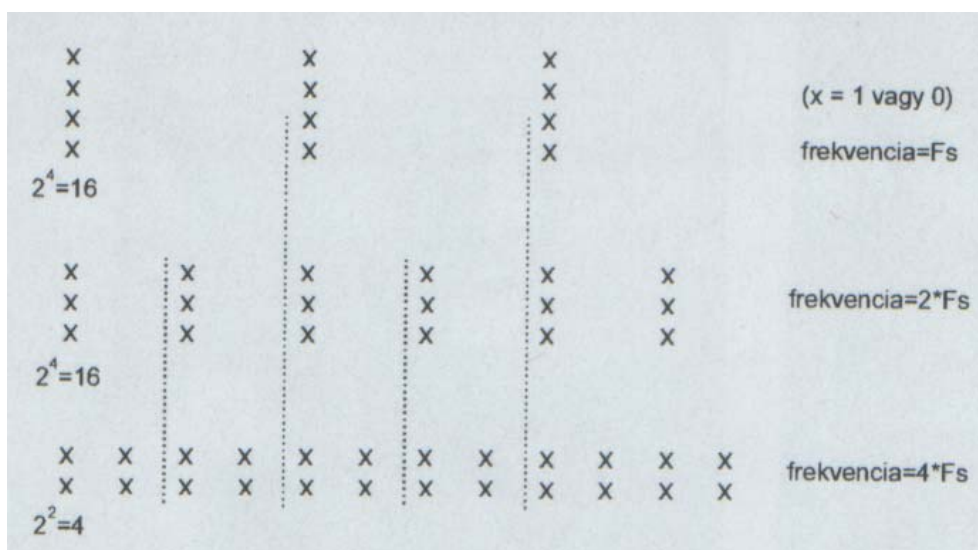
A végeredmény tehát jobb jel-zaj-viszony és minőség lesz akkor is, ha a CD-re való íráshoz majd vissza kell állni a kisebb mintavételezésre. Ezt az eljárást decimálásnak nevezzük, az eszközt pedig decimáló szűrőnek. A CD-re ugyanis nem írhatunk fel, csak 44100 Hz-en mintavett jelet, ha pedig ehelyett 64-szer annyi van, akkor minden 63 darab egymás utáni mintát a végén el kell dobni és csak minden 64-et tartjuk meg a felíráshoz. Hasonlóan igaz ez a bitszám aktuális növelésénél: hiába készítünk jó minőségű 20-24 bites felvételt, a számítások és trükkök után a CD lemezre 16 biteket kell felírni.

Túlmintavételezéskor a mintavételezett jel spektruma, amely megsokszorozódik a tartományban, távolabb kerülnek egymástól, ezért lehetséges laposabb szűrő használata, melyek amplitúdó-hullámossága és fázistorzítása (csoportfutási idő torzítása) kisebb.

Egy másik nagyon fontos hatás, hogy a túlmintavételezés és a kvantálási bitszám kapcsolatban áll egymással. Minél nagyobb a túlmintavételezés, annál kevesebb bit elegendő a jel ugyanolyan leírásához. A mintavételi frekvencia négyszerezése egy-egy bit elvonásával egyenértékű! Tehát 16 bites jelek négyszeres túlmintavételezésekor elég 15 bit a leíráshoz, hogy a minőség állandó maradjon. De miért van ez? Azt már láttuk, hogy a kvantálási zaj egyenletes eloszlású lévén a túlmintavételezéssel nyereséget érhetünk el. Kétszeres túlmintavételezéshez fele zaj tartozik a hasznos sávban (-3 dB), míg négyszeresnél már csak negyede (-6dB). Azt is láttuk már, hogy 6 dB dinamikaváltozás tartozik 1 bithez, tehát ha nyerünk 6 dB-t a zajban azzal, hogy túlmintavételezünk négyszeresen, akkor ezt visszakaphatjuk azáltal, hogy egy bitet elhagyunk és azt „visszarontjuk” az eredeti állapotába. Megjegyzendő – részletezés nélkül -, hogy pusztán információelméleti levezetésből az derül ki, hogy a mintavételi frekvencia duplázása (nem pedig a négyszerezése) a hangminták egy bittel való csökkentését teszi lehetővé. De a szigorúbb korlát a kvantálási zajból adódik, ezért igaz a fenti szabály. Összességében persze nem éri meg az eljárás, hiszen négyszer annyi 15 bites minta több helyet igényel, mint a 16 bitek azonos minőség mellett.



A kvantálási zajteljesítmény csökkenése kétszeres és négyszeres túlmintavételezéskor.



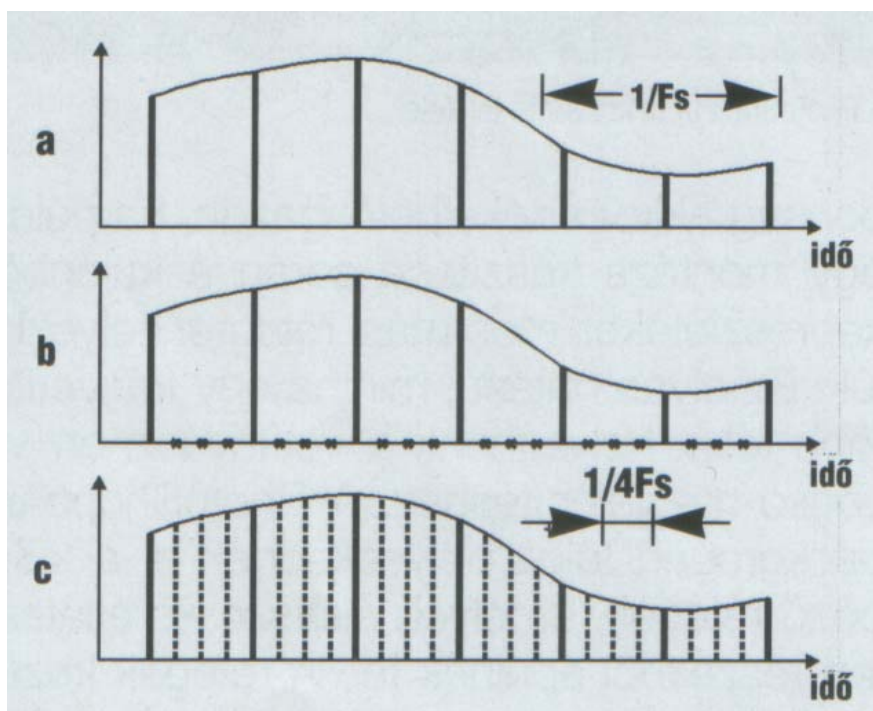
A mintavételi frekvencia növelésével csökkenthető a minták hossza: információelméletileg megmutatható, hogy a frekvencia duplázásával egy bit hagyható el.

Ne feledjük azonban ezt a szabályt, mert a Super Audio CD esetén megismert DSD eljárás ezt a megoldást annyira túlzásba fogja vinni, hogy akkora mintavételi frekvenciát választ, ami mellett 1 bitre lehet csökkenteni a szóhosszt: ezt nevezzük 1-bites átalakítónak, más néven Sigma-Delta modulátornak. Az ilyen átalakítót sok helyen használják, mert olyan egyszerű, hogy a mintavételi értéket az alapján választja meg, hogy az az előzőnél nagyobb-e (1-es bit) vagy kisebb (0-s bit). Ez a sorozat nem PCM jel, és ha ilyen felvételt készítünk utána PCM szavakba kell azt átalakítani. Az SACD előnye, hogy ezt nem teszi meg, hanem közvetlenül az 1-bites jelet rögzíti.

A decimálás csak elsőre tűnik egyszerű mintaelhagyásnak. Előtte ugyanis a jel spektrumát digitálisan sávhatárolni kell, mert a jelnek meg kell felelnie az új, kisebb mintavételi frekvenciához tartozó Shannon-tételből adódó határoknak. Ezt egy FIR szűrő hajtja végre, kiszámítja az új mintákat, amiknek a hossza a számítás során nő (a bitszám). Ha a túlmintavételezett jelből elhagytunk biteket a fentiek szerint, akkor ez a folyamat automatikusan visszaállítja azokat és a 15 bites négyszeresen túlmintavételezett jelből automatikusan előáll negyede frekvencián a 16 bites jelsorozat. Ha nem hagytunk el biteket, akkor azt csonkolni kell. A csonkolás megfelel a legkisebb helyiértékű bitek elhagyásának, ami egyszerű, de nem a legjobb megoldás. Ennél jobb, ha kerekítéssel élünk. A bitelhagyás a

ditherezés nélküli A/D átalakításnak felel meg, ami torzítást vihet a rendszerbe. Minden levágott bit 6 dB-el csökkenti a dinamikát, a szinusz jelek szögeletesednek, megjelennek a felharmonikus torzítási komponensek. Ezért ilyen esetekben is dither-t alkalmaznak előtte, amely nem eltünteti, hanem szétkeni a torzítási komponenseket a frekvenciában.

A túlmintavételezést nem alkalmazó rendszerben nem csak az AAF, hanem a lejátszó oldali simító (interpoláló) szűrő is meredek, ami ugyanúgy hibához vezethet. Ráadásul drágák is, ami a lejátszók árát növeli. Ezt elkerülendő az interpoláló szűrő is képes lehet digitális túlmintavételezésre a vevő oldalán. Pld. négyszeres interpolációnál a valós hangminták közé három minta kerül be, amit a dekóder tesz bele. Ezek valami „kitalált”, interpolált értékek, aminek nagyságát az interpoláló szűrő számítással határozza meg. A D/A átalakító bemenet előtt tehát a valódi minták közé nulla értékű minták kerülnek. Amikor ez a feldúsított folyam áthalad a FIR interpoláló szűrőn, akkor az számítással módosítja azt (ténylegesen interpolál), de az eredetiket nem.

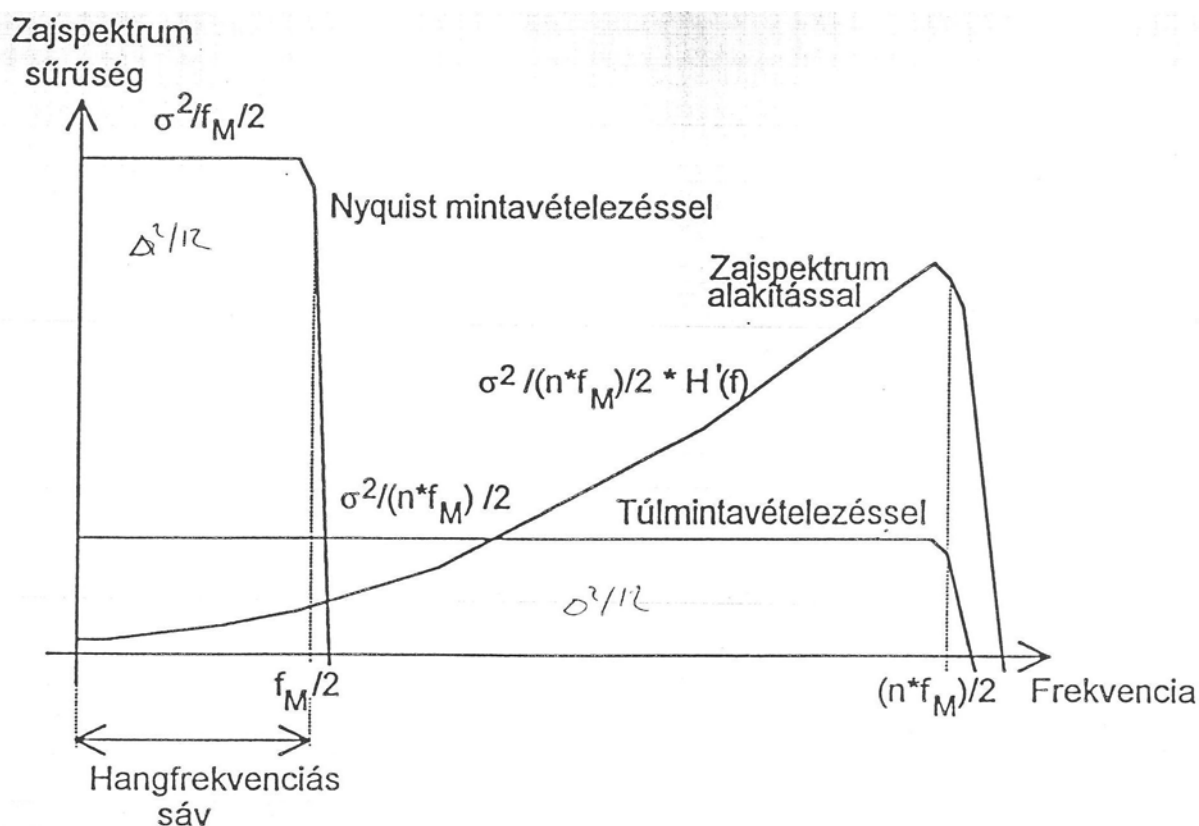


Négyszeres interpoláció. Az eredeti hangminták (a) közé három 0 nagyságú minta kerül (b). Ezek végső nagyságát az interpoláló szűrő számítja ki (c).

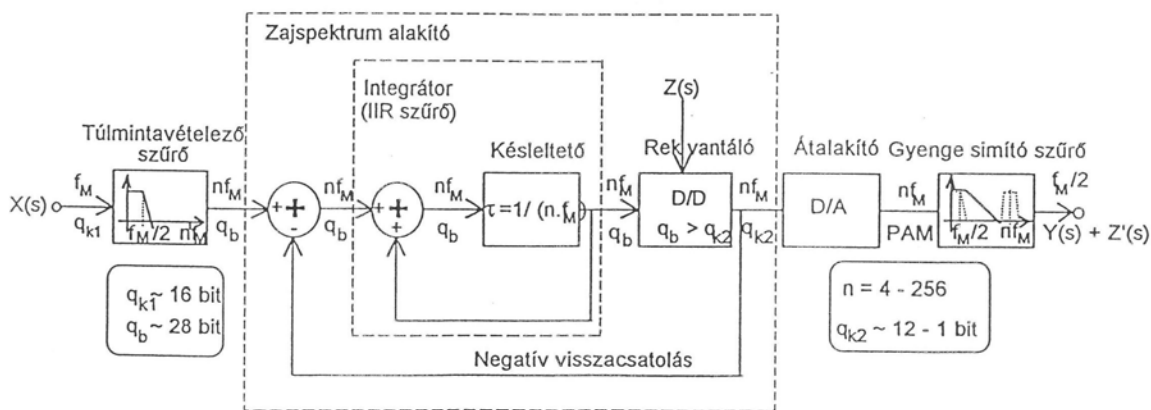
Ez látszólagosan úgy fog ezután kinézni, mintha tényleg négyszeres túlmintavételezett jel lenne. Ezért – hibásan – ezt is túlmintavételezésnek nevezik, de ez valójában interpoláció. Figyelem! Ez az interpoláció is megtévesztő elnevezés, nem azonos a javíthatatlan hibák pótlására szolgáló eljárással, ami szintén interpoláció és rokon eljárás, de a kettő nem ugyanaz! Itt is igaz, hogy a jelfolyam mintáinak a bitszámát a fenti szabály szerint csökkenthetjük, ha akarjuk. A valóságban ehelyett a jó minőségű lejátszók nem csökkentik azt (sőt, növelik) és inkább a jó jel-zaj-viszonnyal dolgoznak (a számítások során keletkező 20-24 bites, sőt 32 bites lebegőpontos minták is előfordulhatnak). Ezek a számított minták azonban nem hordoznak többlet információt, így ne hagyjuk magunkat becsapni egy 20 bites/16-szoros túlmintavételezéssel rendelkező lejátszónál. Itt arról van szó, hogy 16-szoros interpolációval dolgozik (15 mintát illeszt két valódi közé), amivel 12 dB-el javítja a jel-zaj-viszonyt és bármilyen számítási műveletet a mintákkal a 20 bites processzorával végez el, de ettől nem fognak 16 bitesnél „jobb” minták kijönni belőle, ez csak látszólag növeli meg a dinamikát, a valóságban nem.

4. Zajspektrum alakítás (noise shaping)

A zajspektrum alakítása kéz a kézben jár a túlmintavételezéssel. Az előbbieken megismert egyenletes eloszlású kvantálási zaj spektrumát kell ilyenkor alakítani és formálni. Oly módon tesszük ezt, hogy a téglalap területét „átrendezzük” és többé nem lesz egyenletes az eloszlás: úgy módosítjuk a spektrumot, hogy a zajteljesítmény minél nagyobb része kerüljön a felsőbb tartományokba. Ez jó, hiszen ha sokszoros a túlmintavételezés, akkor a több száz kHz-es tartományt úgysem fogjuk átvinni és használni, tehát nyugodtan „áttelepíthetjük” a zajteljesítmény 20 kHz alatti részét a felsőbb régiókba – ezzel tovább javítjuk a jel-zaj-viszonyt.

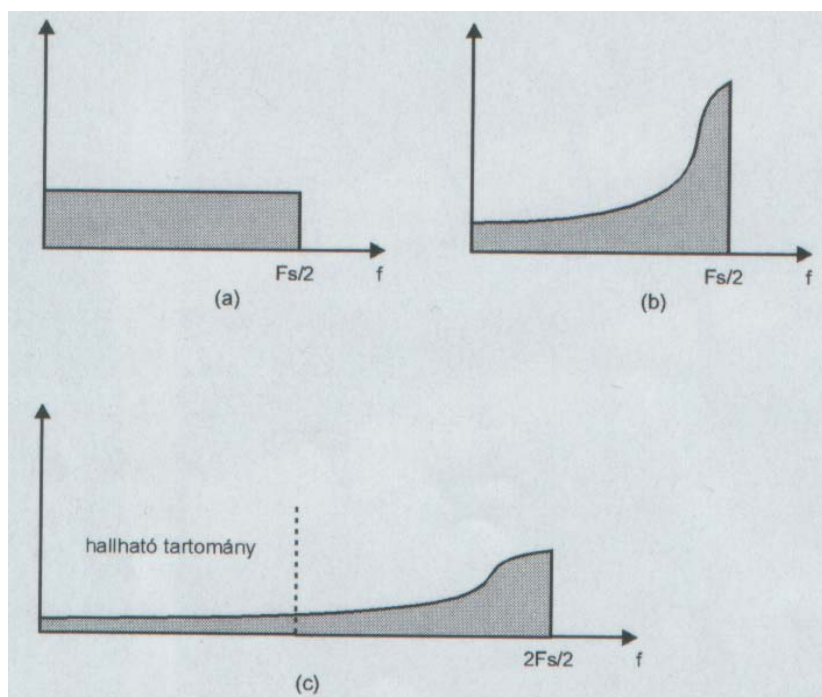


A kvantálási zaj teljesítménysűrűség spektruma a különféle mintavételezés és zajformálás esetén



D/A átalakító túlmintavételezéssel
és zajspektrum alakítással

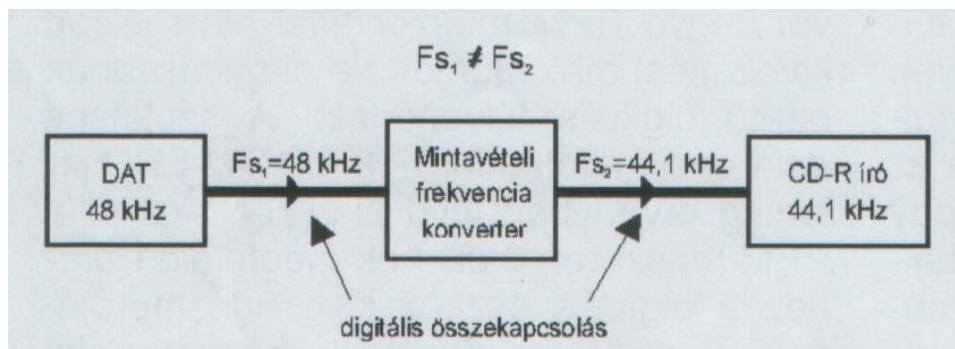
Zajspektrum alakításra lehetőség van túlmintavételezés nélkül is, ekkor a legérzékenyebb 3-5 kHz-es tartományból a 15 kHz feletti részbe transzformáljuk a kvantálási zaj egy részét. Így működött a Sony Super Bit Mapping (SBM) eljárása, amely nagyon jó minőségű lejátszást tett lehetővé, és amely fejlettebb formájában visszaköszön a Super Audio CD-nél is.



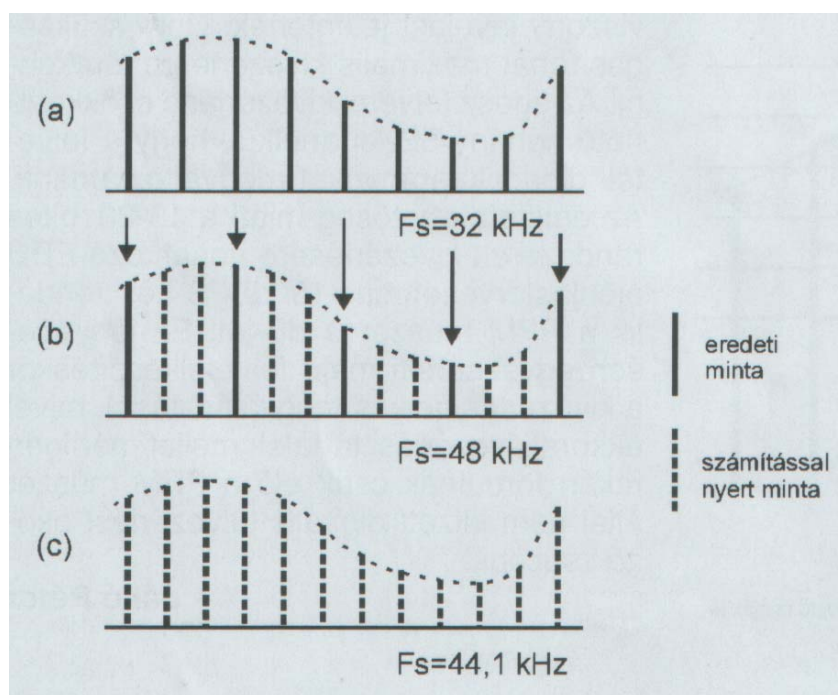
A kvantálási zaj eloszlása (a) egyenletesen, zajformálás nélkül, majd (b) sávon belüli ill. (c) sávon kívüli zajformálással és kétszeres túlmintavételezéssel.

Említsük meg még az egyik gyakori hibát. A jitter (dzsitter) a D/A átalakító környezetében bukkan fel, az órajel átmeneteinek az ideális órajeltől való eltérése, általános hibája. Keletkezhet a forrás oldalon vagy magában az átalakítóban. Az órajel jitter az analógba visszakonvertált jelben felbontás csökkenést és torzítást okozhat. Az 1 ns-nál kisebb jittert az órajel oszcilloszkópos vizsgálatával nem lehet észrevenni. Adott jitter a nagyfrekvenciás részt jobban torzítja, és az jobban is hallható.

A mintavételi frekvencia konvertálása is számítási feladat, amely lehet nagyon egyszerű és bonyolult is. Az eredeti minták vagy megjelennek a konvertált jelben, vagy nem, attól függően, hogy a frekvenciák aránya milyen egymáshoz képest.



Eltérő mintavételi frekvenciák esetén, pld. 48-ról 44,1 kHz-re való áttéréskor konvertert kell beilleszteni.



Mintavételi frekvencia konvertálása digitális számításokkal. A kiindulási minta csak akkor marad meg módosítatlanul, ha az átszámítás során a frekvenciák aránya megfelelő (b), egyébként minden mintát újra kell számolni (c).

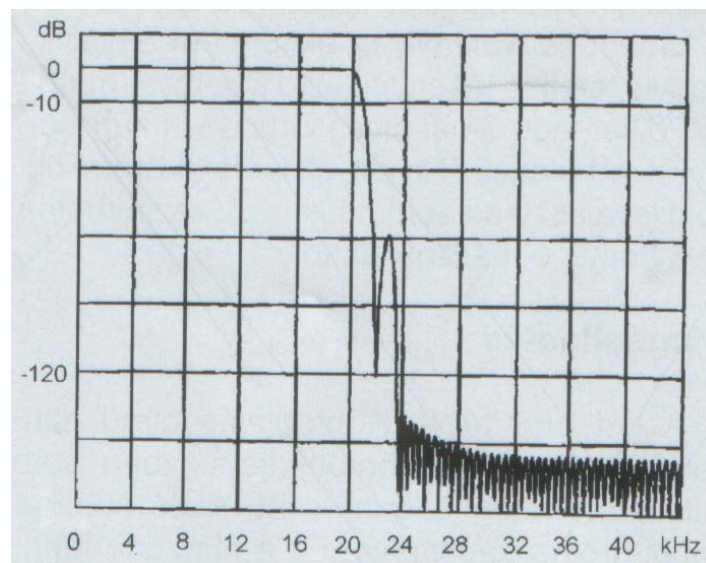
2.2 A HDCD

A HDCD rövidítés a High Definition Compatible Digital kifejezést takarja. Olyan a CD audióval kompatibilis lemez, mely 16 bit helyett 20 bites felbontást tesz lehetővé. Ehhez HDCD dekóder (olyan lejátszó, melyen ez a logó rajta van) szükséges, de normál CD lejátszók is le tudják a lemezeket játszani 16 bites minőségben. Elvileg jobban illene az optikai lézerlemezek leírásához, de mivel az audio CD tárgyalása teljesen meggyezik ezzel, itt pusztán a jelfeldolgozási és digitális technikai elveket vesszük górcső alá.

A CD 20 kHz-es sávkorlátja a kisebb probléma, a legnagyobb baj az ilyen PCM rendszerekkel a digitalizáláshoz szükséges szűrők. A legelterjedtebb digitális rögzítés a PCM módszer. A pulzuskód-moduláció adott bitszámú mintákba kvantálja a diszkrét amplitúdó értékeket. PCM rendszer elvileg az egy bitestől indul, ahol a diszkrét értékek 0 vagy 1 lehetnek, de

hangtovábbításhoz legalább 8 bit szükséges. Nyolc biten 2^8 darab szintet tudunk megkülönböztetni, ami 256 darab. A beszéd dinamikájához (telefonia) ennyi elég is, de a zenéhez kevés. A CD, a DAT és egyéb más processzorok általában 16 bittel dolgoznak, amihez 65536 szint tartozik. Az ökölszabályból tudjuk, hogy egy bit növelés kb. 6 dB-es dinamikanövelést tesz lehetővé, így a 8 bites rendszerek 48 dB-es dinamikát (jel-zaj-viszonyt) tesznek lehetővé, míg a 16 bitesek már 96-t. Utóbbi már elegendő a jó minőségű, az FM rádiót, magnót, lemezjátszót meghaladó hangminőséghez, de még nem tökéletes. Az emberi hallás ugyanis 120-130 dB dinamikájú, amihez legalább 20 bit szükséges. Ezért gondoltak arra, hogy ezt növelni kéne. A PCM rendszereknek tehát mindenképpen eleme egy vagy több szűrő (AAF, decimáló) és a lejátszó oldali interpoláló szűrő is szükséges. A dekódoláshoz és a visszaalakításhoz ugyanis egy aluláteresztő szűrőre van szükség a lejátszóban, mely a mintákból egy „átlagolás” jellegű interpolációt hajt végre. A visszaalakítás azért lesz helyes, mert ha a Shannon-tételt betartjuk, kellően sok mintánk lesz, amelyek mindegyikéhez egy-egy $\sin(x)/x$ -jellegű válaszfüggvény tartozik. A szomszédosok pedig átlapolódnak egymással pontosan olyan módon, hogy az eredő az eredeti jelet hibátlanul kiadja.

Sok a vita arról, hogy mennyire van szükség a 20 kHz feletti komponensek átvitelére, amit az emberi fül nem hall. Egyes vélemények szerint ez azért fontos, mert sok hangszer tartalmaz ilyen komponenseket, amelyeket ha kiszűrünk, akkor az „visszahat” a spektrum 20 kHz alatti részére, mert az időfüggvényt és a burkolókat ezzel befolyásoljuk. A mérések kimutatják, hogy a felvételi oldalon szükséges nagy meredekségű AAF-szűrő és a lejátszó szokásos interpoláló szűrője együttesen a mintavételi frekvencia felénél lévő komponenseknél nagy amplitúdójú átlapolódásokat hozhatnak létre, amely ott hallható amplitúdómodulált füttyülést okozhat.



A mintavételi frekvencia felénél nagy amplitúdójú átlapolódások jöhetnek létre, melyek AM füttyülést okozhatnak

A vezérlőkódok a lejátszónak szükségesek, amely képes „kibontani” a 16 bites mintákból a 20 biteket. A HDCD aszinkron vezérlésű. A felvételkor az analízátor nem csak a kódernek ad parancsokat (parancsszavakat), hanem azokat beteszi kód formájában a mintákba is. Ezek a kódok a legkisebb helyiértékű 16-dik bitbe kerülnek. Hogy a mintákat ez ne zavarja meg, az interleave-hez hasonló eljárással összekeverik azt és így a mintákban mint véletlen zaj fog megjelenni. Mivel a parancsok az időnek csak 2-5%-ban jönnek, ennyi „vesztés” elfogadható, hiszen az ilyen minták csak 15 bitesek, nem pedig 16. Így bármilyen PCM rendszer tudja használni az ilyen mintasorozatot.

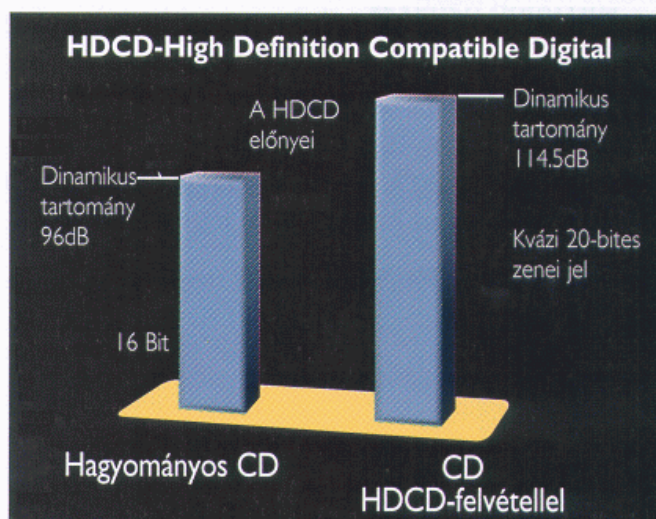


A Model One GDCCD enkóder egység

A hátrány, hogy az ilyen mintákon semmilyen utómunkát nem lehet végrehajtani (mint ahogy egy WAVE adatsoron), mert a 16-dik bit szoros kapcsolatban áll 38 másikkal mellette. Beavatkozáshoz dekódolni kell az anyagot 20 bitesre. (Az MP3 is ilyen rendszer: ott sem lehet a mintákat szerkeszteni, csak dekódolás után.)

■ HDCCD 20-bites felbontás

A HDCCD (High Definition Compatible Digital) rendszer a CD-lemezek esetében alkalmazott digitális formátum, amely - szemben a hagyományos CD-lemezek 16-bites felbontásával - 20-bites felbontást biztosít.



2.3 A digitális mágnesszalagos rögzítés rendszerei

A digitális hangfelvételt kezdetben mágnesszalagos rögzítőn tárolták. Legelőször az ún. álvideó rendszerek jöttek létre, amelyek kihasználták az akkori videómagnók nagyobb szalagsebességét, szélesebb szalagját, nagyobb kazettáját. A módosított videófelvevők aztán szokványos, jó minőségű videószalagra képinformáció helyett többcsatornás, rövidebb idejű digitális hangfelvételt tettek lehetővé. A profi rendszerek gyakorlatilag a videómagnót a SONY PCM 1610-es processzor egészítették ki, később aztán a JVC is gyártott ilyen UMATIC magnókhoz. Az akkori technológia 44100 Hz-es mintavételt és 16 bites felbontást tett lehetővé, így hiába lett volna lehetőség a CD bevezetésekor ennél jobb minőségre, a kompatibilitás megtartása fontosabb volt, így a CD szabvány átvette ezeket az értékeket (minden felvétel ilyen minőségben volt akkoriban). Később a stúdiókban a 48 kHz lett a szabvány mintavétel, amely nagyon sokáig tartotta magát, ezért a mai napig létező frekvencia. Manapság a 24 bit/96 kHz a minimum elvárás, de ennél nagyobb frekvenciával is mehet a mintavételezés. A félprofi álvideó rendszerek a SONY PCM 100-as processzort és BETAMAX készüléket használtak.

A PCM 1600 1977-ben mutatkozott be a profi iparban, és U-Matic videóba építették. A processzor kétszatornás volt, az eszköz $\frac{3}{4}$ hüvelykes (forgófejes) videószalagra rögzített. Az editálást módosított videó editáló eszközökkel végezték. Négy évvel később a PCM-F1 és a Nakamichi DMP-100 processzor már 14-16 bites felbontású CD maszterelést tett lehetővé önmagában. Az álvideó rendszerek, ahol a processzorokat Beta vagy U-Matic felvevővel építették össze, nem voltak túl népszerűek, mert sokba kerültek, de az F1 már megfelelő alternatíva volt.



A nem videó-alapú félprofi és profi berendezések a későbbiekben alakultak ki, először az állófejes (DASH), majd azután a forgófejes rendszerek (A-DAT, R-DAT).



SONY U-MATIC álvideó készülék

2.3.1 Az állófejes rendszerek

Az állófejes rendszer, mely sokáig használatban volt a DASH rövidítést kapta (Digital Audio Stationary Head). Az állófejes rendszerek nagy hibája, hogy a szalag relatív sebessége a fejhez képest (mivel az áll) korlátozott, lassú. Ennél fogva a rögzíthető jelsebesség (bps-ben megadva) szintén korlátozott.

f_{mv}	48 kHz	44,1 kHz	32 kHz
	Fast	Medium	Slow
Szalagsebesség (cm/s)	76	38	19
Csíksűrűség	1	2	4
Csíkszorzó	I.	II.	

A DASH-nak kétféle verziója terjedt el: a DASH I és a DASH II (Twin DASH). A rendszer tartalmaz egyedi hibajavítást, és interleavinget is. A szétszórás ilyenkor a szalagon sorosan történik, néhány blokknyi távolságra – memória mindenképpen szükséges, ami „bevárja” a szétszórott mintákat és aztán összefűzi. Jó interpolációs képességekkel rendelkeznek. A redundancia 33%. A legérdekesebb tulajdonsága a vágási hely kiegyenlítése volt. Ezeket a szalagokat ugyanis az analóghoz hasonlóan *ollóval* vágták és aztán ragasztották össze! Nyilvánvalóan valamit kezdeni kell ezután a fizikailag szétvágott digitális blokkokkal. A DASH I. rendszer csupán interpolációval, míg a kétszeres biztonságú DASH II. rendszer hibamentes vágáshelykiegyenlítést tett lehetővé.

A DASH rendszer szabványos formátum, mely kompatibilis a SONY PCM-alapú többsávós rögzítőkkel. Eredetileg támogatta a 2/8/16/24 csatornás felvételt szalagra. A 8 és 16

csatornások azonban nem kerültek forgalomba, és a ¼ collos (6,3 mm) két csatornás verziót sem gyártják már. A legmodernebb verziójú specifikációban már szerepelt dupla-sűrűségű felvétel, amely a fél collos (12,55 mm) szalagra 24 csatornát tud rögzíteni és a kompatibilitás is megoldott a különböző csatornaszámú DASH eszközök között. A szalagon található analóg hangsáv is, vezérlő sáv és idő kód jelek. A Sony és a Studer közös megegyezéssel alakította ki a rendszer paramétereit (kazetta mérete, szalagsebesség, a sávok elrendezése a szalagon, modulációs módszer, hibajavítás stb.). Mindkét szalagvastagsághoz tartozik normál és dupla sűrűségű felvételi mód és három szalagsebesség (lásd táblázat).

Az eredeti SONY 3324-es gép és a legjobb 24 csatornás modellek is a normál csíksűrűséget támogatják a fél collos szalagon. Az újabb, 3348-as típus 48 csatornát tud rögzíteni ugyanarra a szalagra. Ezeket a rendszereket már elektronikusan (olló nélkül) vágjuk.



24 sávós Studer DASH magnó 1 collos szalaghoz.



SONY PCM-800 8 csatornás digitális DASH rögzítő, Hi8-szalaghoz.

2.3.2 A forgófejes rendszerek és a DAT

Az első forgófejes rendszer az Alesis cég DAT magnója volt (A-DAT). CD masteringhoz használták régebben, 48 kHz, 16 bites minőséget tett lehetővé. A moduláció itt is ETM (eight-to-ten modulation, lásd később). Nyolc csatornát tudott rögzíteni, egy S-VHS kazettára kb. 40 percnyi anyag fért rá, de a szalagot előtte formattálni kellett. 1990-ben jelent meg, azóta mintegy százezer darabot értékesítettek és a mai napig létező eszköz és formátum. Az első felvevő volt a moduláris digitális felvevők piacán (modular digital multitracks (MDMs)). A rendszer 16 egységet tud szinkronizálva kezelni, és így azok kaszkádba kapcsolva működnek. A szállíthatóság és a moduláris felépítés nagy előnye, továbbá viszonylag olcsó is (volt). A kapcsolatot digitális optikai szál valósítja meg (Alesis Lightpipe Interface).



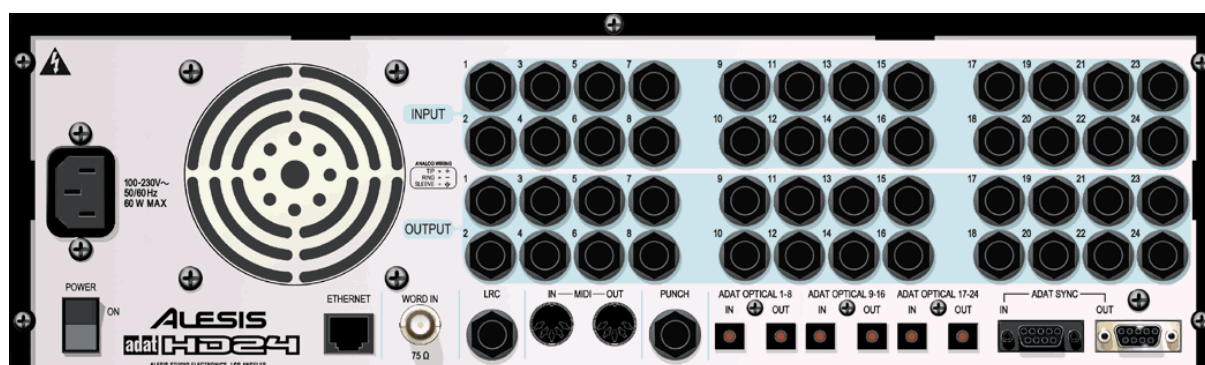
Alesis A-DAT.

Az ADAT LX-20 a jelenkorban is kapható, 20 bites rendszer. Tudja az ADAT I (16 bites) és az ADAT II (20 bites) felbontást is. Nyolc csatornás, 64-szeres túlmintavételezéssel működik, átviteli tartomány 20 Hz-20 kHz, 0.009% THD mellett. Az ADAT eszközök rendelkeznek szabványos digitális ADAT ki és bemenetekkel, valamint szinkronizációs ki és bemenetekkel is.



Alesis A-DAT HDD rack-el.

Az ADAT HD24-es rögzíti már 24 csatornát képes rögzíteni és beépített IDE-merevlemezrel rendelkezik. A külvilággal az ADAT-protokollal kommunikál, lehetőség van 88,2 és 96 kHz mintavételre is, 24 bites felbontás mellett. A hátlapon jól látható a 24 analóg bemenet és az optikai digitális ADAT ki/bemenetek.



Az A-DAT magnó hátulja, szabványos A-DAT interfészekkel.

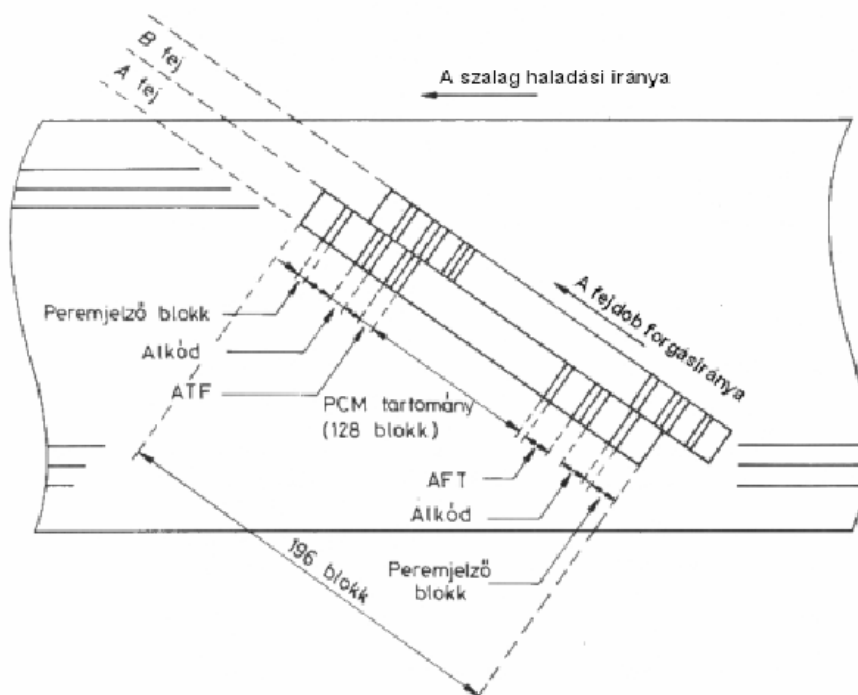
Az R-DAT (rotary-head digital audio tape) a mai technológia legjobb szalagos digitális rögzítője. Nem használ semmiféle veszteséges adattömörítést, CD minőségű sztereó felvételeket lehet vele készíteni, törölni, lejátszani. A kazetta mérete kicsi, kezelhetősége könnyű. A rendszer kialakításánál cél volt, hogy a profi, félpofi és konzum eszközök nagyon hasonlóak legyenek: közös a kazetta, kódolás, fejdob, formátum stb. A különbség egy profi DAT-magnó és egy házi között pusztán a szolgáltatásokban rejlik (távkapcsoló, dizájn, szalagbeállítások). Gyakorlatilag a születésekor elbukott Philips DCC rendszer jogos utódja az R-DAT, amely bár nem kompatibilis a kompakt kazettákkal, nem tartalmaz veszteséges kódolást és egyéb problémákat. A berendezés elég drága és a stúdiókön kívül nem is nagyon elterjedt, hordozható (pld. walkman, autómagnó stb.) kivétel is mérési célokat szolgál, nem lett a konzum elektronika része. Ennek oka, hogy az emberek nem cserélték le, egészítették ki a rendszerüket a készülékkel, inkább megvárták a CD írók házi megjelenését és arra készítik el digitális felvételeiket. Utóbbi nagy előnye, egyrészt a párhuzamos hozzáférés (nem kell a szalagot tekercselni), a minőség jobb tartása és hogy kompatibilis a CD-R lemez a már meglévő lejátszókkal, nem kell venni otthonra és a kocsiba se újat.



R-DAT logo.

Az R-DAT 2-4 csatorna rögzítését teszi lehetővé, 44100, 48000 és 32000 Hz-es mintavétellel. A kvantálás 16 bites, vagy nem lineáris 12 bites. A redundancia mértéke 37-60%, a felvételi módtól függően 120-240 perc rögzíthető a szalagon. A csatornakódolás itt az ETM (lásd részletes magyarázatot a CD audiónál).

A képmagnóknál bevált forgófejes rendszert alkalmazza az R-DAT. A fizikai effektusok a rögzítésnél ugyanazok, mint analóg esetben, de sajnos a PCM jel sávszélessége 40-100-szor akkora. Ehhez arányosan nagyobb szalagsebesség is tartozik, ami csak forgófejjel és a ferdecsíkos rögzítéssel valósítható meg. A ferdecsíkos rögzítés a videókban is megtalálható. Ilyenkor a fejdobban nem egy kiolvasó fej, hanem 2, 4 darab helyezkedik el. Ezek „váltásban” olvassák ki a ferdecsíkok adatait, amikor az egyik fej éppen befejezi forgás közben az elhaladó szalag csíkjának kiolvasását, egy újabb fej „bukkan fel” és kezdi időfolytonosan a következő csík kiolvasását...stb. Az R-DAT-ban a két fej 180 fokkal elforgatva helyezkedik el a fejdobban, a fordulatszám 2000/perc, a szalag relatív sebessége 3,133 m/s, az átviteli sebesség 7,5 Mbps. Ez az érték az 1,53 Mbps hasznos adatsebességből, a hozzáadott 0,93 Mbps hibajavítással és a csatornakódból adódik ki. A beírás NRZ mód.

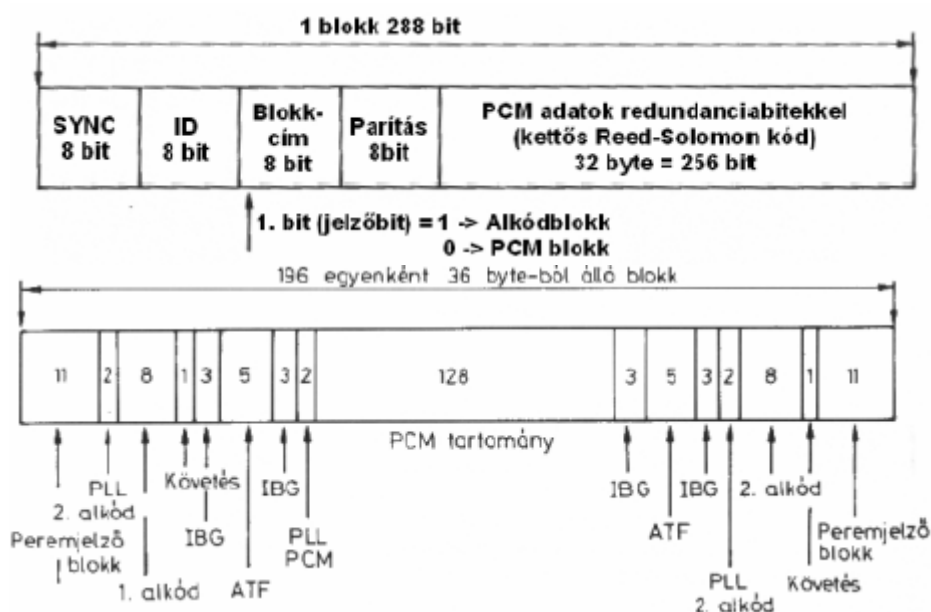


R-DAT csíkformátum.



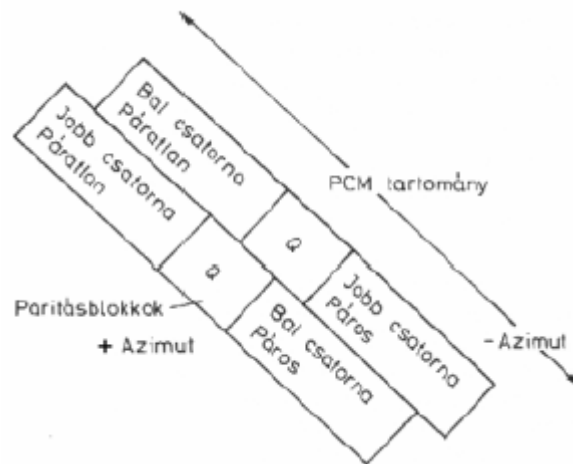
R-DAT kazetták.

Az R-DAT szalagon minden csík 196 adatblokkból áll, minden adatblokk 36 darab 8 bites szóból. A PCM hasznos adatblokkok száma 128 (hibajavítással együtt), ehhez jön az ATF (automatic track follow – automatikus sávkövetés), a szinkron és a rendszervezrlő blokkrészlet. A PCM blokk 288 bitje az alábbi módon fest:



R-DAT blokkformátum.

A hibajavítás itt is, ahogy az összes digitális szalagos felvevőnél a páros-páratlan minták és a jobb-bal csatorna szétválogatásán alapul. Ez valósítja meg az interleaving-et, a burstös hibák elleni védelmet, mely az RS-kódoló után jön. Így létrejönnek bal-páros, bal-páratlan, jobb-páros és jobb-páratlan minták. Ha ezeket ügyesen „szórjuk szét”, akkor hatékony lesz az interpoláció a rendszerben.



A páros-páratlan és bal-jobb szétválogatás elve szalagos rögzítőn.

Egy csík a szinkron és vezérlő biteken kívül tartalmazza a bal páratlan és a jobb páros mintát. A következő csík a jobb páratlant és a bal párost. Így ha sérülés következtében egy egész csík sérül meg, mindkét csatornában marad a szomszédos csíkból sérülésmentes minta: az interpoláció megvalósítható. Ha a hiba azonban nem a csíkkal párhuzamos, hanem a szalaggal (karc), akkor csak páros minták (vagy a másik oldalán páratlanok) sérülnek egy csatornában: így is marad elég hibátlan minta az interpolációhoz. Természetesen, mindez akkor lép érvénybe, ha az RS-kód már nem képes a javításra.



Asztali R-DAT készülék a kilencvenes évekből.

Általános jellemzők:

- a hagyományosnál kisebb kazetta méret
- 2-4 órás lejátszási idő
- gyorskeresési- és program funkció
- különleges funkciók
- analóg- és digitális be- és kimenetek.

A használt PCM formátumok:

- 48 kHz -es, 16 bites minták (lineáris kvantálás)
- 44,1 kHz -es, 16 bites minták (lineáris kvantálás)

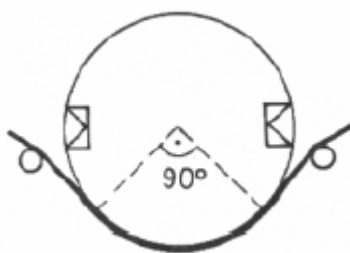
- 32 kHz -es, 12 bites minták (nemlineáris kvantálás), vagy 16 bites (lineáris kvantálás).

Jogvédelmi okok miatt a kommersz készülékekből kihagyták a 44,1 kHz -es mintavételi frekvenciával történő felvétel készítés lehetőségét és egy speciális másolásvédelmi kódolást alkalmaznak (SCMS). Természetesen léteznek stúdió célokra készült DAT magnetofonok, amelyek támogatják a 44,1 kHz -es mintavételezést is.

Általános adatok.	
Jellemzők	
Frekvenciamenet	5 Hz - 22 kHz + 0,5 dB (normál üzemmód esetén) 5 Hz - 14 kHz + 0,5 dB (long-play üzemmód esetén)
Jel-zaj viszony	90 dB (előkiemelés - utóelnyomás van; normál üzemmód) 88 dB (előkiemelés - utóelnyomás van; long-play üzemmód)
Rendszerdinamika	90 dB (előkiemelés - utóelnyomás van; normál üzemmód) 88 dB (előkiemelés - utóelnyomás van; long-play üzemmód)
Harmónikus torzítás	0,005 % - 1 kHz, normál üzemmód 0,05 % - 1 kHz, long-play üzemmód
Szinkronizálási hiba	nem mérhető
Hozzáférési idő keresési funkcióban	15 s (2 órás kazettánál)

Az egyes üzemmódok adatai.					
Üzemmódok	1.mód	2.mód	3.mód	4. mód	Műsoros kazetták
Hangcsatornák száma	2	2	2	4	2
Mintavételi frekv.(kHz)	48	32	32	32	44,1
Kvantálás	16 bites, lineáris		12 bites, nem lin.		16 bites, lineáris
Kódolás	2 -es komplementens kód				
Szalagsebesség (mm/s)	8,15	8,15	4,08	8,15	8,15
Adatátviteli seb. (Mbps)	2,46	2,46	1,23	2,46	2,46
Hibajavítás	Kettős Reed - Solomon kód				
Redundanciátényező (%)	37,5	58,3	37,5	37,5	42,6
Csatornakódolás	MNRZ-I m=8 n=10 (Eight-to-Ten Modulation)				
Max. felvételi idő (min)	120	120	240	120	120

A szalag futási irányához képest a forgó fejdob ferdén áll. A fejek a fejdob ellentétes oldalán helyezkednek el, tehát 180 fokra egymástól. A fejdob 30 mm átmérőjű és 2000 1/min fordulatszámmal forog.



Szalagbefűzés R-DAT esetén.

A szalag a fejdob előtt 8,15 mm/s-os sebességgel halad el. A szalag futási irányához képest a fejdob 6 fokkal dől, így a fej és a szalag között 3,133 m/s -os relatív sebesség jön létre. A 7,5 Mbps -es adatátviteli sebesség elérése csak ily módon lehetséges.

A ferde sávok szélessége 13,5 mikron, hossza 23,5 mm és közvetlenül egymás mellé veszik fel őket (nincsenek védősávok). Az áthallások elkerülése végett a két fej között ún. azimut eltolást alkalmaznak: a fejrések egymáshoz képest +/- 20 fokkal elforgatott helyzetűek. Az adott sávot csak a megfelelő résferdeségű fej képes olvasni. A ferde sávokat a szalagon hosszanti irányban két segédsáv határolja, melyeknek különleges funkcióik vannak.

Általában ugyanazokat a fejeket használják alejátszáskor, mint amit a felvételhez (kombinált fejek). Egyes High end, illetve profi készülékek külön felvevő és lejátszó fejekkel rendelkeznek, így lehetségessé válik a felvett anyagba történő belehallgatás már a felvétel alatt (monitoring). A fejdobon ebben az esetben 4 fej található, és minden csatornához külön kapcsolás szükséges a felvételhez és a lejátszáshoz is. Így lehetővé válik a hanganyag szerkesztése.

2.4 A digitális mágneslemezes rögzítés rendszerei

A digitális mágneslemezes rögzítésnek két alapvető fajtája van: a veszteségmentes, hard-disk alapú professzionális felhasználás, illetve az általában veszteséges adattömörítést alkalmazó konzumelektronikai berendezés és rendszer.

Az előbbivel a sokcsatornás szakaszban foglalkozunk, hiszen olyannyira elterjedt, hogy mindenki alkalmazza otthon a PC-jén, amikor wav-fájlokkal dolgozik, CD-t másol stb. Ez a kétszatornás megoldás, de semmi akadálya, hogy ezt több csatornán, profi minőségben is megoldjuk.

A mágneslemezes rögzítés másik fajtája olyan, mintha a floppy lemezt hasonlítanánk a vinciesterhez: a kisebb, szállíthatóbb megoldáshoz gyakran tömöríteni kell az adatokat. Mindkét rendszer nagy előnye, hogy törölhető és párhuzamos (gyors) hozzáférésű.

A veszteséges tömörítésről majd külön lesz szó, és csak egy működő rendszert mutatunk be röviden: a SONY fejlesztésű MiniDisc-et. A MiniDisc nem professzionális eszköz, a stúdiókhoz alkalmatlan (ellentétben az R-DAT-al), mert veszteséges adattömörítést alkalmaz, hasonlóan az MP3-hoz (csak itt ATRAC-nak hívják az eljárást). A célja nem is ez, hanem, hogy hordozható (MiniDisc walkman) és könnyen felhasználható írható/törölhető eszközt adjon a felhasználók kezébe. Tekintettel arra, hogy nem professzionális és nem is igazán életképes, csak röviden foglalkozunk vele. A probléma itt is az, ami a DCC-nél és részben az

R-DAT házi elterjedésénél is volt: a rendszer semmivel sem kompatibilis, drága berendezéseket és lemezeket kéne vásárolni hozzá, amelyet a piac kiszelektált és bevárta a CD-R formátumot, valamint a memóriakártyás és CD-re írható MP3 elterjedését. Ami a rendszer egyik érdekessége, hogy az egyetlen igazán működő MOD eljárás, így ennek bemutatására is sor kerül.

A MOD a Magento-Optical-Disc rövidítése, magyarul a mágneses-optikai lemezé. Az ilyen lemezek tulajdonsága, hogy a rögzítés a lemezen mágneses elven történik (doménekben), de a kiolvasás optikai utón, lézerrel történik. A lézer a beírás során is részt vesz a folyamatban. A MOD lemezt tehát úgy képzeljük el, mint egy kis floppy lemezt, amit lézerrel olvassunk ki.

2.4.1 A MiniDisc

A legtöbb digitális adattípushoz hasonlítva - a digitális video kivételével - a tömörítetlen digitális audiohoz tartozó adatsebesség jelentős (a csatornán kialakuló végső adatátviteli sebesség DAT esetén 7,5 Mbps, CD esetén 4,3218 Mbps). A digitális audio tömörítés révén lehetővé válik a digitális audio hatékonyabb tárolása és átvitele. A különböző audio tömörítési eljárások különböző bonyolultságú kódolókat és dekódolókat, különböző minőségű tömörített audio jelet és különböző mértékű tömörítést biztosítanak. A MiniDisc rendszer által használt ATRAC tömörítési eljárás bonyolult, nagy tömörítési fokú, kiváló hangminőséget eredményező algoritmus. Ezeket az eljárásokat általános audio jelekre fejlesztették ki és nem speciálisan beszéd tömörítésére vannak beállítva. A pszichoakusztikus érzeti kódolással külön fejezetben, az MPEG tárgyalásánál találkozunk.

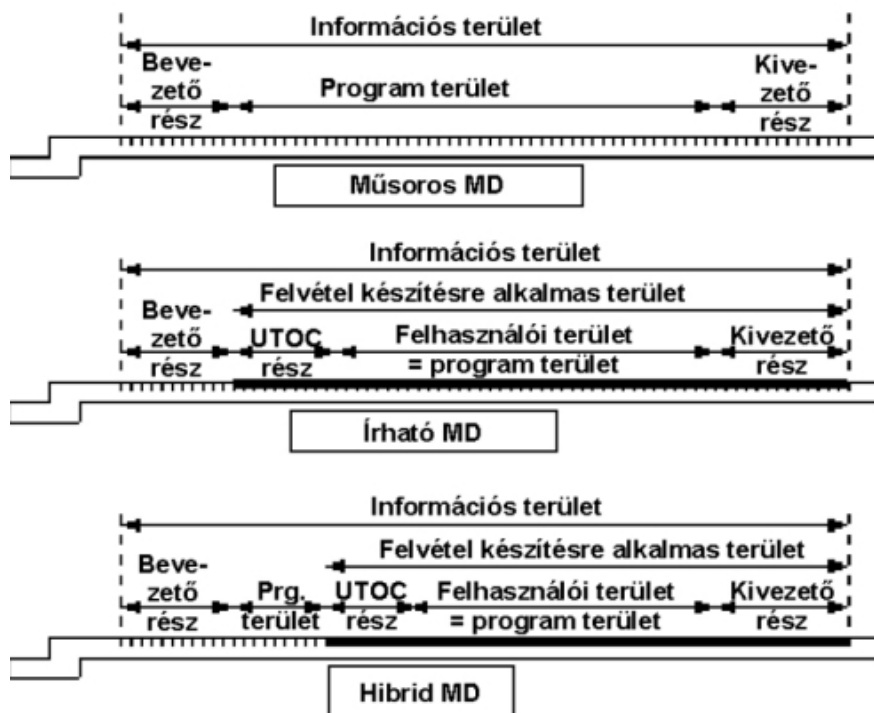
A MiniDisc rendszert azzal a nyilvánvaló céllal tervezték, hogy felváltsa a hagyományos kompakt kazettás rendszert. A MiniDisc formátum két különböző típusú hordozórétet definiál. Az egyik egy írható magneto-optikai lemez otthoni felvétel készítésre, a másik egy hagyományos csak olvasható lemez zene és szoftver publikáció céljára.

1992-ben mutatták be a MiniDisc rendszert a fogyasztói piacon, mint egy új digitális hang lejátszó- és rögzítő rendszert. Ez csupán tíz évvel követte a Compact Disc (CD) bemutatását. Köztudott, hogy a CD a hagyományos bakelit lemezeket váltotta fel a hanglemez piacon. A CD elterjedése előtt sok mérnök a CD kifejlődését csupán a jobb hangminőségnek tulajdonította, de a CD lejátszó piacra dobása után kiderült, hogy a fogyasztónak nagy értékke vált az optikai lemezes rendszer gyors, véletlenszerű elérés módja. Ezen kívül a 12 cm-es lemezt könnyebb volt kezelni az LP-hez képest. Mind a lejátszó és a hordozó hosszabb élettartama erősen hozzájárult a CD formátum elfogadásához. A fejlesztés következő célpontja nyilvánvalóan az újraírható CD volt. A Sony és a Philips együtt dolgoztak ezen a rendszeren és 1989-ben technikai valósággá tették. Két különböző CD rendszer alakult ki: az egyszer írható CD-R és az újraírható CD-MO.

Az audio kazetták eladási aránya csökkent 1989 óta és a Sony érezte, hogy az audio kazetta, mint hangrögzítő formátum életének végéhez közelít. Ha el is fogadta volna a fogyasztói társadalom az írható CD-t, még akkor is bonyolult lett volna betörni a hordozható készülékek piacára. Itt ugyanis a kompakt kazettás rendszerek uralkodtak az erős rázkódás állóságuknak és kis méretüknek köszönhetően. Egy új, lemezes rendszer kialakításának egyértelmű célja ezen gyengeségek kiküszöbölése volt. A Sony-nak sikerült ezt megvalósítania a MiniDisc-el (MD).

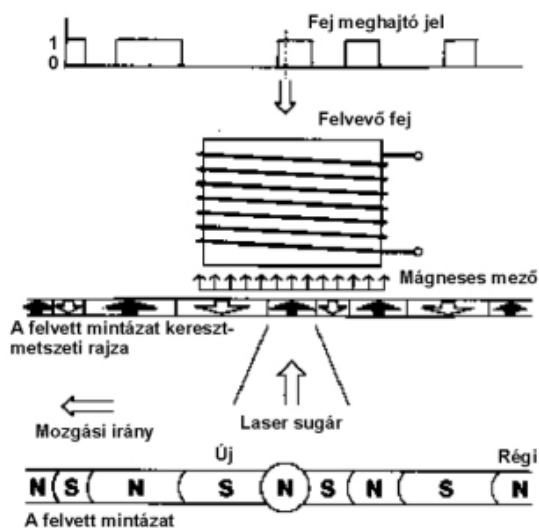
Magneto-optikai lemezes adattároló rendszereket pár éve már használtak számítógépes rendszerekben. Erre a technológiára alapozva kifejlesztettek egy közvetlenül felülírható rendszert ugyanakkora kapacitással, mint egy CD. Ezen kívül rázkódás álló memóriát alkalmaznak a hordozhatóság érdekében és egy digitális hangtömörítő eljárást használnak - amit ATRAC-nak hívnak (Adaptive TRansform Acoustic Coding).

A CD-ROM megvalósításához hasonlóan az MD Adat rendszer is az audio MD-re épül. A 140 Mbyte-os kapacitás és a célorientált filestruktúra új lehetőségeket nyújt az MD adat lemezek különböző számítógépes konfigurációkba illesztésére. A kis ház méretet a könnyű kezelhetőség és a lemez védelme érdekében alkalmazták.



42. ábra: a három különböző MD lemez szerkezete

Az MD lemez hordozója fröccsöntési eljárásokkal készül. Így viszonylag egyszerűen kialakítható egy optimális illesztő terület, ami a lemez precíz betöltését, illetve rögzítését biztosítja. Az optikai lemezt centralizálni kell miután a meghajtóba kerül. Mint a CD-nél, itt is a polikarbonát hordozó belső kerületét használják erre, mint referenciát.



45. ábra: a mágneses- és az optikai fej elhelyezkedése

A felvevő/lejátszó MiniDiscek a digitális jeleket magneto-optikai úton rögzítik a mágneses-mező moduláció rendszer segítségével. Ezt a rendszert az újraírható CD technológia alapján alkalmazták. Az optikai fej és a lemezhez érő mágneses fej egymással szemközt helyezkednek el a lemez két oldalán, közrefogva azt. Mágneses-mező moduláció esetén egy félvezető lézer folyamatosan megvilágítja a felületet, mintegy 4,5 mW teljesítménnyel. Amikor a fénypont a lemezre esik, a felszíni réteg hőmérséklete kb. a Curie-pontig emelkedik (kb. 180 °C). Amint a fénypont továbbhalad a réteg hőmérséklete csökkenni kezd. Ez a folyamat állandóan ismétlődik. Amikor N (É) vagy S (D) mágneses mezőbe kerül a pont, amit a lézer besugárzott egy-egy 1-t vagy 0 -t rögzít a rendszer.

A MD rendszer csoportokba rendezve rögzített, tömörített audio adatot használ. A CD és a CD-ROM percek, másodpercek és kereteket használ. Az MD-nél felváltották az idő alapú címezést a bináris kód alapúval, ami keret (blokk) egységeken alapszik. Egy ilyen egységet (keret, blokk) szektornak nevezzük.

Egy hagyományos optikai lemezes rendszer könnyen hibázhat, ha rázkódás, vagy ütés éri. Emiatt sokáig úgy gondolták, hogy a mágnesszalagos média a legjobb megoldás kültéri használatra. Bár az autókba szerelhető CD lejátszókat mechanikai felfüggesztéssel védik a rázkódástól, a hordozható berendezésekben - mint a Walkman - bonyolult mechanikai védelmet alkalmazni, mert túl sok helyet foglal. Tapasztalatból tudjuk, hogy az ütések és a rázkódások nem folyamatosak. Ezért a MiniDisc rendszer egy az optikai pick-up és az ATRAC kódoló közé helyezett félvezető memóriát használ adat pufferelésre. Egy 4 Mbit -es memóriában kb. 12 másodpercnyi tömörített hanganyag tárolható.

A MiniDisc rendszer paraméterei		
Fő paraméterek	Audio MD	Adat MD
Kapacitás	Max. 74 perc	140 Mb
Cartridge méret	68(d) x 72(sz) x 5(m) mm	
A diszk jellemzői		
Átmérő	64 mm	
Vastagság	1,2 mm	
A középső lyukátmérő	11 mm	
A programterület kezdetének átmérője	32 mm	
A bevezető rész kezdetének átmérője	Max. 29 mm	
Pit nagyság	1,6 mm	
Kerületi sebesség	1,2 - 1,4 m/s	1,2, vagy 2,4 m/s
Optikai paraméterek		
A laser hullámhossza	780 nm	
Lencse NA	0,45	
Laser teljesítmény rögzítéskor	2,5 - 5 mW	
Rögzítési eljárás	Mágneses-mező moduláció	

Általános audio jellemzők	
Csatornák száma	Sztereo/mono
Frekvencia tartomány	5 Hz - 20 kHz
Dinamika	105 dB
Nyávgás, lebegés	Quartz precízség
Jelformátum / adatstruktúra	
Mintavételezési frekvencia	44,1 kHz
Tömörítés	ATRAC
Moduláció	EFM
Hibajavító eljárás	ACIRC
Szektor méret	2048, vagy 2336 byte
Cluster méret	32 szektor
Maximális cluster szám	kb. 2200
Maximális szektor szám	kb. 70000
Blokkméret	2 kbyte - 64 kbyte

ATRAC: Adaptive Transform Acoustic Coding

A lecsökkent tárolókapacitás ellenére szükséges volt, hogy a MD jó hangminőséget adjon és 74 perces játékidővel rendelkezzen. Ezért az ATRAC-ot úgy tervezték, hogy megfeleljen a következő követelményeknek: a 16 bites, 44,1 kHz -es sztereo audio jelet kevesebb, mint 1/5 -ére tömörítse össze a hangminőség minimális romlása mellett. Hordozható készülékekben is alkalmazható egyszerű és olcsó hardverrel is megoldható legyen a kódolás és a dekódolás.

A digitális audio jel tömörítésekor bizonyos mennyiségű zaj adódik a jelhez. A legtöbb audio kódolási eljárásnak az az alapelve, hogy az ilyen zaj idő- és frekvencia tartománybeli eloszlását úgy kezeljék, hogy az hallhatatlan legyen az emberi fül számára. Ha ez sikeres, akkor az ilyen módon előállított jel megkülönböztethetetlen lesz az eredetitől.

Az audio kódoló rendszerek általában úgy működnek, hogy felosztják a jelet különböző idő- és frekvenciatartománybeli egységekre. Ezt a felosztást használva a jelet a pszichoakusztikai törvényszerűségeknek megfelelően elemzik. Az elemzés során kimutatható, hogy mely egységek a kritikusak és ezért nagy pontossággal kódolandók, és mely egységek kevésbé jelentősek és így elviselnek némi kvantálási zajt a kívánt hangminőség romlása nélkül. Erre az információra alapozva rendelik az elérhető biteket az egyes egységekhez. A spektrális összetevőket ezután kvantálják ezeknek a biteknek a felhasználásával. A dekóderben a kvantált spektrumot visszaalakítják a bit kiosztásnak megfelelően és ezután audio jellé szintetizálják.

Az ATRAC rendszer is a fentieknek megfelelően - csak számos kiegészítéssel - működik. A pszichoakusztikus jellemzőket ugyanis nem csak a bit kiosztás során használja, hanem az idő-

és a frekvencia tartomány felosztásakor is. A bemeneti jelet nem azonos frekvencia osztásokban analizálják, és így kiemelik a fontos, alacsony frekvenciás összetevőket. Ezen kívül változó hosszúságú blokkokat használnak, ami a bemeneti jelhez igazodik. Így a statikus részek is hatékonyan kódolhatók és az átmeneti, gyorsan változó részekre nem pazarolják az időbeli felbontást.

2.5 Analóg és digitális soksávós rögzítés

Kezdetben a sztereó felvételeket két mikrofonnal készítették. A korábban tárgyalt intenzitásos és/vagy időkülönbséges sztereofónia volt az, amellyel két mikrofonnal két csatornán sztereó hangteret lehetett rögzíteni. Ilyenkor a keverés, mixelés két csatornán ill. két csatorna között volt csak értelmezett. Ezekkel az alap szabályozási módszerekkel a stúdiótechnológiák alatt ismerkedünk meg.

A többcsatornás rögzítés azt jelenti, hogy annyi csatornánk van, ahány mikrofonunk. Ez tipikusan 4, 8, 16, 24, 48 stb. csatornaszámok szoktak lenni. Ha pld. 16 csatornás rendszerünk van, akkor kell 16 mikrofon, ahhoz 16 erősítő (illetve egy 16 csatornás mikrofonerősítő), 16 csatornás „keverőpult” és 16 csatornás rögzítő. Utóbbi lehet analóg és digitális, szalagos vagy mágneslemezes. A szalagosokat lineáris editoroknak is nevezzük, hiszen a hozzáférés az adatokhoz, a csatornák egyes részeihez soros módon történik: oda kell csévélni a szalagot. Ez nagyon sok időbe telik és pontos idő kód szinkronizációt igényel. Lineáris editor tehát lehet analóg és digitális is, de mindenképpen szalagos. A nem lineáris editorok ennél jobbak, ez a szinonimája a hard-disk alapú merevlemezes rögzítőknek. A PC otthon is ilyen eszköz.

Az ilyen felvevőknek (szalagos esetben) annyi lejátszó, felvevő és törlőfeje van, ahány csatornán dolgozik. A hozzá tartozó szalag is lényegesen vastagabb a megszokottnál, mert párhuzamosan több csatorna fut.



Régimódi, 24-sávós analóg Ampex magnó. Baloldalon látható a törlőfej, középen a kombinált felvevőfejek, jobbra a lejátszófejek. A felvevőfej kettős feladatú: adott sávot rögzít, a többi lejátsza (ún. szinkronfej).

A többcsatornás felvételeknél nagyobb a hangmérnök szabadsága és munkája. A sztereó hangkép nem a felvétel során áll elő, hanem a hangmérnök keveri ki a keverőasztalnál a felvett csatornákból. Jellemzően több csatornát visz el a dobfelszerelés, hiszen külön mikrofont kaphatnak a lábdobok, a pergő, a tamok, a cintányérok, akár 8-10 csatornát is elvihet egy hangszer. Minden gitáros, fűvós, az énekes(ek), vokalisták is külön csatornát (mikrofont) kapnak, ehhez jöhetnek még egyéb effektek...hamar elfoglaljuk a csatornákat.

A nagy előnye a dolognak, hogy nem kell egyszerre zenélni, az énekes pld. már a kész instrumentális felvételre énekelhet rá. A többi zenésznek jelen sem kell lenni. Hasonlóan, ha valaki elront valamit, akkor elég az ő sávját, az ő hangszerét újra rögzíteni. Ezt rájátszásnak nevezzük. A rájátszás során az aktuális rögzítendő hangszeren játszó zenész fejhallgatón kapja a már meglévő anyagot, tipikusan a ritmust. Ez lehet a rögzített dob-track, vagy metronóm. A lejátszás és a elvétel szinkronizálása nagyon fontos feladat, de a digitális tárolásnál a mintánkénti eltolás sem jelent problémát. Különösen az énekes szokott többször próbálkozni, és akár tucatszor is feléneklí ugyanazt a számot, majd kiválogatják belőlük a legjobban sikerült részeket.

Az utólagos korrekciós lehetőségek is szélesebbek: nem kell az egész felvételt, elég az adott sávokat változtatni, vágni, erősíteni, sebességet változtatni effektekkel dúsítani. Mióta az elektronikus vágás és a digitális felvételek elterjedtek, olyan lehetőséget kapott a hangtechnika (is), ami mindent megváltoztatott. Kellően nagy tárolókapacitás esetén (márpedig pár GByte igazán nem akadály akár az otthoni PC-ben sem) az eredeti felvétel elrakható és arról másolat készíthető minőségromlás nélkül. Így ha az utómunka (mixing and mastering) során valami nem úgy sikerül, ahogy terveztük, hiba csúszik bele, vagy csak egyszerűen nem tetszik a végeredmény, egy gombnyomással „visszacsínálhatjuk”. Ezt a funkciót undo-nak nevezzük. Régebben, amikor ollóval vágtuk az analóg szalagot, erre nem volt lehetőség és a másolatok sem voltak egyenértékűek az eredeti felvétellel.

Először az álvideó rendszerek jelentek meg, a mágnesszalag tette lehetővé a független csatornák kezelését. A csatornaszámmal együtt a szalag szélessége is növekedett (4 sávhoz 1 collos szalag, 24 sávhoz már 2 collos kellett). Manapság minden non-lineáris hard-disk alapú. Ez nem feltétlenül jelent számítógépet, pláne nem (zajos) PC-t. A hard-diskes rögzítők lehetnek külön egységek, adott csatornaszámmal, és kezelőgombokkal az előlapon (rack-be illeszthető változatok), sőt akár szalagos egységet is tartalmazhat a szállíthatósághoz. Tipikusan azonban valamelyik szabványos interfész-protokollt használják, legyen az AES/EBU, DASH, A-DAT, PCM WAVE stb.





Fostex D-90-es, nyolc csatornás merevlemez digitális rögzítő A-DAT interfésszel és SPDIF ki/bemenetekkel, 1.3GByte-os SCSI merevlemezrel.

A modernebb változatok valóban számítógép alapúak és jobb minőségű, megbízható, gyors vinciesszterekkel dolgoznak (UltraWide SCSI II). Általában célhardver készül, azaz nem PC alapú a számítógép, hanem Apple, Macintosh, Silicon Graphics (különösen, ha képkezelés is van benne), beépített speciális feldolgozó „hangkártyával”. Ezek aztán nagy méretű monitorokhoz kapcsolódnak, és egerrel, ill. speciális billentyűzettel kezelhetők.

A mai olcsó számítógépek már lehetővé teszik a meglehetősen jó minőségű PC feldolgozást is. Ehhez általában nagyobb háttértár és speciális hangkártya szükséges. Egy ilyen számítógép pár százezer forintból is megoldható. A szoftverek általában kezelnek 8-16 csatornát (az egyszerűbbek is), de a kártyákon ennyi bement nem fér el. Ezért az ilyen jelfeldolgozó kártyákhoz ún. break-out box-ot is adnak, mely tartalmazza a ki/bementeket, és a kártyával egyetlen komplex csatlakozóval érintkezik. A platform tipikusan MS Windows, de Macintosh alá és Linux, Unix környezethez is létezik verzió. Professzionális megoldásokat nyújt pl. az Adobe, mely a Premiere képfeldolgozó szoftvere köré teljes körű effektezést (After Effects), többcsatornás hangfeldolgozást (Audition), Dolby Digital és dts plug-ineket, egyszerű import/export funkciókat, közvetlen DVD írást (Encore DVD) stb. tesz lehetővé, elérhető áron.

2.6 Lézerlemez rendszerek

A lézerlemez rendszerek közé az optikai beírás és kiolvasás elvén működő eszközöket soroljuk (a MOD lemez ezért külön került). Gyakorlatilag az alpnak számító CD (CD-Audio) és a DVD kerül röviden bemutatásra.

A technológiai fejlődés során eljutottunk az analóg berendezésektől a digitális felvevőig, amelyek igazi forradalmukat a hordozó leváltásakor élték meg. A kezdeti lépésekben sok volt a hibrid berendezés, mely igyekezett megtartani a kompatibilitást az analóg szalagos magnókkal (deckek, videók), vagy a rögzítés elvében (R-DAT, DASH). A mágneses elven történő rögzítés és archiválás a lézerlemezekkel ért véget, hisz ezek jobb minőségűek, hosszabb élettartamúak és jobban kezelhetők. A lézeres letapogatás nem érintkezik mechanikailag a hordozóval, nem károsítja azt, nincs önlemágnesesződés és egyéb külső zavar, valamint párhuzamos hozzáférésűek. Kezdetben az egyetlen hátrány a házi rögzítés hiánya volt, gyakorlatilag a kilencvenes évek közepétől, de inkább végétől állt rendelkezésre az otthoni felvétel lehetősége (CD-R/W, DVD-R/W).

A köztes időszakban eleve bukásra ítélt koncepciók születtek, mint pl. a DCC, a MiniDisc és az R-DAT is csak a stúdiókban terjedt el. Ez nem jelenti azt, hogy pl. a MD ne lenne egy használható formátum, csak annyit, hogy drága, nem kompatibilis semmivel és veszteséges

kódolásával semmivel nem nyújt többet, mint az MP3 (sőt...), valamint lényegesen több műsoridő sem rögzíthető rá, mint egy CD-re. Világos volt, hogy a következő lépés a házi használatú CD írók lesznek, és mivel manapság egy író ára a lejátszóknál is olcsóbb, a legalapvetőbb számítógépeknek is alapfelszereltség, a tömeges elterjedés manapság már a DVD-R/W-nél tart. Azonban a szabványháború a DVD-R és a DVD+R között még eldöntetlen.

2.6.1 CD

A lézerlemezek közül, elsősorban a CD-vel és DVD-vel fogunk foglalkozni fizikai szinten és kódolástechnikailag is. A gyártás során fotoreziszt exponálással állítják elő a spirálisan haladó pit-sort a lemezeket, azaz fénytechnikai megvilágítással. Az elv hasonló a bakelit lemezeknél is használt apa-anya-fiú lemezek nyomásával, csak ott ez mechanikai préselés volt, itt pedig fénnel megvilágítás. Ehhez egy lyukmaszkra van szükség, ami fényvisszaverő részekből és rajta vágott lukakból áll. Ezt ráragasztják a lemez felületére és megvilágítják olyan fénnel, melynek hatására a lyukakon átjutó fény „buborékot” éget az erre érzékeny anyagba és így hozza létre a pit-eket.

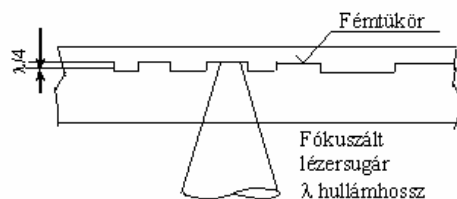
Beírás	Tárolás	Kiolvasás
Csak olvasható Fotoreziszt exponálás	Mélyedések	Hulláminterferencia (!)
Egyszer írható Polimer-hevítés	Buborék = „1”	Reflexióváltozás
Egyszer írható Anyagszerkezet-átalakítás	Kristályszerkezet megváltozása (tellúr-szuboxid hőre elveszíti visszaverő képességét)	Reflexióváltozás
Törölhető Mágneses irány megfordítása	Mágneses buborék Melegítésre töröl	Polarizációs sík forgatása
Törölhető Anyagszerkezet-átalakítás	Kristályszerkezet megváltozása (λ_1 lézer amorf, λ_2 lézer felírás)	Reflexióváltozás

A CD gyártásban manapság a kiindulás egy 17 cm átmérőjű kb. fél cm vastag üveglap. Elvárás, hogy mikrométer pontossággal sima legyen mindkét oldala, ha nem (interferométerrel ellenőrzik), akkor visszaküldik polírozásra.

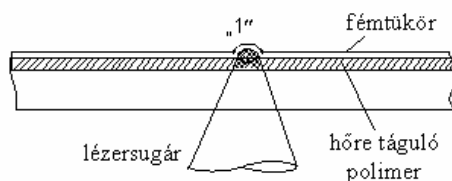
Ha jó, bekerül a vágókamrába. Ez egyben több technológiai lépést is megvalósít. A helység, ahol ez található ún. 100-as tisztaságú (a normál levegő kb. 100000-es tisztaságú, ennyi porszem engedett meg adott térfogatban). A dolgozók védőruhát, maszkot és hajvédőt viselnek, a helységekben gyakran sárga a fény. Ennek oka, hogy ebben a legkevesebb a kék szín, amire érzékeny a fotoreziszt anyag.

Az üveget nagyon pontosan és egyenletesen kell bevonni fotoreziszt (pozitív maszk) anyaggal. A gépben kéklézerrel megvilágítják ott, ahol mélyedéseket akarnak létrehozni. Az így elkészült felületet nikkellel (korábban ezüsttel) vékonyan bevonják, ebből lesz a nyomólemez (stamper). Végül ezt a nikkelréteget vastagítják, amely már tartalmazza a mélyedéseket és elég kemény, valamint visszaverő is. A legfelső felületét ezüstös-vanádiummal vonják be, amelynek jó a visszaverőképessége.

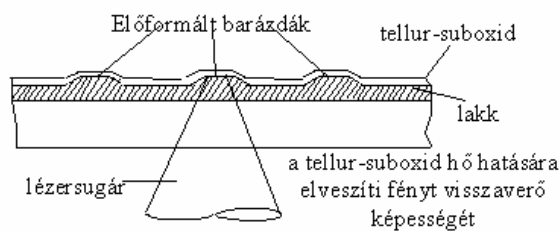
	Beírás	Tárolás	Kiolvasás
Csak olvasható	1. fotoreziszt exponálás	mélyedések	hullám- interferencia



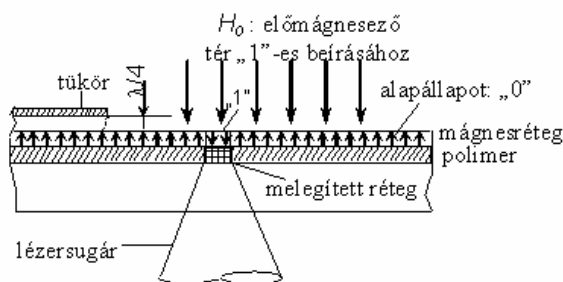
Egyszer írható	2. polimer- hevítés	anyagbuborék	reflexió változás
----------------	------------------------	--------------	----------------------



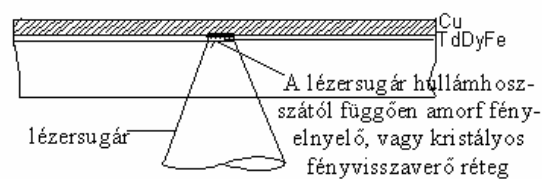
	3. anyagszerkezet átalakítás	kristály szerkezet	reflexió változás
--	---------------------------------	-----------------------	----------------------



Törölhető, sokszor írható	4. mágnesezési irány átfordítás	mágneses buborék	polarizációs sík forgatás
------------------------------	------------------------------------	---------------------	------------------------------



	5. anyagszerkezet átalakítás	kristály szerkezet	reflexió változás
--	---------------------------------	-----------------------	----------------------

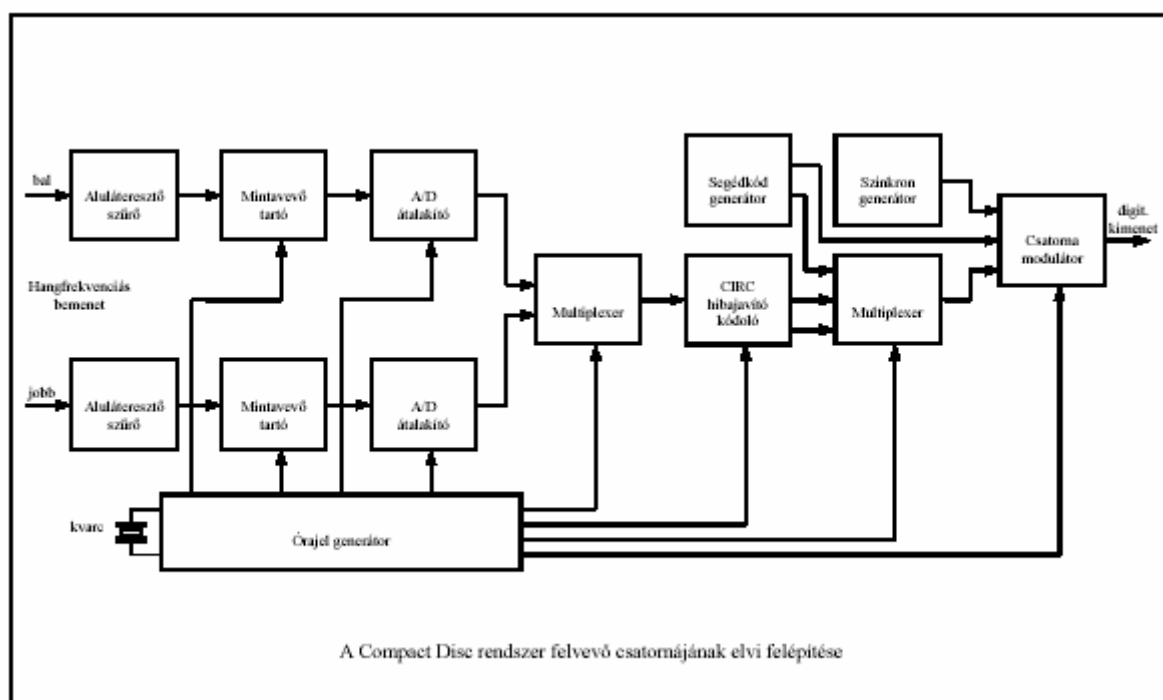


CD változatok.

A CD felvétel során hangfrekvenciás jel érkezik a bal és a jobb csatornán az A/D átalakítóba. Ezt 20 kHz-es határfrekvenciájú AAF aluláteresztő szűrőn engedik át, nehogy a mintavételi frekvencia felénél nagyobb komponensek kerüljenek a feldolgozóba. A mintavételezés 44100 Hz-en, a kvantálás 16 biten történik. Ettől eltérni nem lehet, ha korábban túlmintavételezés és/vagy nagyobb bitszámú folyamatok voltak, a lemezre akkor is ennek kell kerülnie.

A 16 bites jelfolyam (a lineáris PCM jel, ez gyakorlatilag WAV fájl) egy multiplexerben kerül össze, amely a bal és a jobb csatornát egyesíti egyetlen bitfolyammá. A multiplexerből 8 bites szavak lépnek ki. Három ilyen nyolcbites szó (összesen 24 bit) kerül egyszerre a CIRC (Cross Interleave Reed Solomon Code) hibajavító kódolóba. A kódoló ún. C1 és C2 jelű paritás szimbólum képzővel rendelkezik, amelyek 4 darab Q és 4 darab P jelű bittel bővítik ezt a 24 bitet. Ennek eredményeképpen 32 bit fog kilépni belőle, megfelelően „összekeverve”.

Az újabb multiplexer adja a bitfolyamhoz a segédkódokat, keretformátumot stb. Az EFM csatornamodulátor végzi a csatornakódolást és adja a keretekhez a szinkron biteket. A kész bitfolyam NRZI beírással kerül a lemezre.

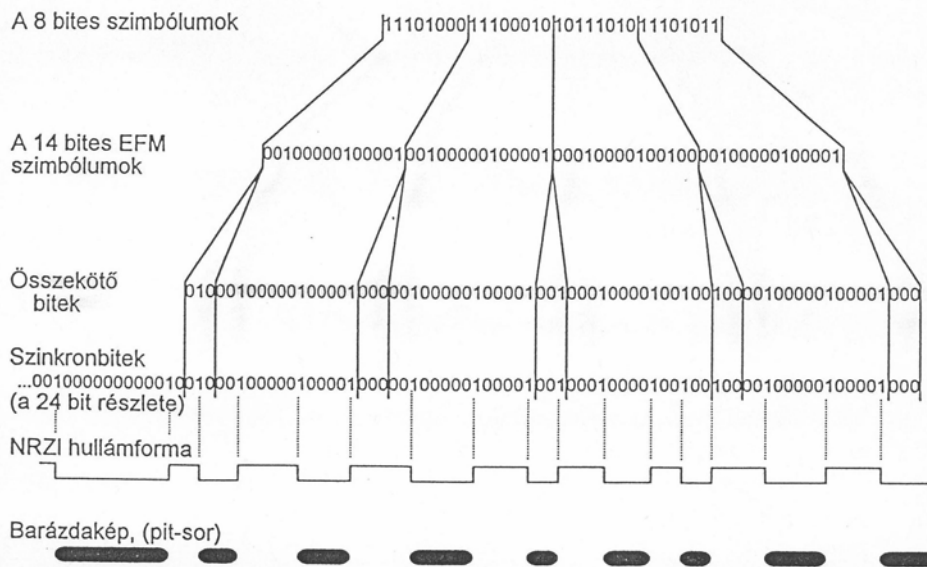


Ahogy már említettük korábban, a csatornakódoló a „hordozóhoz illeszti” a bitfolyamot. Ilyennel találkoztunk az R-DAT-nál is, csak ott nem EFM hanem ETM volt a neve. Előbbi az eight-to-fourteen (nyolc a tizennégyhez) míg utóbbi az eight-to-ten (nyolc a tízhez) modulációt hajtja végre. Elvük ugyanaz: a bemenetre érkező nyolcbites szóhoz (akármit is jelentsen az) egy tizennégy (illetve a másik rendszer egy tíz) bites szót rendel, lecseréli azt. Ezzel redundanciát visz a rendszerbe, hiszen 8 bit helyett 14-et kell tárolni. Az előnye azonban a hibajavításnál van, hiszen míg a teljesen kihasznál 8 bites szavakból 256 van, 14 bitesekből ennél 2^6 -szor, azaz 64-szer több. Ebből azonban mi továbbra is csak 256 darabot fogunk felhasználni, de ügyesen kiválogatjuk előbb a „legjobb” 256 darabot. A CD elve az, hogy bármelyik kódszó között ilyenkor legalább 3 bitnyi különbség (Hamming-távolság) legyen. A maximumra is van korlát: 11-nél nagyobb távolság sem megengedett (a szinkron bitek miatt). Ezt meg is lehet tenni, ki tudunk választani 256 darab 14 bites kódszót, amire ez igaz. Ha tehát bithiba történik, azt felismerhetjük és javíthatjuk is. Az alábbi táblázat néhány példát mutat a kódszavak megfeleltetésére, magyarul a kódolás nem több, mint egy táblázat két oszlopának összevetése.

Az EFM (Eight to Fourteen Modulation) kódolás

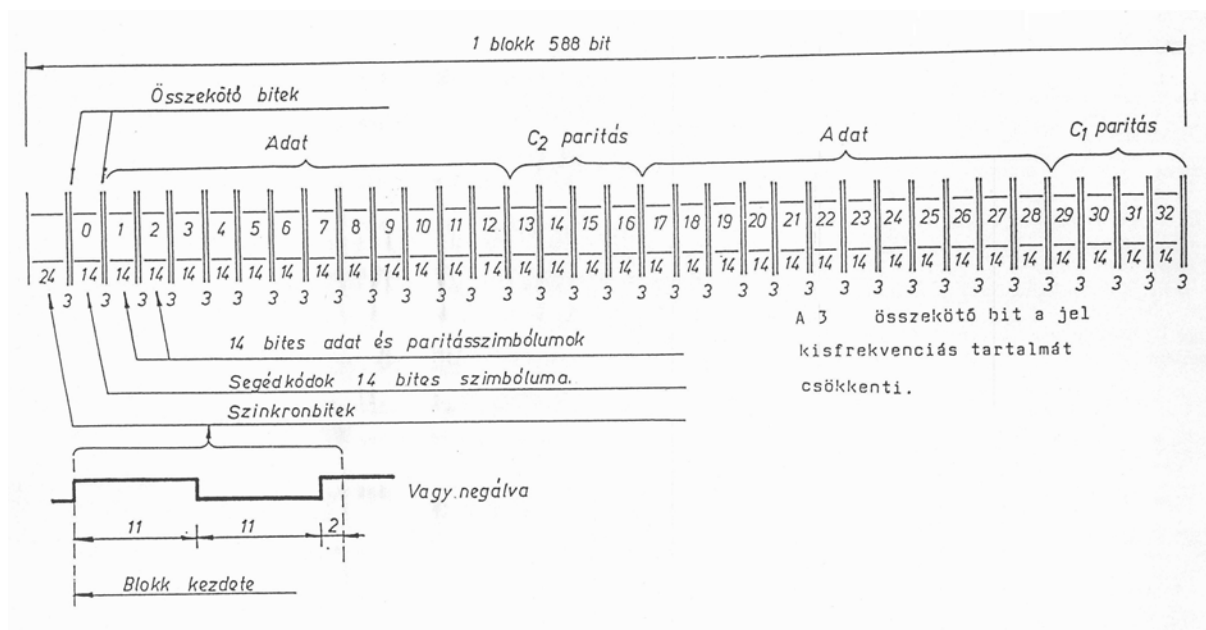
	Adat szimbólumok	Csatorna szimbólumok
0	00000000	01001000100000
1	00000001	10000100000000
2	00000010	10010000100000
3	00000011	10001000100000
4	00000100	01000100000000
5	00000101	00000100010000
6	00000110	00010000100000
7	00000111	00100100000000
8	00001000	01001001000000
9	00001001	10000001000000
10	00001010	10010001000000

A kódoló táblázat



A csatorna szimbólumok konvertálása a barázdába

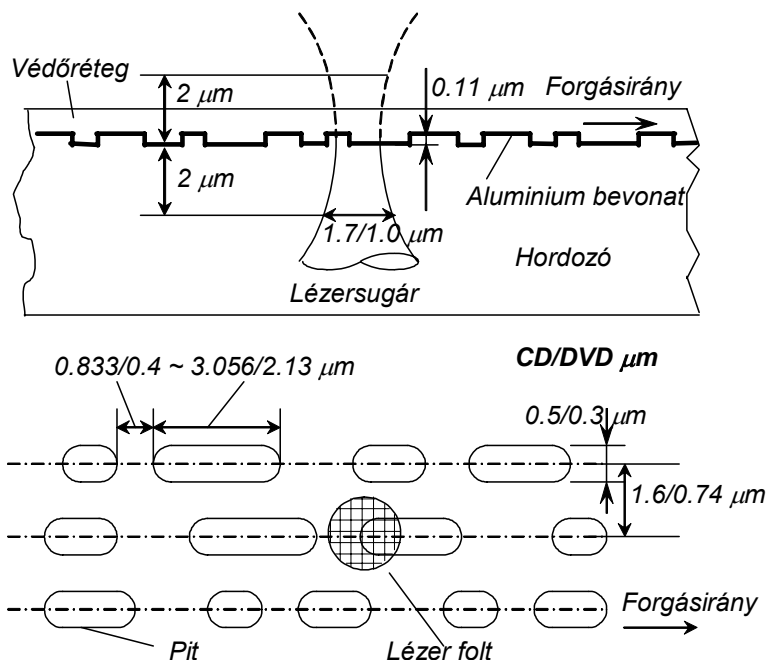
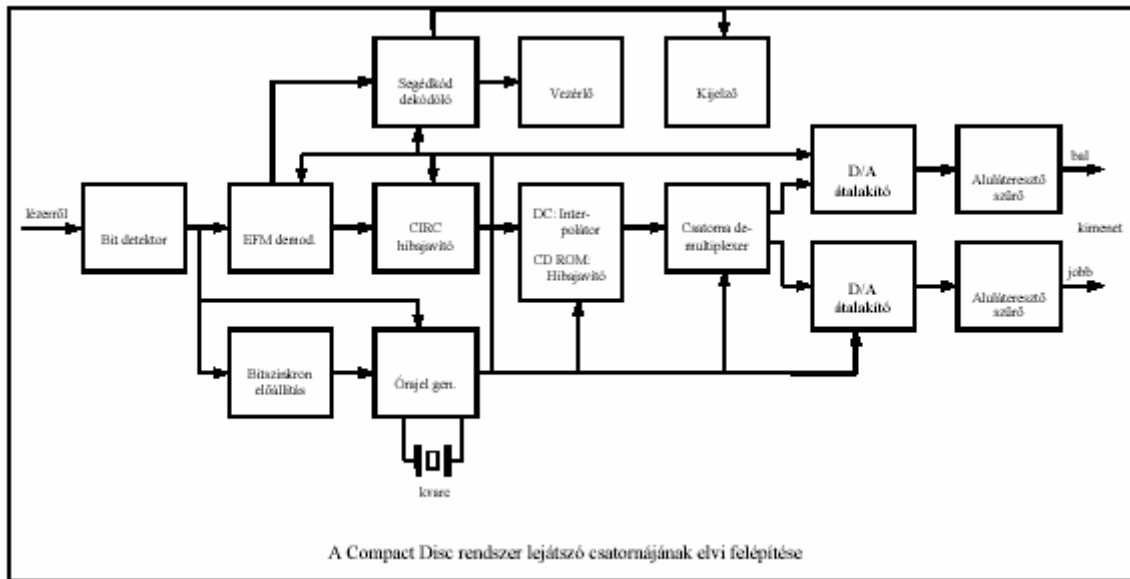
A csatorna blokk tehát 32 darab 8 bites szimbólumból áll. Az EFM modulátor ezeket 14 bitesre cseréli le. Az utolsó lépés, az ún. kisfrekvenciás segédbitek, amelyek 3 bitből állnak és minden 14 bites szó közé bekerülnek. Ezek célja csak az, hogy megelőzzék a túl hosszú 1-ből és/vagy 0-ból álló sorozatokat. Az ugyanis nem garantált, hogy két 14 bites szimbólum találkozásakor az első vége és a következő eleje ne adjon ki 11 bitnyi 0 vagy 1 sorozatot. Ez ugyanis nem megengedett, a 11 bites 0 és 1 sorozat a szinkron jel, mely a blokk elején fordulhat csak elő. Ha tehát ilyet észlelünk, akkor olyan kitöltő biteket kell közéjük illeszteni, ami ezt megszünteti. Ezért is nevezik a bit-korlátot CD-nél háromnak és 11-nek, ennél kisebb ill. nagyobb különbség két kódszó között nem lehet. A szinkron 24 bitje tehát 11-11 darab egyesből és nullából + 2 bitből áll, ami a keret elejére kerül – így adódik ki az 588 bit.



A CD audió blokkstruktúrája.

A redundancia tehát a hibajavító, csatorna, szinkron kódokkal kb. háromszorosa a hasznos hangadatoknak. Míg a lineáris PCM sztereó hangminták 1,44 Mbps-et foglalnak el, a beírásra került adatfolyam már 4,3 Mbps sebességű.

A kiolvasás (lejátszás) elve a hulláminterferencia. A hordozó műanyag (poliakrilát) törésmutatója pontosan 1,5. A beeső lézer 30 fokos szögben érkezik, amely 20 fokos törési szögben folytatódik a hordozóban. A fókuszálás a hordozón áthaladva a tükrös felületre van beállítva. A kiolvasandó felület tehát a címke oldalán van a lemezen, belül. Nem csak a pite (mélyedések), hanem a land-ek (normál felületek) és a spirálok közötti „senkiföldje” is tükröz, visszaveri a lézert. A mélyedések mélysége pontosan szabályozott: a kiolvasó lézer hullámhosszának ($780\text{ nm}/4$) a negyede. A beeső lézerrel tehát két dolog történhet: vagy nem lát mélyedést és úgy verődik vissza, vagy igen, és akkor a mélyedés aljáról. Utóbbi esetben a $\lambda/4$ mély gödörből visszaverődve, összesen $\lambda/2$ útkülönbséggel hosszabb utat fog bejárni ahhoz képest, mint a mélyedésből verődne vissza. Ha tehát ezek után a visszavert sugarat egyesítjük és hozzáadjuk az eredeti beesővel, akkor vagy kioltást, vagy maximális erősítést kapunk. A $\lambda/2$ útkülönbség ugyanis pontosan ellenfázisnak felel meg. A két hullám egyesítése és összeadása tehát közönséges hulláminterferencia – innen a kiolvasás elvének elnevezése. A barázda sor melletti rétegek tükröződését egyéb beállításokra (sávkövetés, fókuszálás) használhatjuk fel. Nem is egy lézert használnak, hanem hármat (két segédfolttal), melyek iránytartása segít a barázdakövetésben.



A CD és a DVD sávkövetése, kiolvasási elve.

Lejátszáskor a felvételi utat kell „visszacsinálni”. Először a bitszinkront kell megtalálni, majd a blokkokat. Az EFM demodulátor visszaalakítja a 8 bites szimbólumokat a 14 bitesekből (néhány hibát ki is tud javítani), leválasztja a blokkzinkront, a segédkódokat (pld. hány szám van a lemezen, milyen hosszú, TOC-kiolvasás stb.). A CIRC hibajavító ezek után elvégzi a deinterleavinget, visszarendezi a keresztátszövést és elvégzi az egyszeri hibajavítást. Ha ez sem sikerül, akkor interpolációt hajt végre: a hiányzó, helyre nem állítható mintákat megbecsüli a szomszédos hibátlanokból és azzal pótolja azt. Ez természetesen csak audio CD-nél működik, ha adat van a lemezen (CD-ROM), akkor ez nem lehetséges. Ezért a CD-ROM-ok esetén még egy plusz hibajavító kódolást tettek be, a biztonság növelésének érdekében. Ez mátrixosan rendezi el a bájtokat és járulékosan a sorok és oszlopok összegét is vizsgálja (ún. Column és Row Check Byte). Ezért aztán a blokk hosszúsága sem egyforma a két rendszernek, így adódnak a különbségek a lemezek kapacitásában.

A csatorna demultiplexer szétválasztja a bal és jobb csatornát, majd a D/A átalakító után visszkapjuk az analóg jelet. Utóbbinak része természetesen az interpoláló aluláteresztő szűrő, amely a tényleges átalakítást végzi.

A HDCD rendszerről már volt korábban szó, ez 20 bites felvételt tesz lehetővé a kompatibilitás megőrzése mellett.

Az írható és újraírható lézerlemezekenél gyakran zavaró módon tüntetik fel a tárolókapacitást. Ennek oka, hogy úgy tűnjön, mintha több férne rá, de általában annyi áll a háttérben, hogy vagy más adatstruktúrával számolnak (pld. az audio CD és a CD-ROM logikai szektorai eltérők – lásd ISO9660), vagy direkt rosszul váltják át a mega és gigabyte-okat.

Egy CD esetében a számolás így néz ki:

$2352 \text{ [byte/sector]} * 75 \text{ [sector/sec]} * 60 \text{ [sec/min]} * \text{minutes.}$

Azaz „74 perces” CD esetén ez a szám egyenlő 783216000 byte-al, ami 747 MB raw space (ha helyesen $1024 * 1024$ -el osztjuk el), de ebből csak 640 áll rendelkezésünkre. Hasonlóan a „80 perces” lemeznél a végeredmény $846720000 = 807,5 \text{ MB}$, de ebből csak 700 marad meg. A logikai szektorok mások a különböző típusokhoz, pld. a CD-ROM yellow book-ban meghatározott ISO9660-nak kell könyvtár információ, volume descriptor stb. A user block size mérete 2048 byte, amiből 2352 adat és 304 low-level-error-correction és járulékos információs bájtok.

A 4,7 GB feliratú írható DVD lemezekre sem fér rá ennyi, csak mindössze 4,35 GB. Ugyanis $4,35 * 1024 * 1024 * 1024 = 4,7 \text{ GB}$, de a feliratnál a Gigát egyszerűen 10^9 -nek vették, azaz ők úgy gondolták, hogy a lemezre $4,7 * 10^9$ byte fér el, ami igaz, csak hogy ez a szokásos számítógépes környezetünkben kevesebb, mint 4,4 Gbyte...

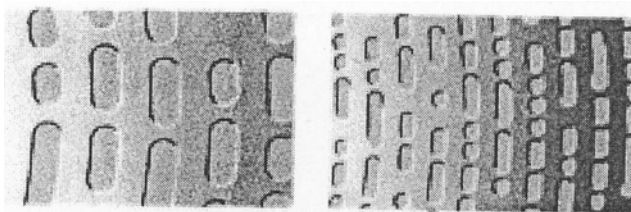
2.6.2 DVD

A DVD rövidítés feloldására két verzió is létezik: Digital Versatile Disc (sokoldalú lemez), vagy az újabb a Digital Video Disc. A cél „csak” annyi volt, hogy olyan rendszert dolgozzanak ki, ami a CD-hez hasonló, de a filmek, koncertek, magyarán a képanyag rögzítését teszi lehetővé.

A cél az volt, hogy

- megtartsák a CD-nél megszokott 12 cm átmérőjű lemezt
- A DVD lejátszók kompatibilisek legyenek „lefelé”, azaz képesek legyenek lejátszani a CD-eket (gyárit és írottat), valamint a VCD (Video CD) lemezeket is
- Ráférjen legalább egy film, extra szolgáltatásokkal, melyek a videón nem lehetségesek (pld. több nyelvű hang, feliratok, közvetlen jelenetválasztás, extrák stb.)
- Régiókódolt legyen és másolásvédett.

A probléma megoldás kettős volt: egyrészt a lemez technológiailag lett fejlettebb, sűrűbbek és vékonyabbak a pitek, így eleve több adat kerülhet egy oldalra. Továbbá, két réteget hoztak létre, amely ismét megduplázta egy oldal adatmennyiségét. Ezzel elérték, hogy a Cd mintegy 700-800 Mbyte-os kapacitását 4,7-5,1 GB-ra növelték.

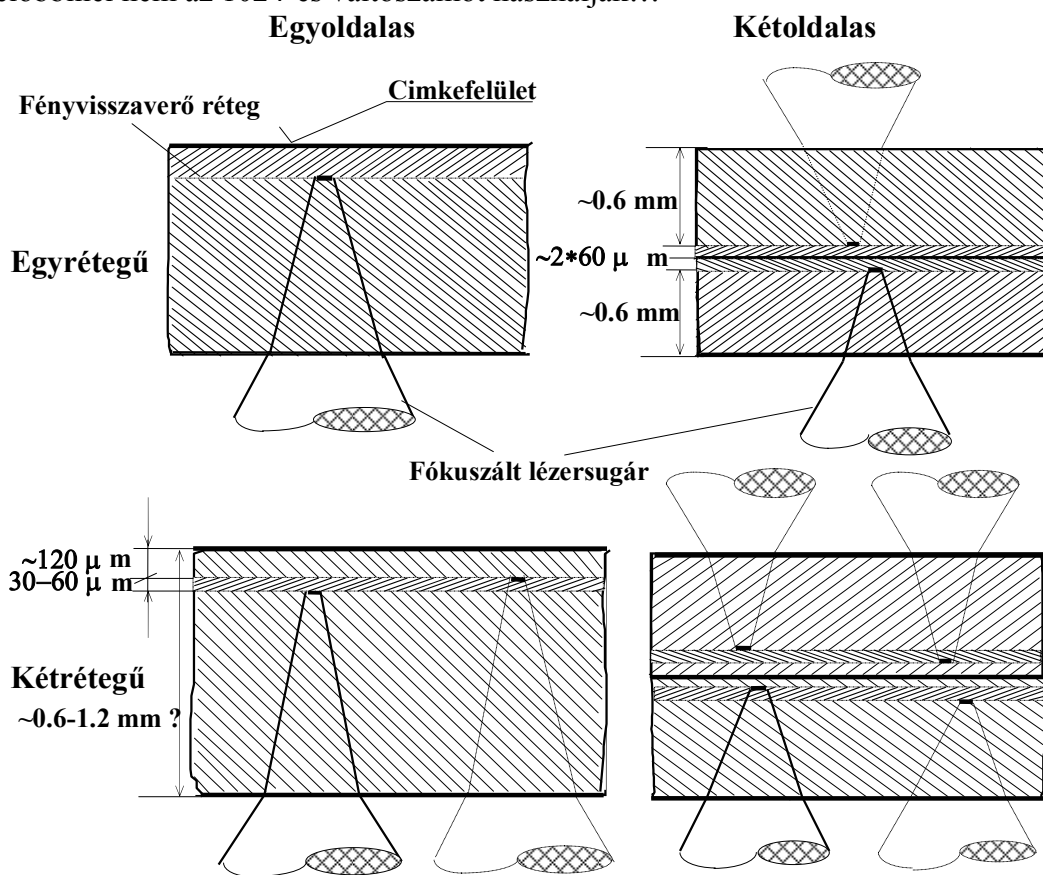


Balra a CD, jobbra a DVD pit-land struktúrája.

A kétrétegű lemezek „felső” rétege féligáteresztő jellegű, így arra a lézer nem csak ráfókuszálni tud, hanem át is haladni. A kiolvasás elve pontosan ugyanaz, mint a CD-nél, csak itt pontosabb fókusz és sávkövetés szükséges.

Lehetőség van továbbá két oldalas/két rétegű lemezek gyártására is, azonban utóbbi nem terjedt el. Ennek oka, hogy technológiailag egyszerűbb és olcsóbb két darab egyoldalas lemezt elkészíteni, és „látványosabb” is. A kétoldalas lemezen ugyanis nem lehet címke, nehezebb kezelni (pld. mivel alulról olvas a lézer, az A oldalt felfelé kell berakni, hogy alulról azt lássa a fej, azaz a betűnek ellentétesnek kell lennie a valósággal).

A DVD-knél is előkerült az írható, újraírható szabvány. Nyilvánvaló volt, hogy az otthoni VHS videózást előbb-utóbb leváltja az újraírható formátum. Erre megszületett a DVD-R és a DVD+R, sőt, a Panasonicnál a DVD-RAM szabvány is. A szabványháború tovább tart és eldöntetlen, hiszen az írók csak a saját lemezeikkel kompatibilisek, de a lejátszók mindent le kell tudjanak játszani (de pld. az MP3 lejátszás már extra szolgáltatás, nem kötelező a szabványban). 2004 végén jelentek meg az első házi használatú két rétegű DVD+R DL (dual layer) írók és lemezek. Ezek a 4,7 GB helyett már két rétegben tudnak 8,5 GB-t felírni. A méreteknél vegyük figyelembe, hogy csálnak a megadáskor: a 4,7 GB valójában 4,35 GB, mert előbbinél nem az 1024-es váltószámot használják...



DVD lemeztípusok.

A másik megoldandó probléma a bitsebesség volt, hiszen 5 GB sem elég a tömörítetlen adatok rögzítésére. Ne feledjük, hogy a színes kép sebessége 84 Mbps, a sztereó hanggé újabb 1,4 és ekkor még nincs semmiféle hibajavító kódolás! A megoldás aztán az MPEG 1 és 2 kép-és hangtömörítési eljárás lett.

A többletszolgáltatásokat ma már mindenki ismeri: interaktív, animált (mozgó) menük, amelyeket a távkapcsolón át érhetünk el, összesen 8 különböző hangsáv (nyelv) és 32 felirat helyezhető el a szabvány szerint, melyek bármelyike lehet többcsatornás tömörített (Dolby Digital, dts) vagy lin. PCM. Változó képarányok (4:3, 16:9, anamorf szélesvásznú), gyermekzár, koncerteknél különböző kameraállások, karaoke opció és kiváló képminőség tartozik a lehetőségek közé.

		DVD		CD	Egység
		8 cm	12 cm		
Lemez:	külső átmérő	80	120	120	mm
	vastagság		0.6	1.2	mm
Barázda	belső átmérő	48	48	46	mm
	külső átmérő	76 (70)	116 (110)	117	mm
	szélesség		0.3 ?	0.5	µm
	távolság		0.74	1.6	µm
	Lézer hullámhossz		350-650	780	nm
Bit hosszúság (névl.)		0.13-0.146 ?		0.278-0.324	µm
Pit hosszúság min.		0.4 - 0.44		0.83 - 0.97	µm
max.		1.87 - 2.13		2.29 - 2.67	µm
Hibajavító kód		RS		RS	
		szorzat kód		szorzat kód	
Hibajavító redundancia		13		25	%
Kapacitás		1.4, 2.6, 2.9, 5.3	4.7, 8.5, 9.4, 17.0	0.65, (CD ROM) 0.8, (Zenei CD)	GByte GByte
Csatorna moduláció		8/16		8/14	
Adat áram (netto)		11.08		1.41	Mbit/s
Adat áram (bruttó)		26.16		4.3218	Mbit/s
Lineáris barázda seb.	ER	3.49		1.2 - 1.4 (*8-16-24)	m/s
	KR	3.84		-	m/s
Visszaverődési áll.	ER	70		70	%
	KR	25 -40		-	%
KR rétegek távolsága		40 -70		-	µm
Folt méret		0.63		1	λ/NA
Fókusz mélység		0.47		1	λ/NA
Kromatikus aberráció		0.35		1	λ/NA
Szférikus aberráció		0.26		1	λ/NA

Léteznek kétrétegű és kétoldalas DVD-k is. A DVD szabvány lehetővé teszi, hogy egy lemez azonos oldala két réteg információt tartalmazzon, amelyet a lejátszó külön-külön képes olvasni. Ez azt jelenti, hogy

az egyrétegű, egyoldalas lemez 4,7 GB
a kétrétegű, egyoldalas lemez 8,5 GB
az egyrétegű, kétoldalas lemez 9,4 GB
a kétrétegű, kétoldalas lemez 17 GB
adat tárolására alkalmas.

A videotömörítés a DVD sikerének a kulcsa. Mivel egy másodperc filmanyag tárolásához 21 megabyte memóriára van szükségünk, tömörítés nélkül az egyrétegű, egyoldalas lemezre egy 4 perces filmet tudnánk felvenni. A DVD az MPEG-2 videotömörítést alkalmazza.

Az MPEG-2 egy kifinomult tömörítési technológia, amelyet a **Motion Pictures Expert Group** (Mozgóképek Szakértők Csoportja) fejlesztett ki. Számos algoritmust tartalmaz, amelyek a videoképeket ismétlődés és redundancia szempontjából vizsgálják. Ezzel lehetővé válik a lejátszáshoz szükséges adatok nagyságrendekkel történő csökkentése. Minden DVD lejátszó belsejében található egy MPEG-2 dekóder chip, amely a film kitömörítéséről gondoskodik a lejátszás során.

A kétrétegű lemezen az adatok ugyanazon oldalon két rétegben találhatók. Az egyik réteg félig átlátszó, hogy a kiolvasófej a másik réteget is olvashassa. Ezzel a módszerrel 4 óra filmanyag tárolására nyílik lehetőség. Kétféle kétrétegű lemez létezik - PTP - ahol a második réteg párhuzamosan fut az első sávval és OTP, ahol a második réteg ellentétesen fut az első sávhoz képest. Minden lejátszó és meghajtó tudja olvasni a kétrétegű lemezeket. A kétoldalas lemezek lejátszásakor azonban manuálisan kell fordítani a lemezt.

A CD-hez hasonlóan az elhanyagolható karcolásokat automatikusan javítja a rendszer és nem jelentkezik a képernyőn. A nagy adatsűrűség miatt sokan gondolják, hogy a DVD lemezek érzékenyebbek. Igaz, hogy négyszeres az adatsűrűség, de tízszeres hibajavítás bőven elegendő ennek ellensúlyozására. Ennek ellenére a DVD-ket óvatosan kell kezelni, mert egy komolyabb karcolás kép- és hanghibát okozhat.

A stúdiók tudatosan más méretű tokban forgalmazzák a DVD-ket, hogy ezzel is jelezzék ezek a lemezek nem CD játszóra valók.

Két különböző módon lehet a DVD-n a képanyag: 4:3 formátum (normál TV méret) vagy 16:9 (szélesvásznú). A 16:9 formátumnál a képet vízszintesen összenyomják, hogy belefértjen a 4:3 arányú téglalapba. A DVD lejátszó négy különböző módon tudja visszaadni a képet :

teljes képméret (4:3 video, 4:3 képernyőre)

letterbox (16:9 video, 4:3 képernyőre)

pan & scan (16:9 video, 4:3 képernyőre)

szélesvásznú (16:9 video, 16:9 képernyőre)

A letterbox azt jelenti, hogy a videót a moziban bemutatott képarányban mutatják be. Ez általában 1.85:1 vagy 2.40:1 arányt jelent. Mivel ez szélesebb, mint a normál 4:3 TV a képernyő alsó és felső szélén sötét csík látható. A pan & scan azt jelenti, hogy a kisebb TV ablak pásztáz és zoom-ol a szélesebb mozivászon képéből levágva a széleket. Sok filmet teljes méretű TV képaránnyal vesznek fel és filmbemutató során takarják le az alsó és felső széleket. A video átírásnál nyílik lehetőség a pan & scan eljárással a teljes képanyag megjelenítésére.

Ha csak pan and scan megjelenés van, annak az lehet az oka, hogy az adott filmről nem készült letterbox átírás. Az átírás költsége nem csekély (50.000 és 100.000 \$ között) ezért a stúdiók nem minden film esetében teszik ezt meg. Egyes esetekben az eredeti film vagy a jogok nem állnak rendelkezésre az átírás elkészítéséhez. Számos régebben készült film esetében nem készült szélesvásznú verzió.

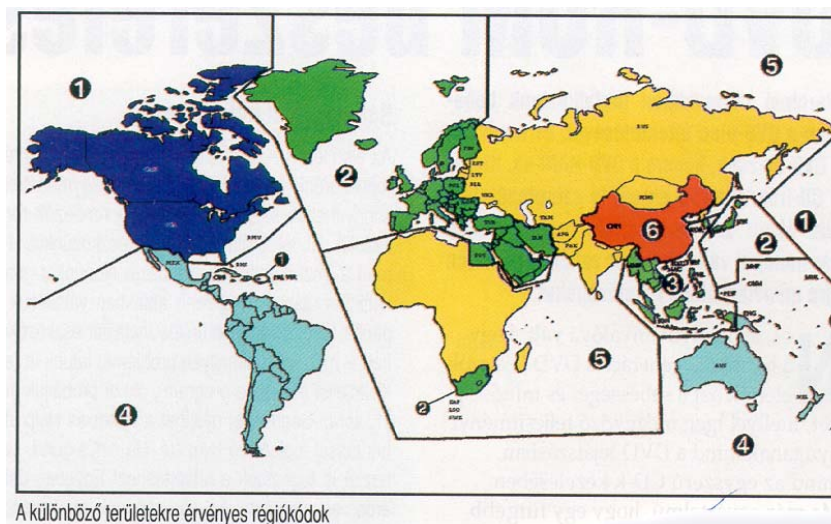
Egyes készülékek csak NTSC lemezeket, mások csak PAL lemezeket játszanak le. Az európai készülékek döntő többsége kétnormás és mindkét szabvány lemezeit lejátszák.

Mivel a filmek országonként különböző időpontokban jelennek meg, a stúdiók nem érdekeltek abban, hogy az éppen futó film DVD már megvehető legyen az adott országban, ezért a lemezeket kódokkal látják el, amit csak az adott régió számára előállított készülékek képesek lejátszani. (A stúdiók álláspontja nem indokolt, hiszen számos felmérés bizonyítja az emberek először megnézik a filmet a moziban és akkor veszik meg DVD-n ha tetszett nekik.) Egyes stúdiók korábban azt állították, hogy csak az újdonságok jelennek meg kódolva, de

ezidáig a filmek nagy része területi kóddal van ellátva. Léteznek 0 kódú lemezek is elsősorban a zenés lemezek között.

A hat régió :

1. Egyesült Államok, Kanada
2. Japán, Európa, Dél-Afrika, Közel-Kelet és Egyiptom
3. Dél-Kelet Ázsia, Kelet Ázsia (Hong-Kong)
4. Ausztrália, Új-Zéland, Csendes óceáni szigetek, Közép és Dél Amerika
5. Korábbi Szovjetunió, Indiai szubkontinens, Afrika, Észak Korea, Mongólia
6. Kína



2.6.3 Új DVD-szabvány születik

Kilenc multinacionális konszern állt össze a méltán sikeres DVD következő, mintegy hatszor nagyobb kapacitású változatának szabványosítására. A **Blu-ray** lemezek a jelenlegi 4,7 GB helyett 27 GB adatot bírnak tárolni, azaz filmre átszámítva, VHS-minőségben 133 perc helyett 13 óra fér az új DVD-kre.

Az új szabványt közösen dolgozta ki a Hitachi, az LG, a Matsushita, a Pioneer, a Philips, a Samsung, a Sharp, a Sony és a Thomson, hogy végre eltűnjön a vásárlók életét megkeserítő, 70-es évek óta tartó szabványháború.

Egyre több család szerez be otthonra video helyett DVD-lejátszót, a következő lépés pedig a várakozások szerint az asztali DVD-felvevők térhódítása lesz. A digitális televízió (HDTV) műsorainak rögzítéséhez pedig szükség lesz a megnövelt tárhelyre, ezekből az adásokból ugyanis a 27 GB-ra is csak két óra fog felférni.

A Blu-ray lemezek a kék lézerről kapták nevüket. A vörös lézert leváltó technológia jóval nagyobb sűrűségben képes jeleket préselni a hagyományosan 12 centiméter átmérőjű korongokra. A Blu-ray lemezek természetes evolúciója lesz az egyrétegű, 30 GB-os lemez, majd a kétrétegű 50GB adatot felhalmozó változat.

A rövidsugarú ibolyakék lézer egy 0,1 milliméter vastagságú optikai hordozólemezen keresztül olvassák be a 0,32 μm sűrűséggel rögzített jeleket, így a hagyományos DVD-khez képest csökkent a rázkódásból adódó leakadás veszélye. A Blu-ray lemezek MPEG-2 Transport Stream video- és hangtömörítési szabványt használnak, emellett egyéni azonosítót kapnak magasfokú másolásvédelmi funkcióként.

A Dolby is tartja a lépést a formátummal, a HD-DVD és a BR lemeze is támogatják az új, DD+ (Dolby digital Plus) eljárást, melyet a DVB adásokba is beépítenek. Kompatibilis, így a DD+ filmek dekódolhatók normál DD dekóderrel is, kis bitsebesség mellett is képes többszörös hangra (interneten át is), és akár 13.1 hangra is...

Létező újdonság továbbá a DualDisk, amely olyan korong, hogy annak egyik fele normál CD, a másik pedig DVD. Így egy lemezzel megoldható ugyanannak az albumnak CD és DVD-A kiadása is, vagy a DVD oldalra extra kép és szöveges információ rakható.

A Buffalo cég kék lézert alkalmazó professzionális optikai meghajtót dobott piacra, amelynek segítségével legfeljebb 23,3 GByte adat rögzíthető egyetlen "Professional Disc for DATA" típusú lemezre. A felhasználási területnek megfelelően a technológia a Blu-Ray szabványnál nagyobb adatátviteli (9 MB/s írási, 11 MB/s olvasási) sebességet biztosít. A BR-PD23U2 jelzésű készülék USB 2.0 interfészen keresztül csatlakoztatható a számítógéphez.



SONY Blue-ray lemez és külső író.

A Blu-Ray Disc Association döntése értelmében a BD-ROM, amely a HD-DVD mellett a DVD-technológia egyik esélyes utódja, támogatni fogja az MPEG-2 tömörítésen kívül a H.264 (MPEG-4 AVC High Profile) és a Microsoft VC-1 kodekeket is – közölte a Panasonic képviselője. Korábban a DVD Forum, illetve a Blu-Ray specifikációért felelős szervezet több tagja sem akarta a Microsoft – VC-9-ként ismert – kodekjét elfogadni mindaddig, amíg az nem válik nyílt szabvánnyá. A Microsoft ezért úgy döntött, hogy benyújtja szabványtervezetét a Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) grémiumának, amely végül VC-1 néven iktatta azt. A VC-1 technikailag megegyezik a WMV-HD-vel, és jó tömörítést biztosít nagy (720p és 1080i) felbontású videoanyagok számára is. Tekintve, hogy a Microsoft kodekjét immár mind a Blu-Ray Disc, mind a HD-DVD támogatja, a két formátum közötti háború kimenetele már nem nagyon izgatja a redmondi óriást – mindenképpen licencciját fog kasszírozni. A Blu-Ray Disc és a 2008 tavaszán eldőlt, a HD-DVD vesztésként került ki belőle. Ez leginkább a marketingstratégián, a lejátszókészülékek választékán, a gyártókapacitáson és az előállítási költségek leszorításán múlt. A kodekek azonossága ugyanakkor megkönnyítheti olyan hibrid lejátszók készítését, amelyek mindkét adathordozót képesek kezelni. A DVD Forum elfogadta az 1.0-ás High Definition DVD specifikációt. A High Definition DVD formátum a DVD Forum seattle-i találkozáján elnyerte az irányító testület támogatását, ezzel gyakorlatilag szabvánnyá emelkedett a kék lézeren alapuló technológia. A korábban Advanced Optical Diskként (AOD) ismert HD-DVD azonban nem marad konkurens nélkül. A Blu-Rayt egy, többek között a Dell, a HP, a Matsushita, az LG Electronics, a Philips, a Samsung, a Pioneer, a Hitachi és a TDK által alkotott csoport támogatja, amelyet a Sony vezet. A HD-DVD fejlesztésében az NEC és a Toshiba a mértékadó. A DVD Forum egységesítő törekvései ellenére várhatóan megmaradnak a párhuzamos formátumok, ám ez nem újdonság a szervezet történetében, hiszen a +R és a -R médiumok esetében sem sikerült egy csatornába terelni a szabványosítást. A kék lézerezelt egyrétegű HD-DVD lemezek 15 GB, a két rétegűek 30 GB adatot képesek tárolni, és három videotömörítési eljárást támogatnak: az MPEG2-t, az MPEG4-et és a WMV9-et. Az NEC időközben továbbfejlesztette saját HD-DVD-lejátszóját, a héten pedig Tokióban bemutattak egy olyan olvasófejet, amely kompatibilis a hagyományos DVD-kkel és CD-kkel is. A NEC egy éven belül kívánja piacra dobni az új technológiával készülő termékeit. A Sony ebben a tekintetben előrébb jár, hiszen kínálatában már szerepel Blu-Ray-lejátszó, igaz 2700 dolláros árával ennek még nem sikerült széles vásárlóközönségre szert tennie.



Az első asztali Blue-Ray író (Panasonic).

A tokiói Optware tavaly szeptemberben mutatta be az általa kifejlesztett holografikus adattároló lemezt, és most hat gyártócég - köztük a Fuji Photo Filmmel - bejelentette, hogy

közösen szabványosítják a technológiát. A Holographic Versatile Disk (HVD) elnevezésű korong legfejlettebb változata egy terabájtnyi adatot, tehát körülbelül kétszáz nagy felbontású filmet képes elraktározni. A lejátszók adatátviteli sebessége másodpercenként egy gigabites. A holografikus adattárolás jelentős előrelépés a jelenlegi optikai adattárolókhoz képest, hiszen amíg a CD és a DVD csak a korong felületén tárol információkat, addig a HVD a műanyag lemez egészét hasznosítja, ennek köszönhető jóval nagyobb kapacitása. A bizottság három különböző adattárolót szabványosít: kétszáz gigabájtos HVD-kazettát, száz gigabájtos, csak írható HVD-lemezt, illetve harminc gigabájtos HVD-kártyát. A negyedik projekt keretében a százhusz milliméteres lemez szabványos tokját fejlesztik ki. Elsőként az egészségügyi, gyógyszerészeti és olajipar cégek hasznosíthatják az új technikát, és csak ezt követően kerülnek a korongok az otthoni felhasználókhoz. Az Optware fejlesztésének a jelentősége abban rejlik, hogy a cégnek sikerült egyesítenie az optikai lemeztechnológiát és a holografikus rögzítési technológiát. A holografikus lemezekről korábban azt tartották, hogy nem megfelelőek az adattárolásra, mert a fény szóródása miatt zajos, rossz minőségű lesz a jel, az Optware azonban egy speciális tükrőréteg alkalmazásával megoldotta a problémát.

2.6.4 Hangrendszerek a filmszínházban

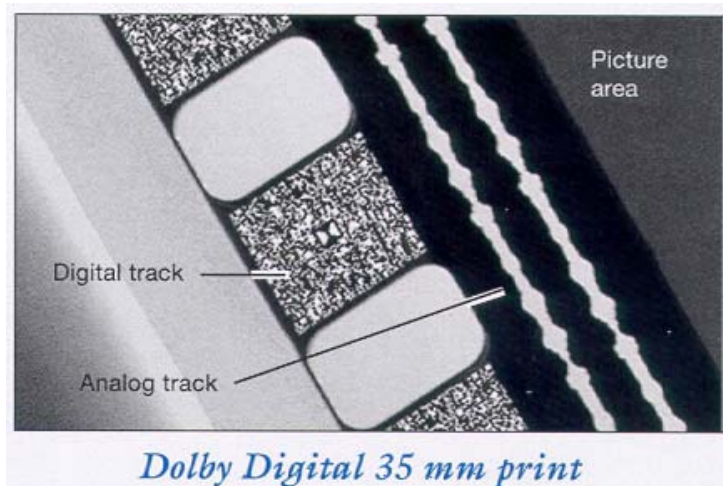
Nem szorosan része a lézerlemez rendszereknek a moziban alkalmazott hangtechnika, azonban az összes ma DVD-n megtalálható hangformátum innen ered. Ezért érdemes ezeket röviden áttekinteni, hiszen a stúdiótevhnikának része lehet.

A sokcsatornás filmhangtechnika a kilencvenes években terjedt el. Oka, hogy a moziban nagy a terem és a vászon, ezért ha csupán két első hangsugárzónk lenne, nagy hangerővel kéne működni, hogy hátul is hallják. Ekkor azonban az elől ülőknek túl nagy lenne a hangerő. Ezért nem csak elől, ahnem oldalt/hátul is vannak hangsugárzók. Innen jött az ötlet, hogy azok ne csupán a szetereó hangképet, hanem újabb csatornát szólaltassanak meg. Hasonlóan, a túl nagy vászon szélén elhelyezett hangszórókból érkező dialógus zavaró lehet, mert a hangforrás a vászon közepén látszik, a hang azonban túlságosan a széléről érkezik. Ezért találták ki a center hangsugárzó(ka)t. Manapság centerből is több van ill. hátsó hangsugárzók is elemei a rendszernek.

Az ismert 5.1-es elrendezés és technika a Dolby nevéhez fűződik, és a Dolby Digital sokcsatornás kódot a filmszínházban a filmre ráhelyezték. Mivel a filmszalag szabványos méretű, ennek a digitális kódnak csak a perforációk között maradt hely, és lézerrel olvassák ki.

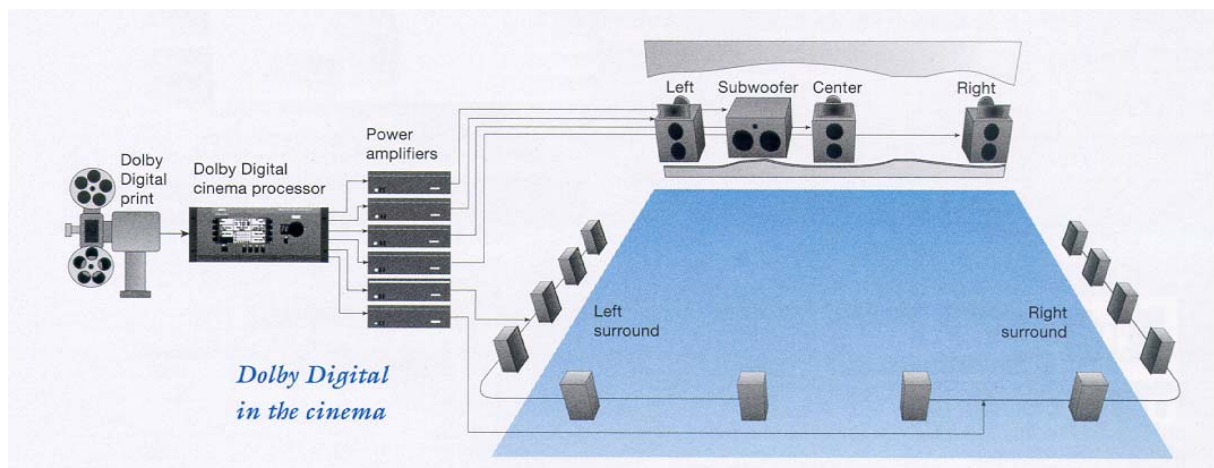


A Dolby Labs Inc. védjegyzett logója. Megtaláljuk a filmszínházak bejáratánál a falon, ha a vetítógép alkalmas a lejátszására. A filmek elején szintén előfordul.



A Dolby Digital 2D kódja a mozifilm perforációja között. Az analóg hangsávok megmaradnak, így a kompatibilitás biztosított.

A Dolby Digital tehát 5.1 csatornát hordoz (1992 Batman visszatér) de a nagy vászon miatt és a nagy terem miatt nem egy, hanem több hangszóró is sugározza ugyanazt a csatornát. A DD EX extrapolálja a hátsó középső csatornát a két hátsó szélsőből, ez a 6.1-es elrendezés. Maximum négy hangsáv van egy filmszalagon. Az analóg hang minden szalagon megtalálható. A hagyományos hangcsík érintetlenül marad a kompatibilitás céljából. Ugyanezt a DD-t használják a televízió műsorszórásban, amihez természetesen digitális beltéri egységre van szükség. A DD eljárás elég flexibilis, és megengedi a bitrate, csatornaszám stb. változtatását, maga az eljárás csak a kódolás módját tartalmazza (Audio Coding 3 = AC3). A DVD lemezekon a DD hangsáv ún. bitstream (bitfolyam) alakban található meg, azaz nem kétdimenziós kód, hanem egy dimenziós „soros” formában. Szabványos, általános bitsebessége 384 kbps, hat csatornára összesen.



A hatszatornás Dolby Digital a filmszínházban. Látható, hogy adott csatornát több hangszóró is lesugározhat a megfelelő hangeloszlás és teljesítmény elérésnek érdekében.

A DTS nagyon hasonló felépítésű, de a hanganyag nem a filmen van, hanem külön álló CD-n (általában két CD lemezen). A lejátszó és a CD egy időköddel van szinkronizálva. A DTS-ES hasonlóan kompatibilis és tartalmazza a hátsó középső csatornát. A dts nagyobb mint 100 dB dinamikát tesz lehetővé és általában jobb minőségű, mint a DD. Bitsebessége elérheti a másfél

Mbps-t is, hat csatronán. Ehhez külön dekóder szükséges és a lemezek szintén bitfolyamként tárolják.



A Digital Theatre Systems védjegyzett logója. Megtaláljuk a filmszínházak bejáratánál a falon, ha a vetítógép alkalmas a lejátszására. A filmek elején szintén előfordul.

Sony Dynamic Digital Sound (SDDS) (1994 Utolsó Akcióhős) egy ritkábban használt formátum. Vagy 8 csatornás (center, center left, center right), vagy csak a szokásos hat. A nyolc csatornás csak kellően nagy vászon esetén használatos. A hang a filmen van rögzítve, nem CD-n. A digitális csatornák a lyukakon kívül vannak a film mindkét oldalán. A film fizikai korlátai miatt az SDDS 5.1-hez adattömörítést használ (ATRAC, mint a MiniDisc-nél). Hátárnya, hogy drága és sérülékeny.

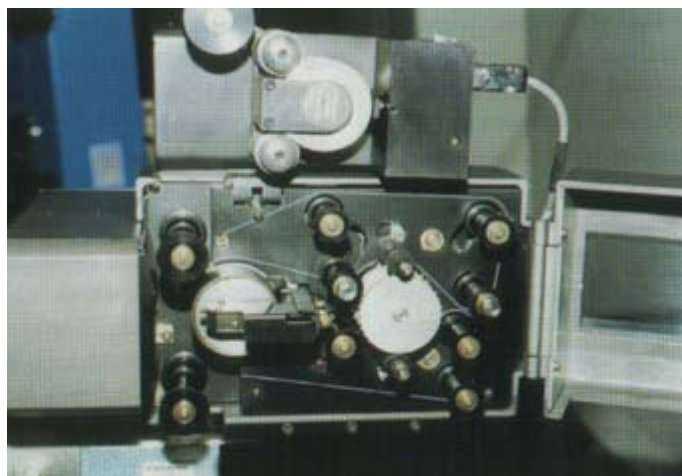
Ne feledjük, hogy az említett összes eljárás veszteséges kódolás! Hasonlóan az mp3-hoz, pszichokausztikus kódolás során éri el a sebességsökkentést, ezért stúdiótechnikában nem alkalmazzuk, pusztán a végtermék előállításakor.



SDDS fénysávok a film két oldalán.



A Dolby CP-500 mozihang processzora alul, valamint a dts hanganyag processzora a CC-ROM lejátszókkal egybeépítve.



A DTS és az SDDS fényhang olvasófeje.

Végül említsük meg a THX szerepét. A THX egy minősítési eljárás és egy minőségi bizonyítvány a mozi számára (tehát nem egy új hangrendszer, hanem „quality control”) a Lucasfilm védjegyével. Tartalmazza a terem borítását, méretét, külső zavarok elnyomását, hangszórók elhelyezését, a vetítés megengedett szögét, az alkalmazott hangszórók, erősítők és kábelek minőségét, a fényeket, mindezek kalibrálását, mérését és minősítését. Amikor egy filmszínház megépül, THX szakemberek jönnek ki bemérni és bevizsgálni a követelményeket, majd minden évben ellenőrzik és adják ki a „THX Certified” minősítést. Ezt később az otthoni erősítőkre és rendszerekre is adaptálták, a legjobb minőségű házi mozi berendezések kapják meg a THX, THX Ultra vagy THX Ultra2 logót.



A Lucasfilm védjegyzett logója. Megtaláljuk a filmszínházak bejáratánál a falon, ha a vetítőgép és a terem megfelel a THX minősítésnek.

2.6.5 Nagyfelbontású hangformátumok

A nagyfelbontású elnevezés az angol „high definition” szóból ered. Ezt értelmezzük képtartalomra is (HD-DVD, HDTV stb.) illetve hangtechnikában is. Jellemzőjük, hogy a szokványos CD minőségnél jobb a hangminőség, általában 96 kHz vagy magasabb

mintavételi frekvenciát ill. 24 bites felbontást tartalmaznak, átviteli sávszélesség legalább 50 kHz-ig terjed és veszteségmentes tömörítéssel kerülnek rá a hordozóra.

Ennek első megvalósítása a DVD Audio formátum volt, majd vele párhuzamosan a Super Audio CD. Ezekkel később foglalkozunk. Ezek mindegyikére jellemző, hogy nagy tárolókapacitást, nagy sávszélességet igényelnek. A tömörítés tehát elkerülhetetlen, de ez veszteségmentesen történik, így stúdiótechnikában is szóba jöhet! Tehintettel arra, hogy a szokványos DVD lemezeken ehhez nincs elég kapacitás, a HD-DVD és a Blue Ray lemezek tartalmaznak ilyen HD hangsávokat. A két formátum lemezei egyaránt ún. „full HD” felbontásban tartalmaznak képet (1920*1080p), amelyre még a HDTV sem képes. A szokványos DD mellett az alábbi formátumok is megengedettek.



A *Dolby Digital Plus* nagyobb kódolási hatékonysága révén a sávszélességben korlátozott műholdas, földi és kábeles műsorsugárzás számára jobb hangminőséget és csatorna-kihasználást, költségmegtakarítást, webes műsortovábbítás esetén pedig alacsony sebességű adatátvitel mellett is sokcsatornás hangtovábbítást biztosít. A rendszer kompatibilis a DD-al. Ez teszi képessé a codec-et arra is, hogy például egy hálózathoz csatlakozó médialejátszó egy lemez lejátszása közben képes megszólaltatni a párhuzamosan az Internetről érkező (streaming) hangműsort. Az olyan nagykapacitású, nagy-sávszélességű, műsörtárolók, mint a HD-DVD-k vagy HDD-k esetén a Dolby Digital Plus akár 6 Mbps adatátviteli sebesség mellett, az 5.1-csatornás, 640 kbps Dolby Digital-hoz képest, sokkal jobbminőségű 7.1-csatornás hang, vagy akár 13.1 diszkrét hangcsatorna kezelése lehetséges. Míg az eredeti Dolby Digital jel továbbítása optikai vagy koaxiális vezetéken történik, a Dolby Digital Plus az új HDMI csatlakoztatást használja. A DVD Forum a HD-DVD lemezekre kötelezően választható tömörített hangformátumként már a kibővített Dolby Digital Plus-t találta alkalmasnak, mely adatátviteli sebességben és csatornaszámban rugalmasan bővíthető mivel mind a nagy-, mind a korlátozott sávszélességű rendszerekhez megfelelő kódolási hatékonyságot kínál. Ezek a tulajdonságok alkalmassá teszik a Dolby Digital Plus-t, hogy bármilyen más szoftverrel párhuzamosan lehessen vele hangtartalmat továbbítani, például kábelen vagy Interneten.



A DVD Forum a DVD-Audio lemezeken már használatos MLP Lossless technológiát (lásd később) is kötelező formátumként választotta kétcsatornás, tömörítetlen, nagyfelbontású hangok megszólaltatásához. Ez a formátum a lehető legmagasabb hangminőség átvitelét biztosítja a képminőség és a videó adatátvitel kompromisszumai nélkül.

A DTS Coherent Acoustics kódolási rendszerének kibővített változatát alkalmazzák majd a Blu-ray Disc és a HD-DVD lemezeken egyaránt. Ez a DTS++ jelzéssel azonosított technológia nagyobb adatátviteli sebességet, tömörítetlen hangátvitelt és további csatornák átvitelét teszi lehetővé. A DVD Forum a *DTS++* tömörített változatát, mely lefelé teljes egészében kompatibilis a sokmillió DTS licenccel rendelkező szórakoztatóelektronikai termékkel, kötelezően választható hangformátummá választotta, míg annak tömörítetlen változatát – a Blu-ray Disc Association-hoz hasonlóan – opcionálisan választhatóvá tette. Ez azt jelenti, hogy az új nagyfelbontású lemezeken a megnövekedett kapacitás és sávszélesség

jóvoltából találkozhatunk majd 1,5 Mbit/sec adatátviteli sebességű, tömörítetlen, azaz az ún. „master” hanggal bitről-bitre megegyező DTS++ hangsávval. Természetesen lehetőséget biztosít a technológia a nagyobb mintavételi frekvenciájú DTS 96/24 és akár 7.1 csatorna továbbítására is az új Blu-ray Disc és HD-DVD lemezeken.



A *Dolby TrueHD* a leghatékonyabb veszteségmentes (lossless) kódolást biztosító audió technológia, mely nagyfelbontású hanglejátszást garantál minden HD-DVD lejátszóról - tekintve, hogy a DVD-Forum ezt is a „mandantory”, azaz kötelezően választható formátummá választotta, ezért az összes lejátszónak kell kezelnie. 18 Mbits maximális adatátviteli sebességével támogatja a 96 kHz/24 bites felbontást, a jelenlegi lemezformátumok esetében nyolc (7.1 csatornás surround) csatornán, de ez akár 14-re is bővíthetne. (Nyolcnál kevesebb csatornánál magasabb, akár 192 kHz-es mintavételi frekvenciára is mód van.) A Dolby TrueHD olyan új lehetőségeket biztosít a tartalom előállítójának, mellyel az a hangot a legrealisztikusabb hatást keltve pozícionálhatja, és a lejátszott hang mindenegybes bitje azonos a legnagyobb felbontású stúdió mesterfelvétellel.



A *DTS-HD Master Audio* a stúdióban elkészített hanganyaggal bitről-bitre teljesen azonos hangot képes hordozni. Az adatfolyam átviteli sebessége - Blu-ray Disc-en 24,5 Mbit/sec, HD-DVD-n 18 Mbit/sec – annyira gyors, hogy 7.1 hangcsatornát lehet így továbbítani, melyek mindegyike 96 kHz/24 bit felbontású. Ezzel a tömörítetlen hangátvitellel a filmek és zenék pontosan ugyanolyan tisztán és kompromisszummentesen élvezhetőek, ahogy a hangmérnök megalkotta azokat.



A *DTS-HD High Resolution Audio* akár 7.1 csatornás, az eredetitől szinte megkülönböztethetetlen hangot képes szállítani. A digitális audiojelet magas, konstans adatátviteli sebességgel - Blu-ray Disc-en 6 Mbit/sec, HD-DVD-n 3 Mbit/sec – viszi át, mely még mindig kiváló hangminőséget produkál. A 96 kHz/24 bit felbontású, 7.1 csatornás tömörített hanginformációval a lemez előállítója még akkor is gazdag, részletező hanghatást érhet el, ha a lemez kapacitása nem teszi lehetővé a DTS-HD Master Audio formátum alkalmazását.

						
	Státusz	Maximális csatornaszám	Maximális adatátviteli sebesség	Státusz	Maximális csatornaszám	Maximális adatátviteli sebesség
	Kötelezően választható	8	18 Mbit/sec	Opció	8	18 Mbit/sec
	Kötelezően választható	6	9,6 Mbit/sec	-	-	-
	Kötelezően választható	7.1	3 Mbit/sec	Opció	7.1	1,7 Mbit/sec
	Opció	8	18 Mbit/sec	Opció	8	24,5 Mbit/sec
	Opció	8	3 Mbit/sec	Opció	8	6 Mbit/sec

A HD lemezek hangformátumai.

Manapság a DVD lejátszók nem csupán a formátum által rögzített lemezeket tudják lejátszani, hanem képesek MP3 vagy éppen DivX kódolású filmek visszadására is. Utóbbiról érdemes annyit tudni, hogy kezdetben a Circuit City és a Ziffren, Brittenham, Branca & Fischer Los Angeles-i ügyvédi iroda dolgozta ki a Digital Video Express-t, más néven Divx-et. A Divx tulajdonképpen a normál DVD módosított változata és három fő részből áll: Divx lemez, Divx lejátszó és elektronikus kapcsolat modemén keresztül a Divx díjbeszedő központjával.

Külsőre a Divx és a DVD lemezek azonosak, de a Divx lemezekre kódolt formában kerül fel a film. A lejátszáshoz egy külön dekódoló részre van szükség a készüléken belül, ami drágábbá teszi a Divx lejátszókat a hasonló kategóriájú DVD játsszókhöz képest. Ezzel ellentétben a Divx lemezek ára valamivel kedvezőbb, de használhatóságuk korlátozott. A filmet az első indítástól számított 48 órán belül lehet megnézni. Ez lehet a vásárlás napján vagy hónapokkal később is. A 48 órás időszakon belül a film bármikor megállítható ill. újraindítható. A 48 óra lejártá után újabb összeg befizetésével a film újra nézhetővé válik. A Divx központba a lejátszó a modem segítségével elektronikus úton küldi a befizetésről szóló információt.

Manapság ez másképp van, a DivX egy elterjedt FORMÁTUMMÁ vált, amit számítógépen lehet lejátszani. Tartozik hozzá egy kódér illetve egy dekóder, melyet (ingyenesen) letölthetünk és felinstallálhatunk a gépünkre. Ezek egyben tartlmaznak mindent (kóder-dekóder = kodek) és felülről kompatibilisek. A mai lejátszók képesek arra is, hogy a külön szövegfájlban (.sub kiterjesztés), a filmmel azonos nevű fájlban tárolt (egyébként egyszerű szövegfájl a megjelenítendő szövegről és annak időtartamáról) a filmeket automatikusan feliratozza.

2.6.6 A jövő zeneformátumai: DVD Audio és SACD

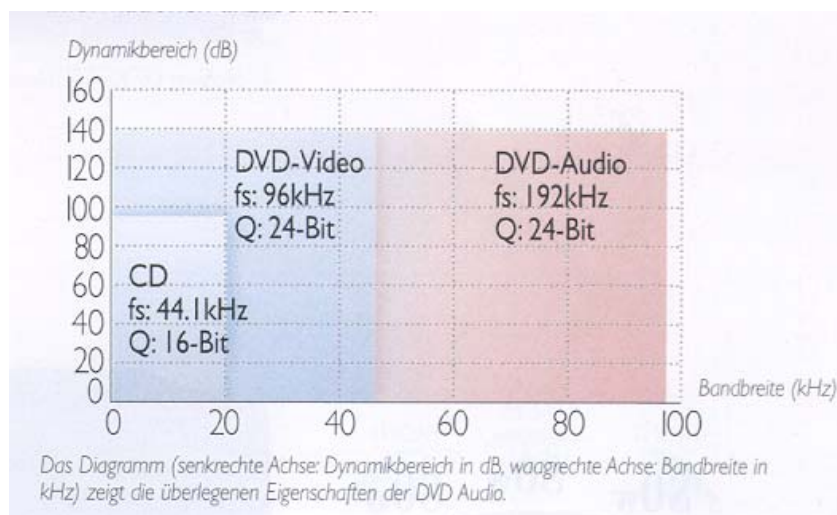
A DVD Video és Audio alapja a DVD ROM lemez. Ugyanaz a hordozó, csak eltérő mennyiségű és minőségű hang ill. képanyaggal. A DVD Video lemezre 2 csatornás 96 kHz/24 bit lin. PCM hang felvehető, ugyanakkor 6 csatornán ez a felbontás nem szokott rögzítésre kerülni, mert csak kevés lejátszó tudja lejátszani. Helyette a veszteséges AC3 (Dolby Digital) 5.1 hangsáv kerül a lemezre, mely max. 448 kbit/s bitsebességet engedélyez. A minőségromlást elő- és utófeldolgozással (utózengési idő megváltoztatása stb.) lehet javítani. A DVD Video szabvány előírja, hogy mindenképpen legyen video információ a lemezen, ez szélsőséges esetben állóképek is lehet(nek). Az állóképek előnye, hogy kevés helyet foglalnak, viszont nem biztos, hogy bárhova lehet ugrani közöttük. Helyette előnyösebb MPEG videostream-et készíteni belőlük, igaz, több helyet foglal így el. Ezeket az adatokat találjuk a video_ts könyvtárban.

A DVD Audio esetén a hangsúly a hangon van. Ekkor a „felesleges” képinformáció helyett is ahogyan rögzítünk a lemezen. Ezek az adatok az audio_ts könyvtárban vannak. A szabvány szerint lehetőség van hat csatornán kihasználni a 96 kHz/24 bit felbontást az ún. Meridian Lossless Packing (MLP) veszteségmentes tömörítő eljárással, hasonlóan a WinZip elvéhez. A szabvány része ez a kódolás, így minden DVD Audio lejátszó ismeri. A kombi lejátszók képesek kezelni a DVD Audio és Video lemezeket is. Továbbá lehetőség van egy sztereó 24bit/192 kHz-es hang rögzítésére is. Lehetőség van az ún. "Scalable Audio" megoldásra, ahol a hat csatorna eltérő mintavételi frekvenciával dolgozik egy időben, pl. az első három 96, míg a hátsók csupán 48 kHz-el. A sztereó hangvisszaadást többféleképpen is létrehozhatjuk: vagy egy különálló "downmix" formájában, 2 csatornán rögzítjük a lemezen vagy a hat csatornából számítással állítjuk elő az ún. downmix-együtthatók segítségével, melyek leírása és definíciója a szabványban rögzített. Ha a hat csatornás jó felbontást használjuk, alig több, mint egy óra anyagot tudunk rögzíteni. A lehetőségek nagyon szélesek. A 192 kHz a maximális lehetőség (opcionális a szabványban) ugyanakkor a 48 kHz-et sem ajánlatos alulmúlni. Bit-Budgeting a neve a legfontosabb tervezési feladatnak: a kapacitás felosztása. Ez nem triviális és nem egyszerű feladat. Marketing és ár-kérdés, hogy mit teszünk a lemezre. Az első tapasztalatok szerint, a vevők igénylik a szeparált, jó minőségű sztereó sávot. Videoanyag is rögzíthető a korongra, de tekintettel a nagy hangadatra, ez általában rövid és inkább állóképek sorozata. Érdekes lehetőség a Realtext, amely vagy a lejátszó kijelzőjén vagy a monitoron (TV-n) jelenik meg, pl. kotta vagy dalszöveg. A monitor használata csak opcionális a szabványban. Egy lezárt részen a lemezen mozgókép is tárolható, illetve DVD ROM információk a számítógépeseknek. Az MPEG video itt legfeljebb egy videoklip hosszúságú lehet (esetleg Making Of Video) és teljesen megfelel a DVD Video szabvány előírásainak. A lejátszó elve, hogy a jövőben nem gyártanak csak DVD Video lejátszót, hanem univerzálisat, illetve DVD Audiót, amely szinte kizárólag mindegyike lejátsza a DVD Video formátumú lemezeket is. A csak DVD Video lejátszók nem tudják a DVD Audio információt lejátszani. A DVD Audio nem védett régiókóddal, de másolásvédelem található rajta. A másolásvédelem első lépcsője a CSS-2 (Copy Scrambling System) illetve a SACD-nél is ismert vízjel. Ez egy el nem távolítható „származási azonosító”, amely alapján másolatok sokasága után is visszakövethető az eredet.





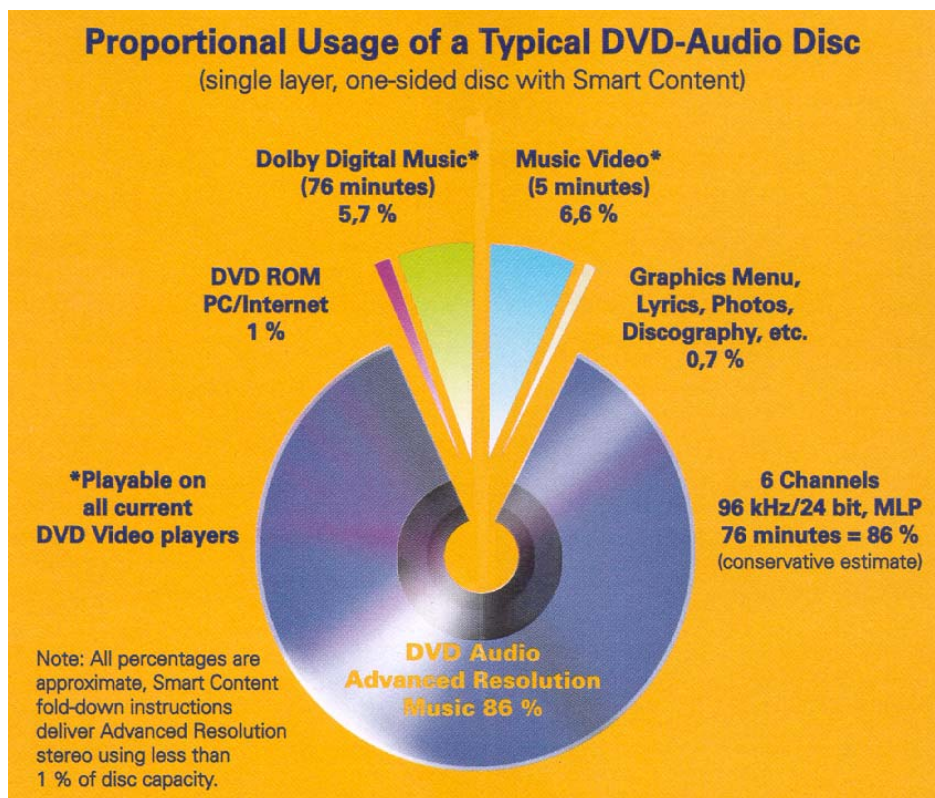
DVD Audio/Video logo jelzi, hogy a készülék képes mindkét formátum lejátszására és dekódolására. A beépített dekóder garantált, így a hat csatornás kimenet is az erősítő számára. DVD Audio formátumot a házimozierősítők nem tudnak dekódolni, így külső (a lejátszóba épített) dekóder szükséges, és hatcsatornás összekötetés.



A DVD Audio, Video és CD dinamikataromány a bitszámból számítva, illetve a frekvenciatartomány. A frekvenciasáv egyenlő a mintavételi frekvencia (fs) felével.

DVD-Audio versus DVD-Video	
DVD-Audio	DVD-Video
— Audio format	• Audio format
44.1 - 192 kHz	48 & 96 kHz
16 - 24 bit	16 - 24 bit
1 - 6 channels	1 - 6 channels
— ≤ 9.6 Mbps for audio -> compression less often required. Lossless Packing is standard.	• ≤ 6.144 Mbps for audio -> compression is desirable: Dolby Digital, MPEG or DTS
— Simple TOC-navigation for audio-only players (walkman, car audio)	• Navigation with visual menus

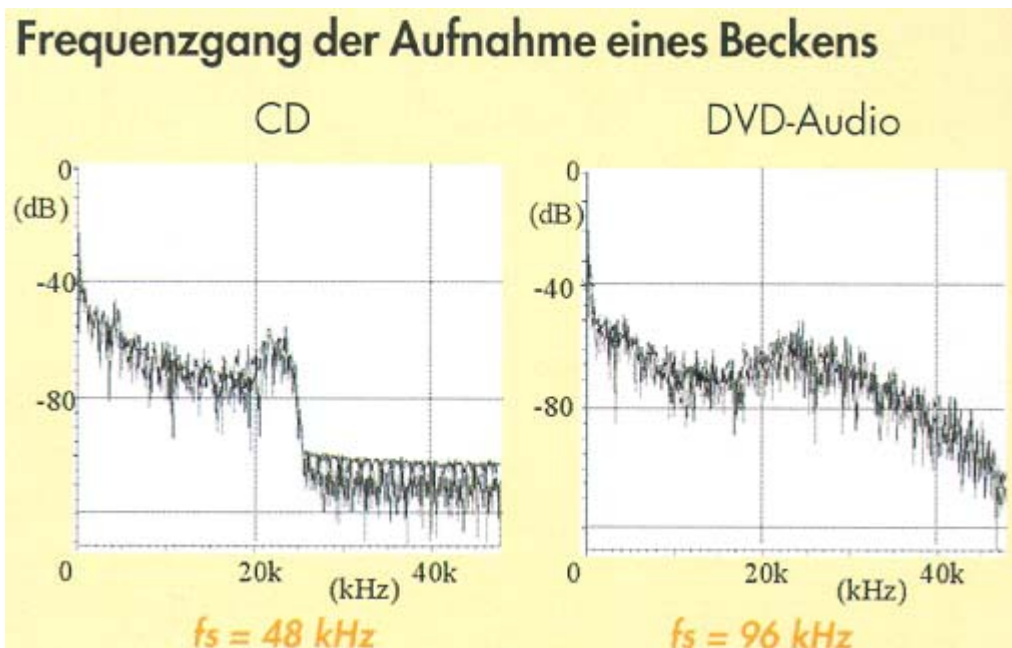
A DVD Audio és Video összehasonlítása: maximális mintavételi frekvencia és kvantálási bitszám (felbontás), csatornaszám, bitsebesség. A DVD-A esetén veszteségmentes tömörítés engedett meg, míg a DVD-V esetén veszteséges módok.



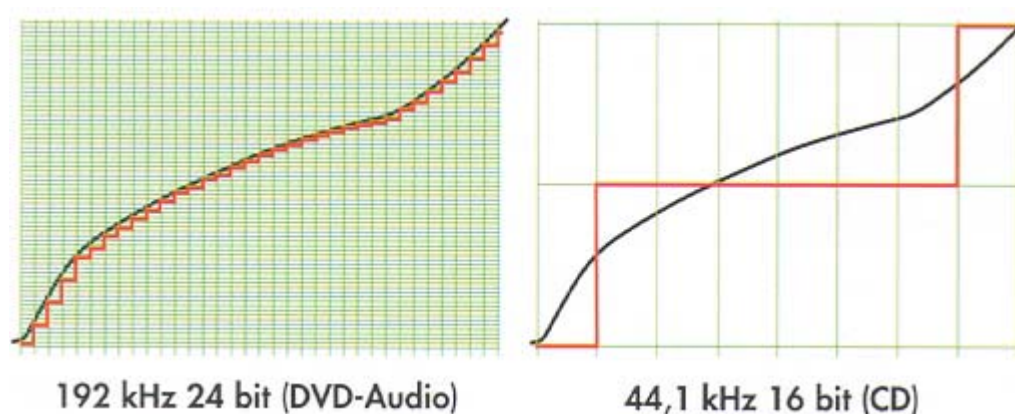
A DVD Audio lemezek tartalmának százalékos eloszlása. A nagyfelbontású sokcsatornás hangfelvétel elviszi a lemez 86-90%-t. Ugyanez a tartalom megtalálható veszteséges DD sávban is (5%), amelyet a DVD-V lejátszók lejátszanak, csakúgy, mint a video részt.



A DVD Audio és SACD lejátszók által igényelt szélessávú erősítőkön és hangszórókon található logo. Jelzi, hogy a készülék képes átengedni és lineárisan erősíteni a beérkező hangot a 0-100 kHz tartományban. Ha ki szeretnénk használni a DVD-A és a SACD lehetőségeit, ilyen erősítőt és hangszórószettet kell vásárolni.



A frekvenciamenetek (sávszélesség) összehasonlítása. Jól látható a Cd esetén a 20 és 22 kHz között vágó szűrő, míg a DVD-A átengedi ezeket a komponenseket, így kisebb lesz a burkoló frekvenciahatárolása és a torzítás.



A kvantálás összehasonlítása. Látható, hogy ugyanannak az analóg hangjelnek valóságosabb képét kapjuk vissza, ha a bitszámot és ezáltal a felbontást növeljük. Egyben érthetőbb lesz, miért is nő ezzel a dinamikatartomány: a kisebb lépcsők kisebb (halkabb) változásokat is le tudnak írni.

A gyártásnál előnyt élveznek a klasszikus művek, amelyek dinamikában és térben is nagyok, így a hat csatornás jó minőségű felvétel indokolt. Egy többszáz tagú orchestra igényli a több, egyforma minőségű csatornát (ne feledjük, hogy a DD AC3 koncepciója nem feltétlenül ez). Az utóbbi 10-15 év popzenei felvételei is sokcsatornás master szalagon vannak, így csak arra várnak, hogy egy hangmérnök elkészítse a 6 csatornás keverést (a felvétel többsége legalább 8-16 csatornás).



Sokcsatornás mágnesszalagos rögzítő.

Az első lejátszókat 2000-ben mutatták be, Berlinben nagy sikerrel, az árak 2000-2500 DM körüli volt (Technics, Pioneer, JVC, Toshiba, Onkyo, Yamaha). Az előnye a DVD-nek már most is nagy a SACD-vel szemben. A korongon a DVD Audio adat foglalja el a 90%-ot, 5%-ban fel lehet vinni ugazanezt a zenét DD5.1 formátumban, a maradék van szöveges, és ROM adatra fenntartva. A DVD Videolemez 70%-a képanyag, a DVD Audió 90%-a hanganyag.

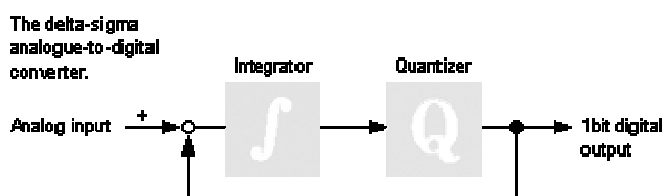
A DVD Audio minőségéhez megfelelő erősítő és hangszóró kell. Elsősorban a sávszélesség (Wide band 100 kHz linear) ami lineáris átvitelt biztosít a 192 kHz-es jelnek is a teljes tartományban, illetve beépített DAC esetén rendelkezzen 96kHz/24 bites konverterrel. Az erősítőnek rendelkeznie kell hat csatornás bemenettel a külső dekóderrel rendelkező lejátszók számára, amin keresztül is szélessávú erősítésre képes. Az ilyen erősítők DVD Audio Ready jelzéssel vannak ellátva. A hangsugárzók szintén szélessávúak kell legyenek, de általában nem okoz gondot a nagyfrekvenciák lesugározása.

DVD Audio	DVD Video (Audio rész)	Super Audio CD
44.1, 48, 96, 192 kHz	48 vagy 96 kHz	44,1 kHz PCM (hibridnél) 2.8224 MHz DSD (64*fs)
16-24 bit	16-24 bit	16 bit PCM, 1 bit DSD
1-6 csatorna	1-6 csatorna	2 csat PCM, 6 csat. DSD
9.6 Mbps for audio	6.144 Mbps for audio	
veszteségmentes kódolás	DD, DTS, MPEG	DSD, lin PCM (hibridnél), DST veszteségmentes
vagy lin.PCM	veszteséges kód., lin PCM	TOC
Table of Content navigáció	menü navigáció, OSD	
144 dB dinamika (192/24)		120 dB (DSD)
5 Hz - 96 kHz átvitel (192)		DC - 100 kHz (DSD)

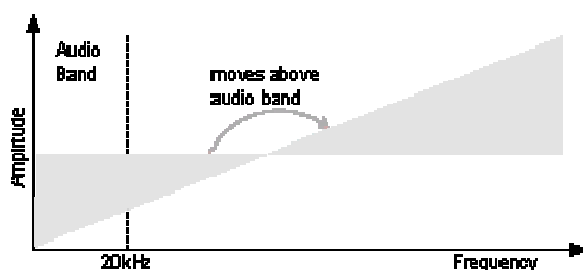
A CD 1979-ben csúcstechnológia volt a 16 bites, 44100 Hz-es felbontásával. A mintavételi frekvencia növelése nem okoz gondot, de az átalakítók bittartományát növelni nehéz. Ma a maximális a 24 bites felbontás, de a többség csak 20 bittel dolgozik (a 32 bites megjelölés csak átalakítás után, a feldolgozás közben jöhet létre a számításokhoz). A PCM rendszerek

korlátja az erős szűrés a bemeneti oldalon, amit *anti aliasing filter*nek nevezünk (AAF). Ezek általában rendkívül meredek szűrők a mintavételi frekvencia felénél, amelyek pl. a 20 kHz-et átengedik, de a 22,05-öt már nem. További zajjárul a felvételnél több lépcsőben alkalmazott ún. decimáló (alul mintavételező), ill. a lejátszóban lévő felül mintavételező (interpoláló) digitális szűrők.

A DSD felvételi eljárás (Direct Stream Digital) nagyon jó minőségű felvételt eredményez. A szokványos több bites lin.PCM felvételeknél a felvételi oldalon egy decimálósűrő, a lejátszási oldalon pedig egy túlmintavételezési (oversampling) szűrő van elhelyezve. Ezzel szemben a DSD eljárásnál a rögzítés közvetlenül a hangforrás után történik, a szűrők nélkül. Itt az analóg jelet 64-szeres túlmintavételezéssel 1-bites digitális jellé alakítják (a PCM-től eltérően a DSD 1 bites adatfolyam impulzusai ránézésre is mutatják a jel alakját – pozitív hullámformát 1, negatívát 0 jelöli), de a PCM-el ellentétben nem decimálják multibites szavakba. A felvétel az eredeti 1 bites formátumban áll elő és eléggé érzéketlen az átviteli útra és a csatornára. A mintavevő-tartó negatív visszacsatolás útján dönt a kimeneti bitről: ha egy mintavételi idő alatt a bemenő jel feszültsége nagyobb, mint a negatív visszacsatolásban érkező érték (ami az előző mintákból származik), a kimeneti bit 1 lesz. Ennek következménye lesz, hogy a pozitív hullámforma 1, a negatív 0 bitet eredményez, míg a zérust az alternáló 101010...sorozat reprezentálja.



(a)



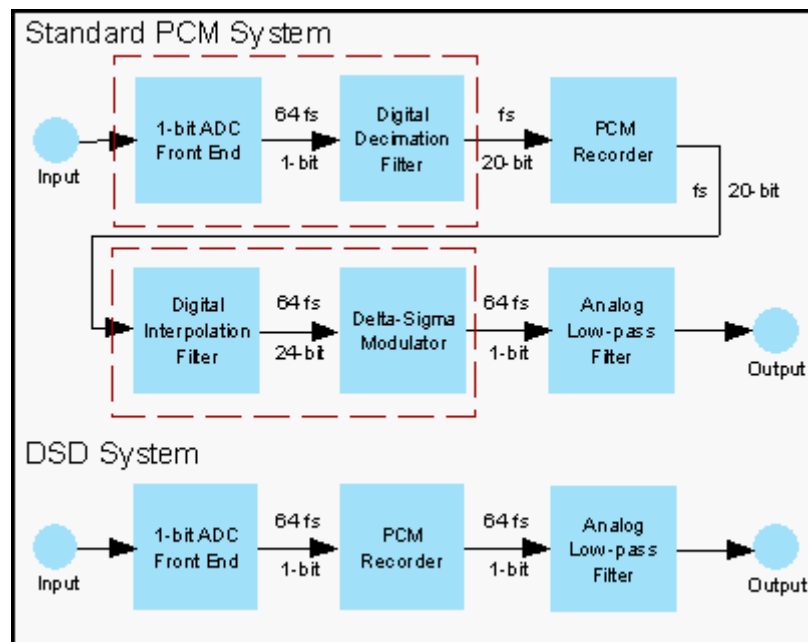
(b)

A Delta-Sigma modulátor negatív visszacsatolással, mint ADC. A bemenő analóg jel amplitúdóját a kimeneti impulzusok sűrűsége reprezentálja: emelkedő amplitúdóhoz emelkedő pulzussűrűség tartozik (a). A jó jel-zaj viszonyhoz ötödrendű modulátort alkalmaznak, ami eltolja a zajt (b) a nagyobb frekvenciák felé (noise shaping).

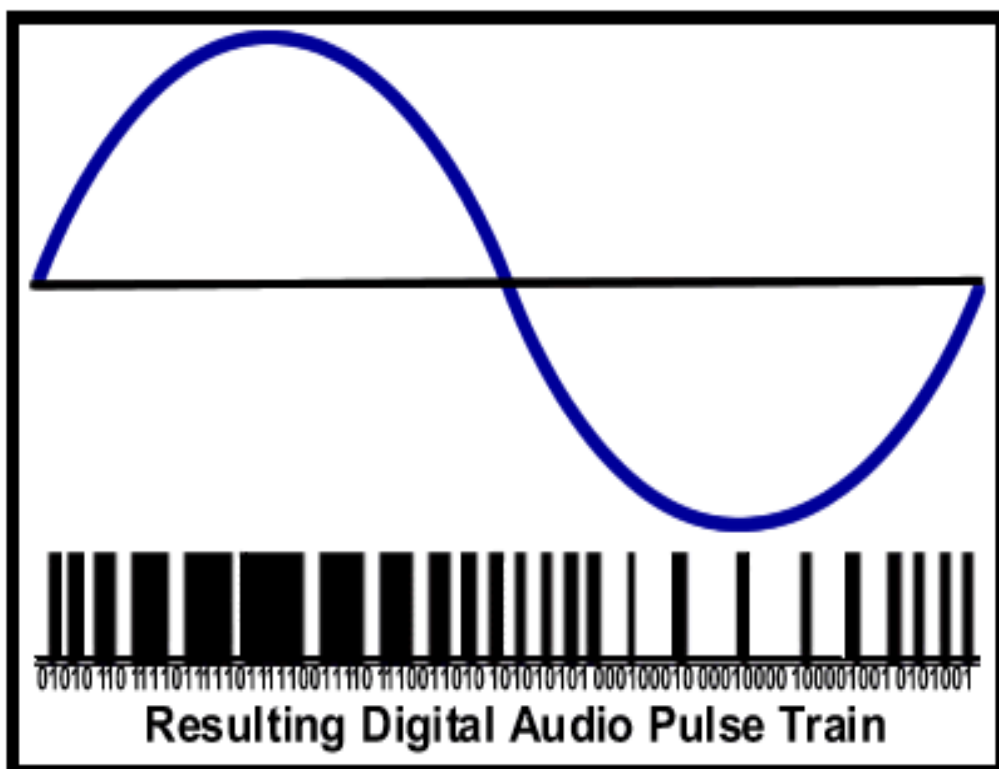
A dekódoláshoz tehát elég egy egyszerű aluláteresztő szűrő. A bitsebesség 2822400 bps. A Super Bit Mapping Direct lehetővé teszi ennek 16 bites kompatibilis PCM-é alakítását, a maximális jelminőség megőrzése mellett. A 2,8 MHz-es mintavételi frekvencia úgy lett kitalálva, hogy könnyedén konvertálható legyen egyszerű szorzással és osztással minden szokványos PCM mintavételi frekvenciára.

A DSD bitfolyamból (mivel 1 bites jelsorozat) az analóg jel „láthatóan” előállítható, ellenben a PCM jellel, ahol a digitális PCM jelből az analóg jel viselkedése nem rekonstruálható (csak a szurok után). Egy szinusz hullámhoz tartozó DSD jelben található 1-esek sűrűsége arányos a fázisállapottal.

Mindkét eljárásnál a felvétel azzal kezdődik, hogy az analóg jelet egy 1 bites digitális jellé alakítjuk át. A szokványos PCM esetén ez a jel azonnal egy decimáló szűrőn megy keresztül, ahol a sokbites PCM jel előáll (pl. 16 bites). A lejátszási szűrőben, a rekvantálás miatt lesz járulékos zaj, ennek eredményeként pedig torzítás. A DSD esetén a felvett 1 bites jel rögtön az analóg aluláteresztő szűrőn megy keresztül, aminek eredménye 100 kHz sávszélesség és 120 dB dinamika a teljes hallható frekvenciasávban. Az effektív bitszám ami a jelet reprezentálja változik a frekvencia függvényében: 20 kHz-ig többet, 30-40 kHz között kevesebbet, felette 100-ig még kevesebbet.



A PCM és a DSD rendszer összehasonlítása. DSD felvételnél nincs szükség a decimáló és az interpoláló szűrőre, mert nincsenek multibites PCM szavak. A kimenet egy analóg aluláteresztő szűrő után áll elő.



Az „1 bites” Sigma-Delta modulátor adatfolyama egy analóg szinuszhullám esetén. A digitális bitsorozaton „látszik” az analóg jel alakja (Pulse Density Modulation – pulzussűrűség moduláció elve).

Az SACD három változatban létezik: egy, két illetve hibridrétegű. Ez utóbbi egy normál CD réteggel és egy HD (high density) réteggel rendelkezik. A HD réteg tartalmazhat két vagy többcsatornás (max. 6 csat) DSD folyamat, szöveget (dalcím, dalszöveg), videoklippet vagy grafikát tartalmazhat. A CD rétegben egy különösen jó minőségű sztereo PCM hangfelvétel tárolható, amit a szokványos CD lejátszók is kezelni tudnak. Ezek egymás felett úgy vannak összeragasztva, hogy a pit sor azonos irányba mutat (fut). Kiolvasáskor a SACD-ben egyszerre két lézer, eltérő hullámhosszal, fókusszal tapogatja le a rétegeket, így teljes a kompatibilitás lefelé és a lemez lejátszható hagyományos CD lejátszón is úgy, hogy annak lézere áthatol a HD rétegen, és csak a mélyen ülő A CD réteget tapogatja le. természetesen a SACD lejátszók kezelik a régi CD formátumot is. A Direct Stream transferring eljárással a DSD jel veszteségmentesen részben tömöríthető. A legegyszerűbb veszteségmentes tömörítés a futamhossz kódolás, amikor 8 egymás után következő azonos bitet 8*bit formátumban kódolunk. A DST ennél sokkal kifinomultabb (keretbefoglalás, predikció, entrópia kódoló), és jelentős 50%-os redukció érhető el vele! A szöveges információnak 8 csatorna áll rendelkezésre (pl. 8 nyelven).

A hibrid lemez CD és HD rétege is 413 nm-es DVD íróval van megírva. A sokszorosítás (matricák, nyomás) is ugyanaz. Mindkét réteg hagyományos 0,6 mm DVD hordozóra kerül beégetésre, melyek össze vannak ragasztva egymásra.

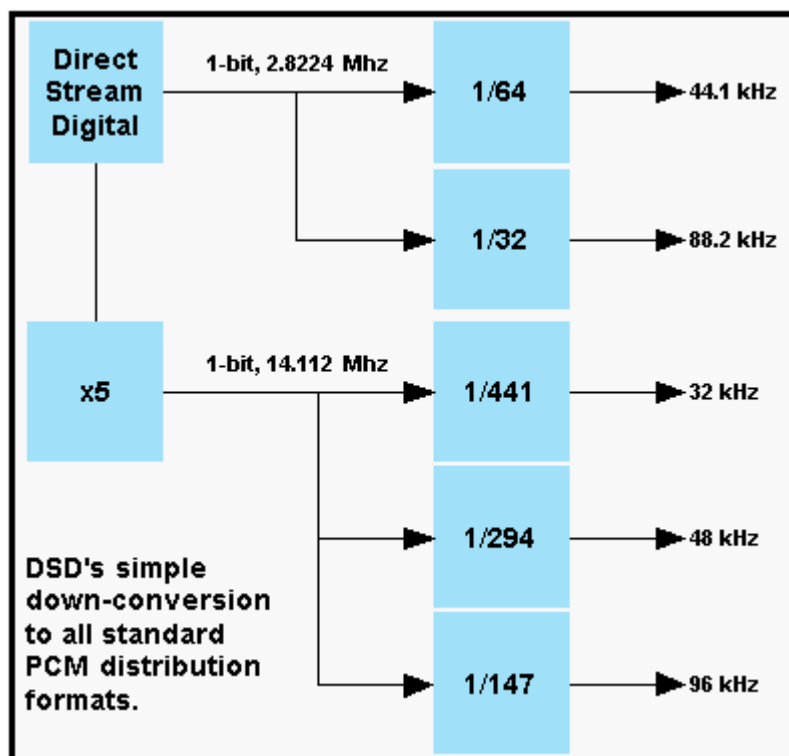
A másolásvédelem két különálló eljárást tartalmaz: A PSP (Pit Signal Processing) technológia lehetővé teszi, hogy egy szemmel is látható vízjel kerüljön a lemezre, ami lehet szöveg vagy ábra, grafika is. Mivel ezt nagyon nehéz reprodukálni, a kalózmásolatok szemmel is könnyen felismerhetők. A technológia továbbá lehetővé teszi egy láthatatlan vízjel elhelyezését is, amivel ismertetőjelet lehet hagyni a lemezen, pl. vonalkód formájában vagy egyéb törölhetetlen információt. A kalózmásolatot a lejátszó felismeri, és nem játssza le. A PSP rész tartalmaz a dekódoláshoz (descrambling) szükséges információt. Jelenleg lehetetlennek tűnik

a házi írónak, hogy PSP-t állítsanak elő. A másolt lemez, PSP nélkül nem játszható le más eszközön (pl. DVD-n) mert hiányzik a dekódoláshoz szükséges információ. PSP információ csak SACD hordozóra írható.

A védelem összességében nagyon összetett. Először is a létező PC meghajtók nem tudják olvasni a SACD lemezt, mert a lead-in rész titkosított (scrambled). Ez rejtve tartja azokat a paramétereket, ami a lejátszáshoz, inicializáláshoz szükséges. Ezt SACD Mark eljárásnak hívják. Meghajtók, amelyek rendelkeznek SACD liszenszel be kell tartásuk a szerződésbeli védelmeket. Ezzel megnehezítették a raw DSD adat bit-by-bit másolás lehetőségét merevlemezre. A titkosítás feltörése drága és időigényes. Ha feltételezzük, hogy sikerült merevlemezre írni a titkosított DSD adatot, hónapokba telne a dekódolókulcs megtalálása (80 bit). Erre az összes kombinációt ki kéne próbálni, mert sehol nem jelenik meg a buszon ez a bitkombináció: a lejátszó hardverében van elrejtve ill. a PSP-ben, és minden SACD lemezhez más és más kódot kéne feltörni. Az algoritmus csak szerződéssel, hardveresen érhető el, szoftveresen nem, ezen kívül SACD formattáló és PSP kódolók nem kaphatók. Szabványos digitális interfészek használat (egyelőre) nem megengedett.

Egy SACD lemez (4,7 GB DVD-R hordozó, egy rétegben) 74 percet tartalmazhat ugyanarról a zenéről: DSD 2-channel stereo és DSD multichannel formátumban egyaránt. Mindkét rész tartalmaz helyet extra video, grafikus vagy szöveges adatnak is. A kulcs ehhez a Philips-féle Lossless coding (veszteségmentes kódolás), mely kb. 50% adatredukciót ér el a bitsebességben, zérus veszteséggel.

A SBM (Super Bit Mapping Direct) eljárás pontosan konvertálja a DSD adatfolyamot CD formátumra (digitális szűrőkkel közösen). Mindezt egy lépésben teszi, egy darab 32639 lépésű (tap) FIR szűrővel.



A DSD jel konverziója szabványos PCM formátumra (Super Bit Mapping Direct).



A Super Audio CD lemezek és lejátszók logója.



SCD-1

A Sony SCD-1 a világ első Super Audio CD-lejátszója, amellyel mind a Super Audio CD, mind a hagyományos CD-lemezek lejátszhatók

A Sony világelső hibrid készüléke, mely egyaránt képes SACD és CD lemezek fogadására.

Direct Stream Digital (DSD) audio technológia

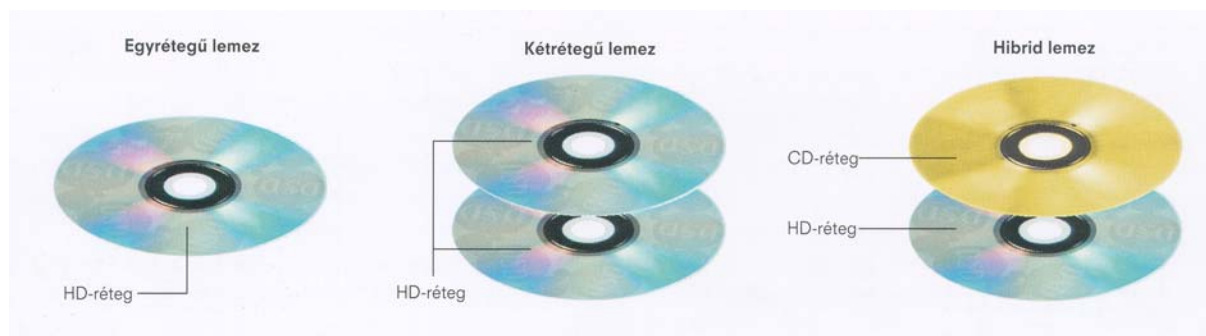
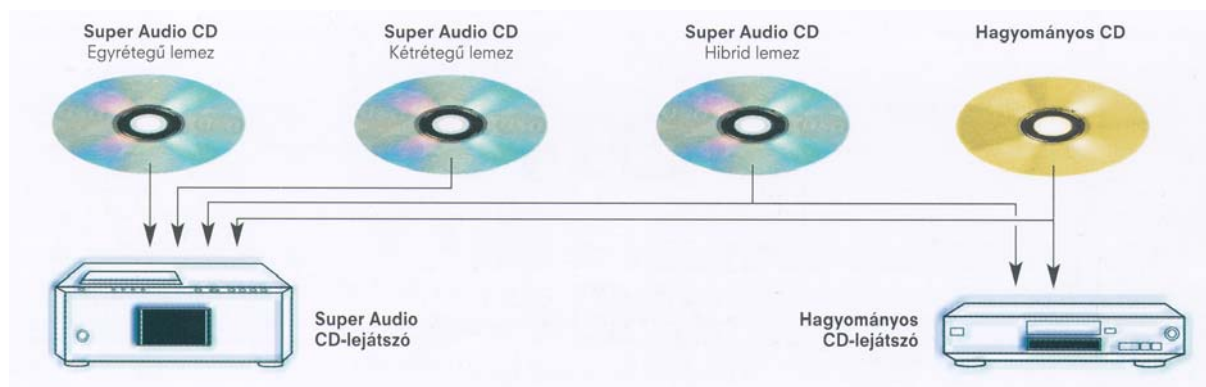
1 bites, 2,8224 MHz-es mintavételezésű audio technológia, mely 100 kHz-es sávszélességet és több mint 120 dB-es dinamikát kínál a hallható (frekvencia) tartományon belül, és az eredeti (analóg) jellel csaknem azonos hullámformát garantál.

DSD
Direct Stream Digital

PSP

Pit Signal Processing

Az újonnan kifejlesztett Pit Signal Processing (PSP) technológiának köszönhetően minden SACD-t egy olyan láthatatlan vízzel lehet ellátni, amely védelmet nyújt a vásárlók és a szerzők számára az illegális másolatokkal szemben. Sőt, a lemez felületére – ábra vagy szöveg formájában – látható vízjel is lehet nyomtatni. Így Ön kétszeresen is biztos lehet abban, hogy a legjobb hangminőséget az eredeti formában kapja kézhez.



Az SACD készülékek minden lemezfajtaival megbírkóznak, míg a hagyományos CD lejátszók csak a hibrid rétegű SACD lemezekkel.

3. Zenei hangok forráskódolása

Ahogy a bevezetőben említettük, a hang és a kép információtartalma, átviteli sebessége túlságosan nagy ahhoz, hogy praktikus, olcsó hordozón rögzítsük és/vagy kisugárzásra kerüljön a műsorszórásban. Egy színes kép tömörítetlen képkockákból 80-200 Mbps sebességű, a kétsatornás CD hang 1,4 Mbps, és ebben nincs semmiféle hibajavító kódolás. Ha tehát hozzáveszünk még több csatornát, és a redundanciát egy CD-re pár perc kép és hanganyag férne rá.

Amikor a technológia még nem tette lehetővé a nagy háttértárakat, elsődleges cél volt az adott hordozón (CD) vagy csatornában (kábeltevé) létrehozni egy tömörített bitfolyamot. A tömörítés kétféle módon lehetséges: *veszteséggel* (lossy coding) vagy *veszteségmentesen* (lossless coding). Utóbbi sokkal jobb minőségű, hiszen visszaalakításkor nem vesz el információ, azonban maximum 50% körüli tömörítés érhető el. Ha ennél nagyobb szeretnénk (80-90 %), akkor veszteséggel tudunk csak tömöríteni, ami a minőség romláshoz vezet(het).

Rengeteg tömörítési eljárás létezik, amelyek közül még a szabványosokból is több tucat van. A legismertebb az MPEG. Ez a rövidítés annak a konzorciumnak a betűjele, melyben Motion Picture Expert Group néven gyűltek össze korábban nagy cégek és kutatóintézetek, hogy kidolgozzanak egy olyan szabványos tömörítési eljárást képre, hangra, amely lehetővé teszi a digitális televíziózást és a DVD elterjedését (vagyis inkább létrejöttét), a VHS magnók alternatíváját, a filmek optikai rögzítését. Ebben a csoportban ott voltak a nagy gyártók, a kutatóintézetek (Fraunhofer Institute), egyetemek. A feladatokat és az eredményeket is felosztották csoportokba (Layer-ek), melynek során kialakult az MPEG-1, később az MPEG-2 szabvány, ami manapság mindennek az alapja. Mára az MPEG-4 is elterjedt.

Az MPEG mindegyike veszteséges kódolás, amit szoktunk érzeti vagy szubjektív névvel is illetni. Ez azt takarja, hogy a „kidobált” információ által okozott minőségromlást nem fogjuk érzékelni, látni, hallani.

Történetileg először a kutatás kezdődött meg, a kutatóintézetekben került kidolgozásra az a „pszichoakusztikus” modell, amit majd a későbbi ábrákon is megtalálhatunk. Élen járt ebben a Fraunhofer Institut, amely létrehozta azt az eljárást, amely lehetővé tette a hanganyag kb. tizedére történő összenyomását. Hasonlóan, az MPEG képért felelős csoportja megalkotta a mozgóképtömörítés lehetőségét, amit itt csak érintünk.

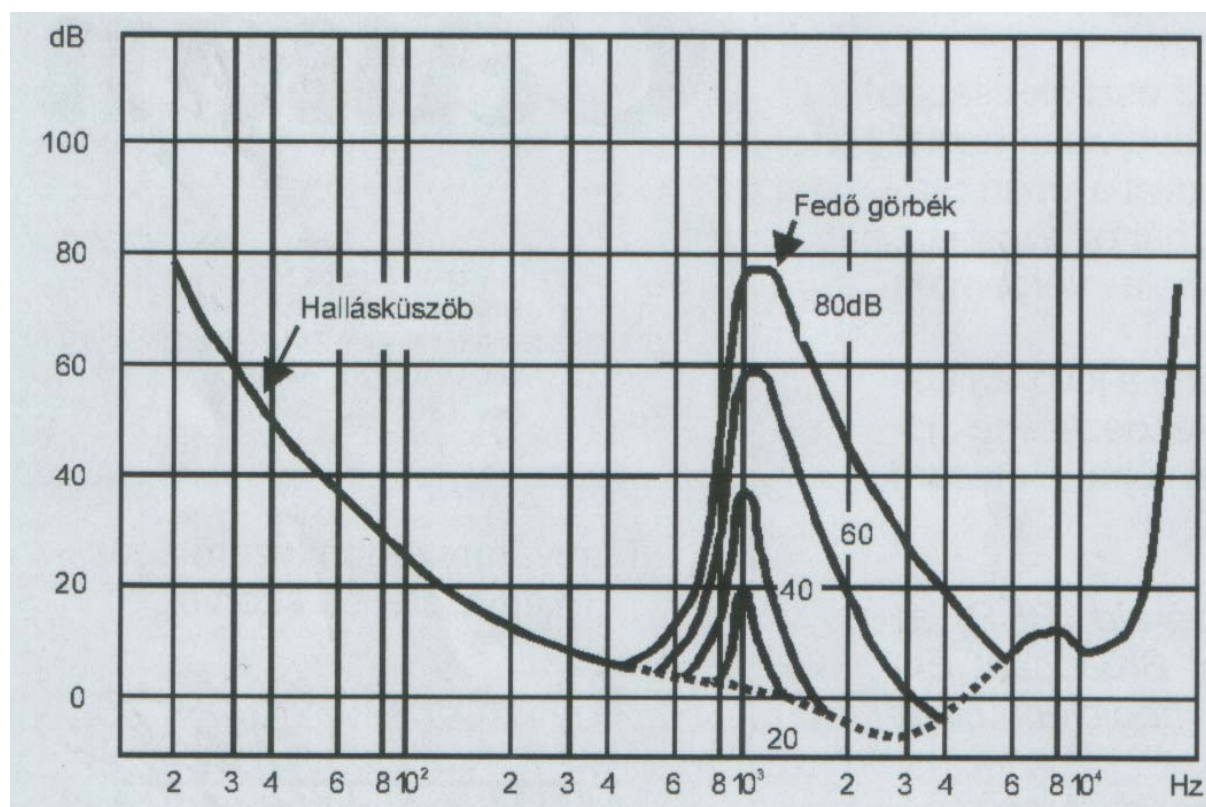
Először az MPEG-1 jött létre. Alapjában **hordozón** történő rögzítésre találták ki (lézerlemezek, VCD). Már ez is több fejezetből áll (video, audio, adat, stb.) Általában az MPEG-2-nél rosszabb minőségű, a kép kisebb felbontású (ha a szabványt követjük) és maximálisan sztereó hangot tudunk rögzíteni. Ez a Video CD alapja, amely kb. egy jobb minőségű VHS felvételnek felel meg, egy CD-n kb. 70-75 perc anyag rögzíthető. Az MPEG-2 **műsorszórásra** lett kitalálva, a digitális tévék MPEG-2 képet. Mivel azonban az MPEG-1 nem tette lehetővé a többcsatornás hangot, így már ezt is belevették az audio szabványba, tehát 5.1 hangot MPEG-2-vel már lehet kódolni (ez nem egyenlő a Dolby Digital-al!). A hordozókon is megjelent így ez a formátum, nagyobb felbontásban, jobb minőségben (SVCD, DVD). Az MPEG-1 kép és hang együttes adatfolyamat 1,5 Mbps sebességű, míg a DVD szabvány megengedi MPEG-2 adatfolyamra a 9 Mbps sebességet is, de már 4-5 Mbps is szinte tökéletes kép és hangminőséget nyújt.

Ebben a tárgyban az MPEG képpel nem foglalkozunk részletesen, annyit érdemes azonban megemlíteni, hogy a látás mozgásra való érzékenységet és a képek egymás utáni redundanciáját használják ki a tömörítéshez. Már a JPEG képek is erősen tömörítettek, az első mozgóképet M-JPEG-nek hívták, gyakorlatilag egymás utáni JPEG-ből álltak, amivel képen

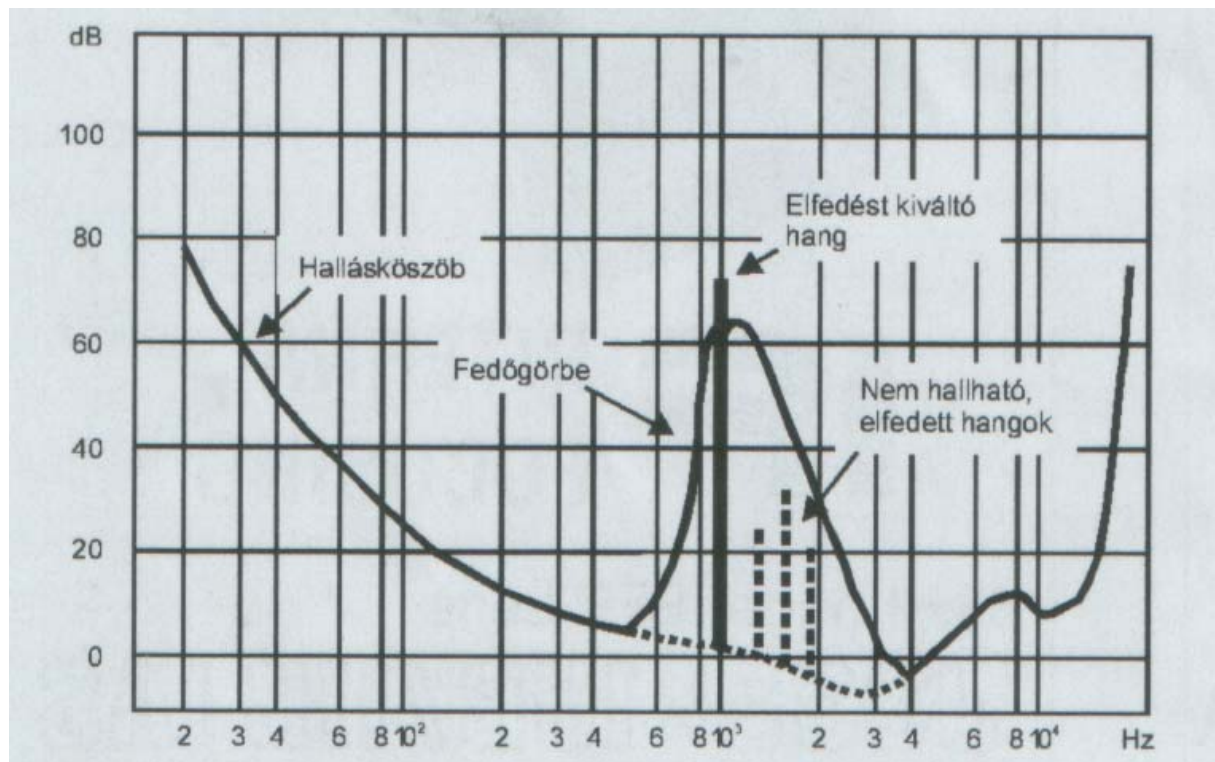
belül megvalósították a tömörítést, de a képek között még nem. A nagy ugrás akkor történt, amikor a blokkalapú mozgásbecsléssel segítségével csak két egymás utáni kép közötti különbséget vitték át.

A hang esetében is a sebességcsökkentő kódolási lépést *forráskódolásnak* nevezzük (ami nem egyenlő a csatornakódolással). Ilyen az MPEG mellett az ATRAC, az ASPEC, a PASC, a MUSICAM is (utóbbit használja a DAB). A csatornakódolás szerepe más, ezt neveztük hordozóhoz igazításnak is, azaz minden olyan kódolási lépés, ami nem a sebességcsökkentést és/vagy a közvetlen hibajavítást szolgálja. A csatornakódoló tesz különbséget ott, hogy az adott bitfolyamot R-DAT-ra vagy DVD-re kell-e írni, esetleg ki kell sugározni.

Az MPEG hang alapja az *elfedés* az idő- és frekvenciatartományban. Ehhez a kódolónak analizálnia kell a beérkező hangot egyrészt az időtartományban (start, stop, rövid, hosszú időablakok), másrészt a frekvenciatartományban (FFT, MDCT). A nyereség azonban nem abból származik, hogy az elfedett hangot vágjuk ki az átviendő bitfolyamból! Ez egy gyakori tévhit. A nyereség a zavar elfedésén alapul (MP3). Arról van szó, hogy amíg a frekvenciatartományban a hangelfedés jelensége él, addig kedvünkre csonkolhatjuk a hangmintákat, mert az ebből adódó kvantálási zaj nem hallatszik.

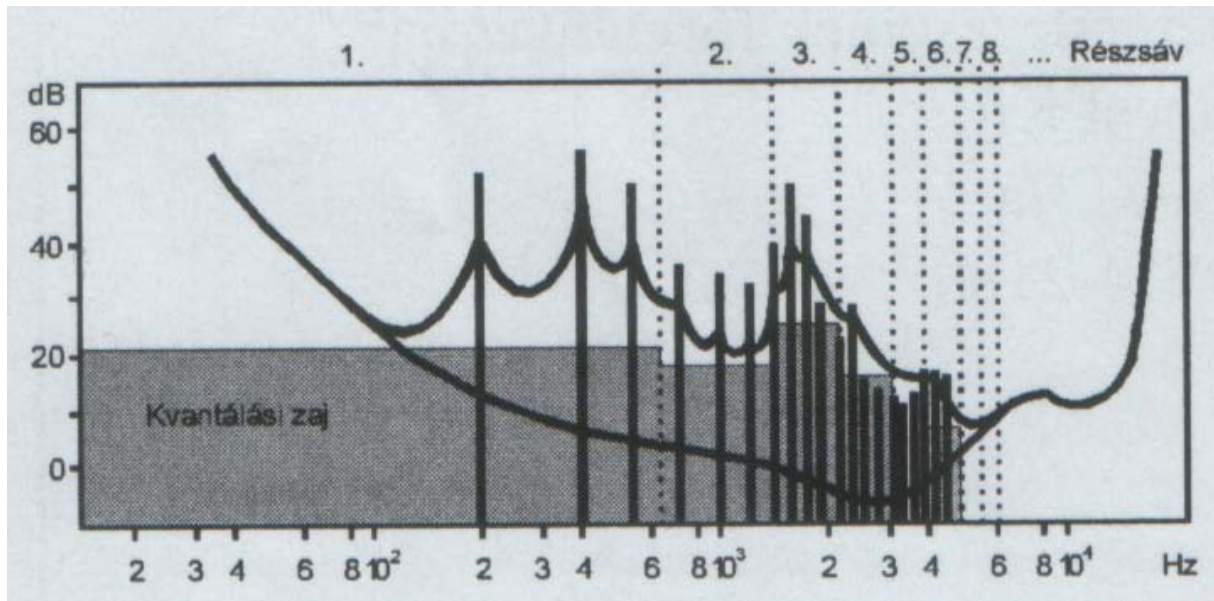


Elfedési görbék a frekvenciatartományban. A hallásküszöb megemelkedik, ha adott dB hangnyomású zavaró hang is lejátszásra kerül (1 kHz-es). Ami a görbe alatt van, az nem hallható.



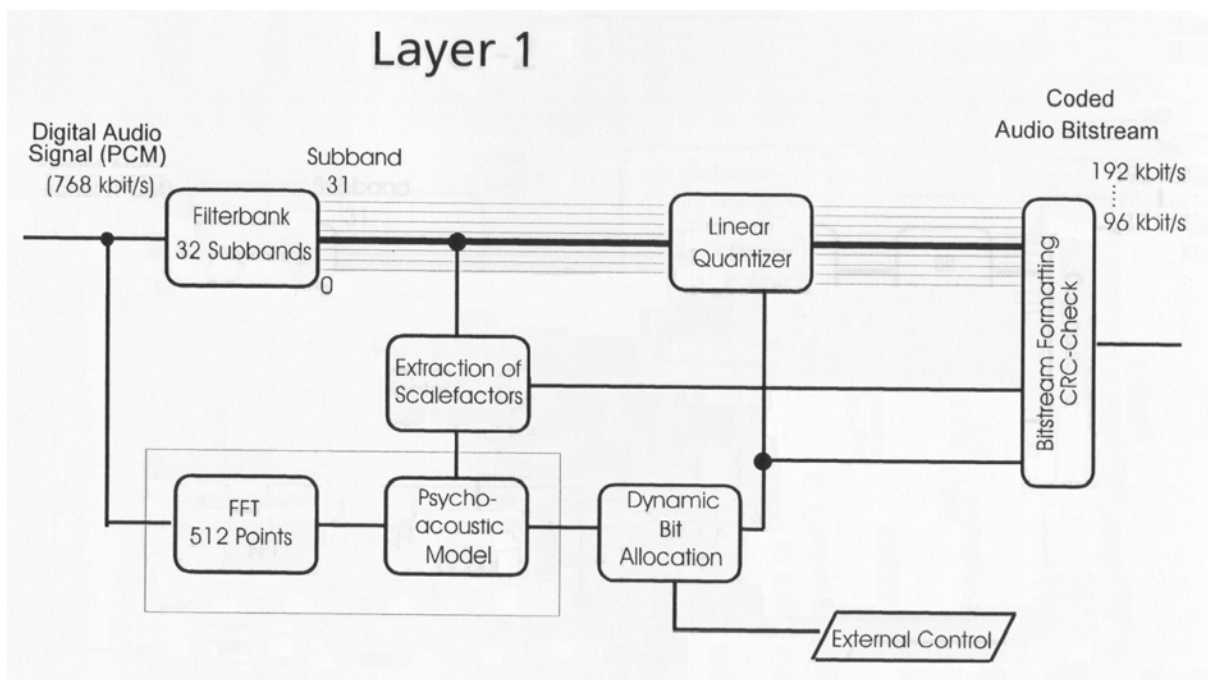
Elfedési görbék a frekvenciatarományban. A hallásküszöb megemelkedik az elfedést kiváltó 1000 Hz-es jel hatására, így a mellette lévő hangok 1-2 kHz között elfedésre kerülnek, nem hallatszanak. A zene összetett és bonyolult elfedési görbét hoz létre, minden időpillanatban mást.

Részletesebben arról van szó, hogy a célunk (CD felvétel esetén) a 16 bites hangminták „megnyirbálása”. Azt már láttuk a kvantálási zajnál, hogy az a kerekítési hiba négyzetes várható értéke: minél nagyobbak a kvantálási lépcsők, azaz minél kevesebb bitet használunk fel a kvantáláshoz, annál nagyobb lesz. Egy bit elvételével a kvantálási lépcsők a duplájára nőnek! A kvantálási zaj pedig minőségromláshoz, nem lineáris torzításhoz vezet, hallható zavart okozhat. De mikor okoz és mikor nem? Ez az, amiben az MP3 kódoló segít: megmondja nekünk, hogy a zeneanyag egy adott időablakában létrejövő pillanatnyi spektrum milyen elfedési görbét hoz létre (ezt nevezzük dinamikus elfedési görbének). Ami ez alatt a görbe alatt van, az nem hallható, tehát nyugodtan megnövelhetjük a kvantálási zajt, mert nem fog hallatszani. A kvantálási zaj egyenletesen oszlik meg egy időablakban, sem a túl hosszú, sem a túl rövid nem jó, ezért léteznek különböző ablakok a szám elején (start) és végén (stop), illetve közben.



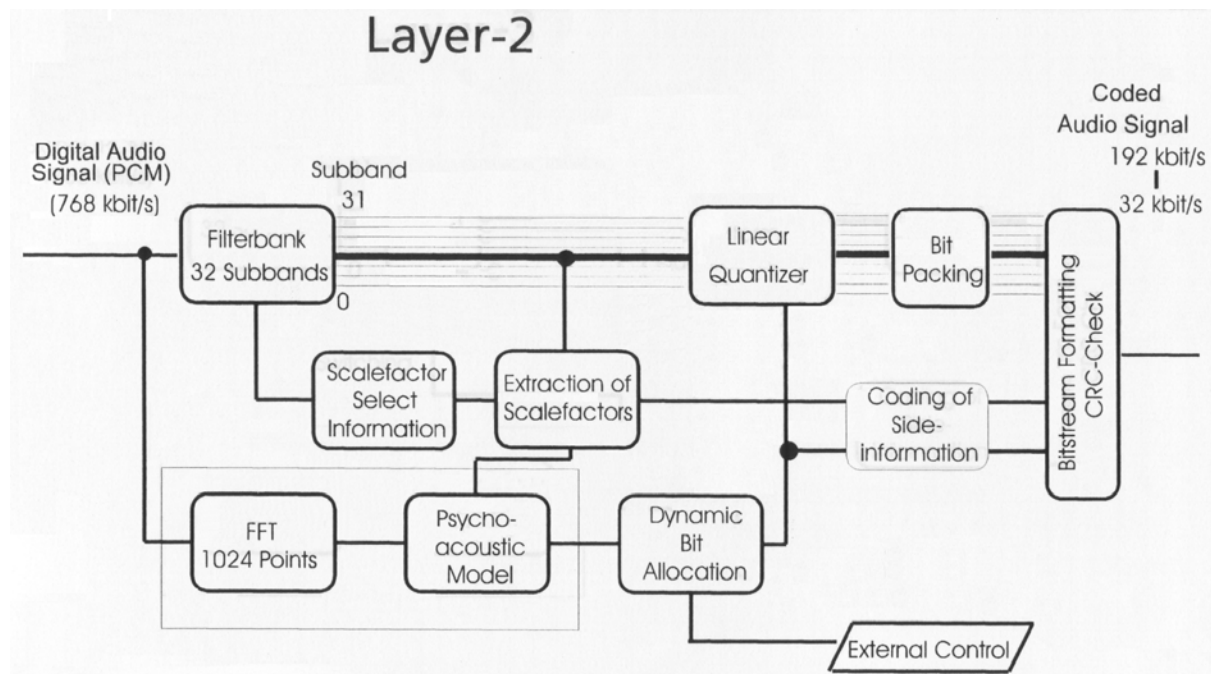
A különböző rész-frekvenciasávokban ún. dinamikus elfedési görbéket számol ki a kódoló. Az alatta lévő megemelt szintű kvantálási zaj nem hallható, így mindaddig csökkenthetjük a 16-bites mintákat (akár 3-4 bitesre is), amíg az ebből származó kvantálási zaj az elfedési görbe alatt marad. Az elfedési görbék állandóan változnak, azok kiszámítása az adott időablakban történik a kódoló által.

Az MP3 kódoló nyitott, azaz mindenki tetszőlegesen tud hozzá „belső” készíteni, így különböző kóderek különböző minőséget adhatnak (a felhasznált pszichoakusztikus modellől függően, lásd ábrák). Ami szabványos az eljárásban az a bitfolyam kerete, felépítése és a bitsebesség (128, 160, 192, 256 stb. kbps). Az új kódolók képesek VBR (variable bit rate) kódolásra is, azaz időablakonként változó bitrátát alkalmazni. Az alábbi három réteg mutatja a kódoló fejlődését, minél nagyobb egy réteg, annál jobb a minőség és/vagy annál jobban tömörít azonos sebesség mellett.



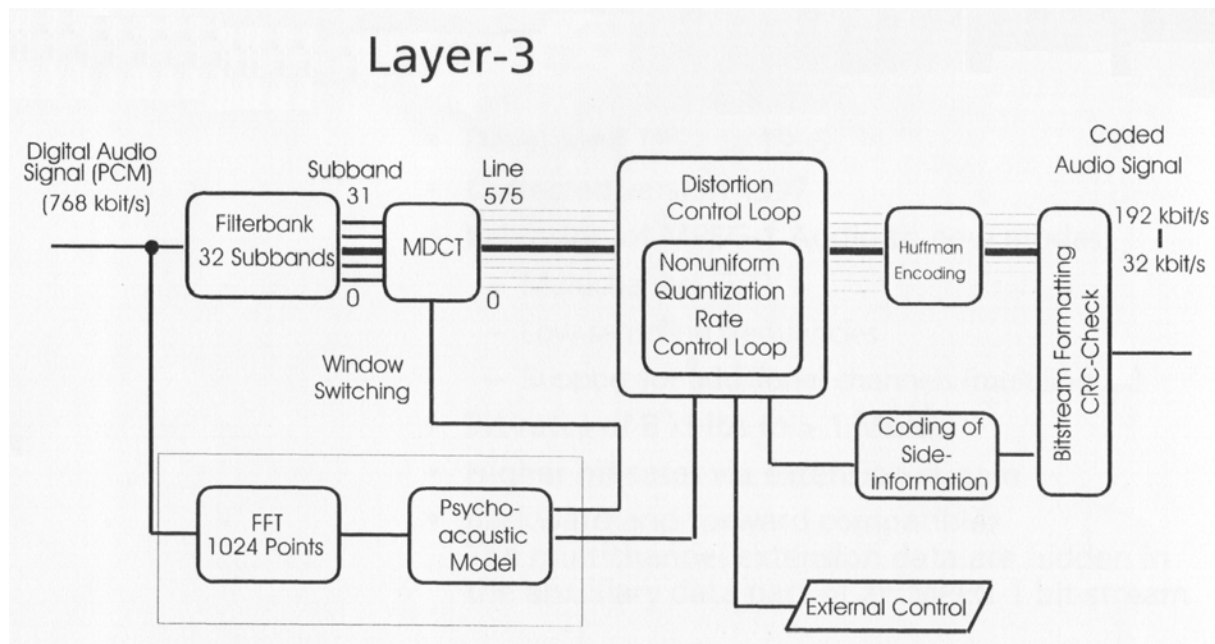
Az MPEG-1 Layer-1 kódoló a bementén digitális PCM folyamatot fogad. Az ábra most egy csatornára mutatja a kódolás folyamatát. A 768 kbps a stúdióból származó sebesség ($48 \text{ kHz} * 16 \text{ bit}$), ezt fogjuk lecsökkenteni 96-192 kbps-ra.

Az eljárás során ún. részsávokra bontjuk a beérkező 20 Hz-20 kHz-es sáv szélességű hangot, mégpedig 32 darab 750 Hz-es sávra 0-24 kHz-ig. Ezek azonos szélességű sávok 0-750-1500 Hz-stb...-24000 Hz-ig. Az eredeti jel bekerül a pszichoakusztikus modellbe is, ami itt csak egy blokk, de ebben van elraktározva a hallás elfedési tulajdonsága. Mivel ez frekvenciában vizsgálja a spektrumot, FFT-re szükség van. Ez a modell minden egyes részsávhoz meghatározza az ún. dinamikus hallásküszöböt (elfedési görbét), azaz azt az érvényes aktuális hallásküszöböt, amit a zene általi elfedésből kiszámolt. A skálafaktorok lesznek azok az információbitek, amelyek hordozzák ezt az információt. Ennek segítségével a bitek „újrakiosztása” (dinamikus rekvantálása) következik be, más néven a csonkolás. Ha ez is elkészült, az egész bekerül a bitfolyam formázásba, mely szabványos keretet és sebességet ad neki, ellátja CRC ellenőrző kóddal is.



A Layer-2 valamivel fejlettebb és jobb, hiszen 1024 pontos FFT-t használ, valamint a skálafaktorok kezelése is javult: különböző skálafaktorokat lehet kiosztani kis, közepes és nagy frekvenciatartományok számára, ami a minőséget javítja, ugyanakkor bevezet egy új rendszerinformációt, a skála faktor kiválasztásához (SCFS).

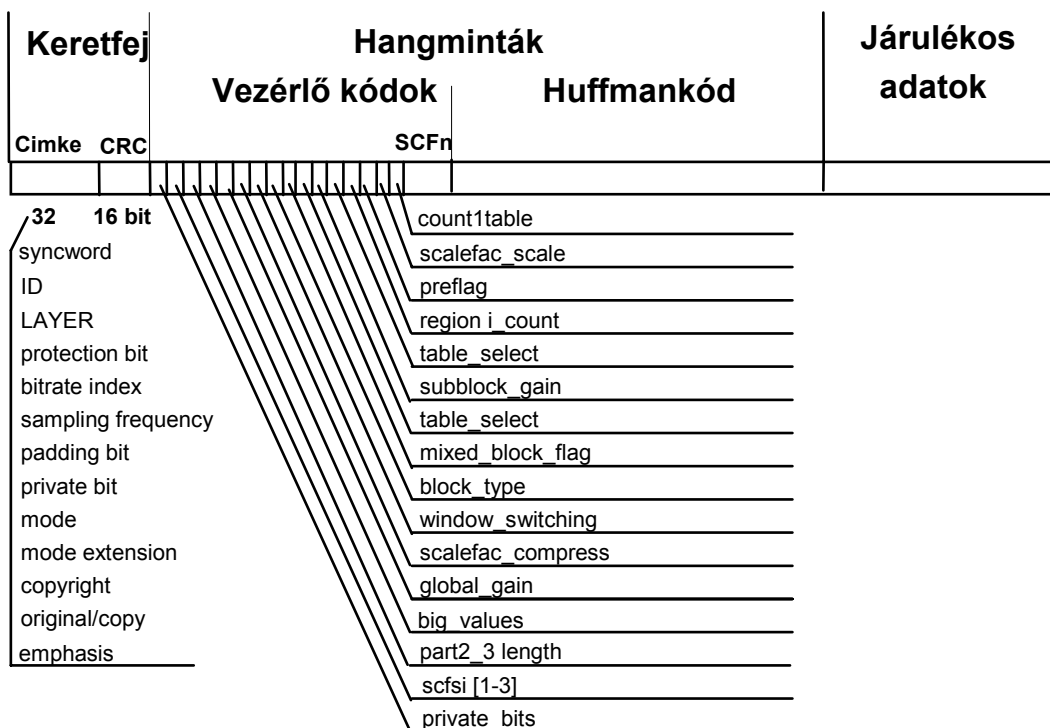
Az adatokat nagyobb csoportokban kódoljuk. A kereteket $3*12*32$ mintából készíti egy csatornára, ami 1152 mintát jelent. A Layer 1 tizenkét mintát fog csoportba alsávonként, míg a Layer 2 háromszor ennyit.



A Layer-3 az MP3. Az MP3 tehát nem az MPEG-3, hanem az MPEG-1 Layer III kódolója. A minőség javítására beépítettek egy MDCT algoritmust is, amely bekerül egy torzítás vizsgáló hurokba, amely megvizsgálja, hogy van-e torzítás rendszerben a folyamat során. Az MDCT szűrőblokkja tovább osztja a szűrők kimeneteit a jobb spektrális felbontás érdekében. A hosszú MDCT blokk 36 mintából, míg a rövid 12 mintából áll. A rövid blokk az időtartományban hatásos (tranzienseknél).

A „bit packing” helyett egy Huffman-kódoló szerepel. Ez a kódoló a fix kódszavak helyett változó hosszúságú szavakat használ: a gyakrabban előfordulókat rövidebb, a ritkébbakat hosszabb kódszóval írja le. Alkalmaznak még ún. futamhossz-kódolást is, amivel nagyobb lesz a tömörítés határfoka (WinZip-elvű, az egymás után következő hosszú bitsorozatot nem darabonként viszi át, hanem megmondja milyen hosszú: pld. 100 darab nullát egyszerűbb átvinni úgy, hogy „száz darab van a nullából”, mint száz darab bittel). Mindkét eljárás, a Huffman és a futamhossz kódolás is veszteségmentes módszer, amelyet természetesen kedvünkre használhatunk egy veszteséges kódolás utáni újabb adatredukcióhoz.

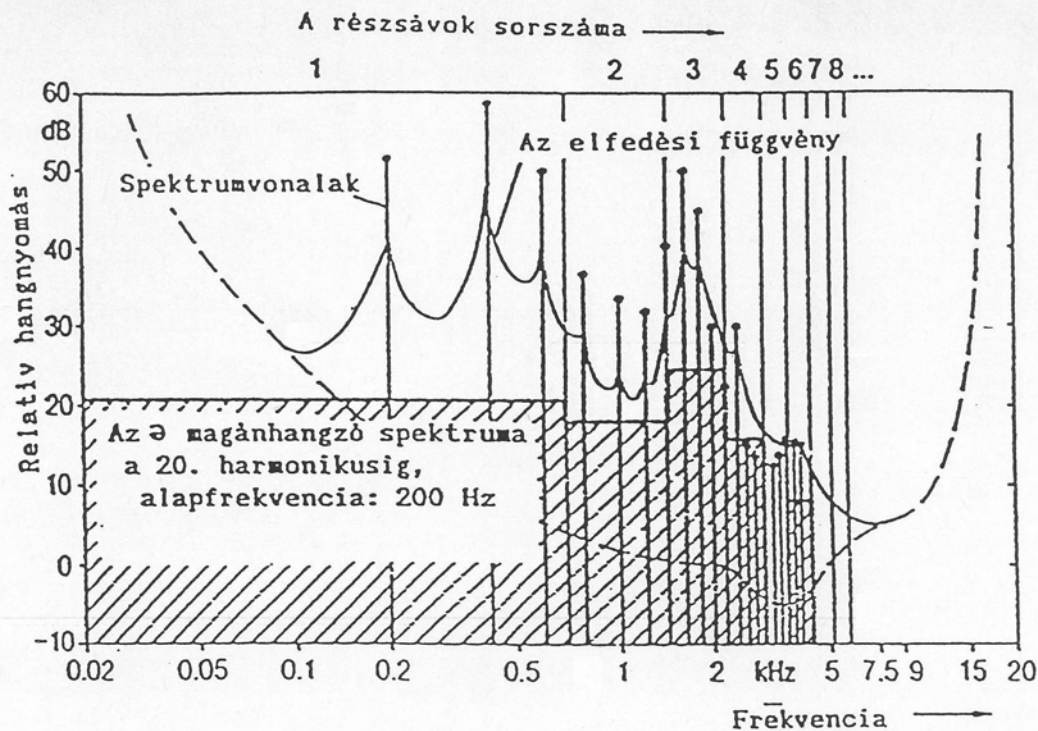
A minták tehát *alulról és felülről* is korlátozva lesznek, csonkoljuk őket. Az alsó részek (LSB bitek) elhagyása a dinamikus bitkiosztás és a rekvantáló feladata a kvantálási zajszint függvényében. Annyit lehet levágni a minta aljából, hogy az így megnövekedett kvantálási zaj, az adott ablakban és az adott sávban, ne lépje túl a pszichoakusztikus modell által kiszámolt éppen aktuális hallásküszöböt. A felülről határolás egyszerűbb, hiszen az adott sávban és időablakban a felesleges MSB-helyiértékű nulla biteket a minták tetején levághatjuk. Ha nincs kihasználva az összes 16 bit (márpedig extrém dinamikánál és hangerőnél is nagyon ritkán fordul ez elő), rengeteg felesleges nullát viszünk át. Az adott időablakban lévő minták közül a legnagyobb (leghangosabb) határozza meg a maximális amplitúdót, és az általa ki nem használt felső nullabiteket levágjuk. Ezt a tényt a skálafaktorban adjuk meg, ebből fogja tudni a dekóder, hogy mennyi nulla került kidobásra.



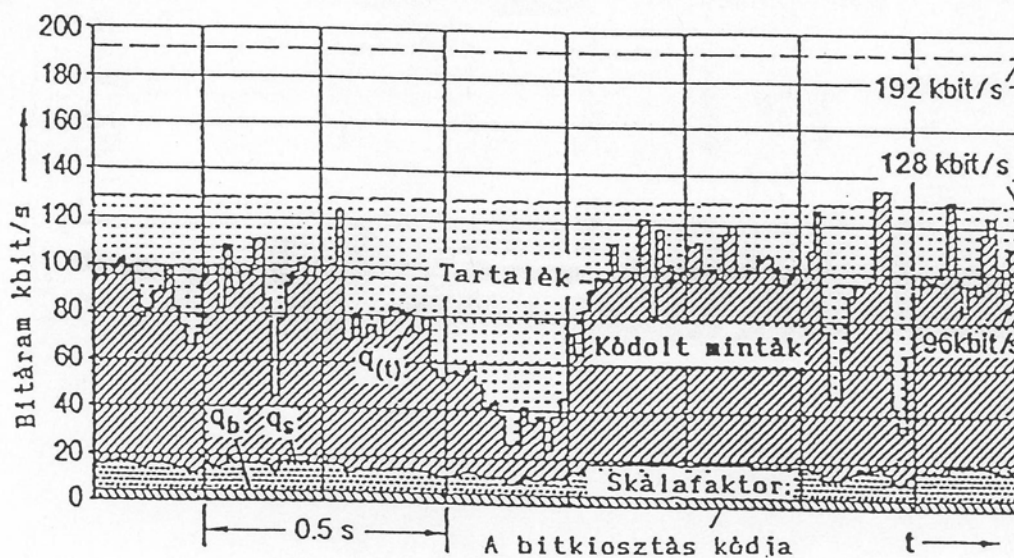
III. RÉTEG

MP3 blokkformátum.

Az MP3 címkéjében van az ID tag, layer infó, bitrate, sample frequency stb. Nagyobb bitsebességhez nagyobb fájl fog létrejönni. A Huffman kódoló kb. 15-20 % hatékonyságú. Nagy előnye, hogy a torzításvizsgáló képes a bitrátába bele nem férő részeket átcsoportosítani. Így ha pld. 128 kbps-al dolgozunk, de egy adott időablakban szükség lenne a torzítás elkerülésére 160 kbps-re, akkor a hiányzó információt be tudja pakolni oda, ahol viszont csak 96 kbps-re van szükség.



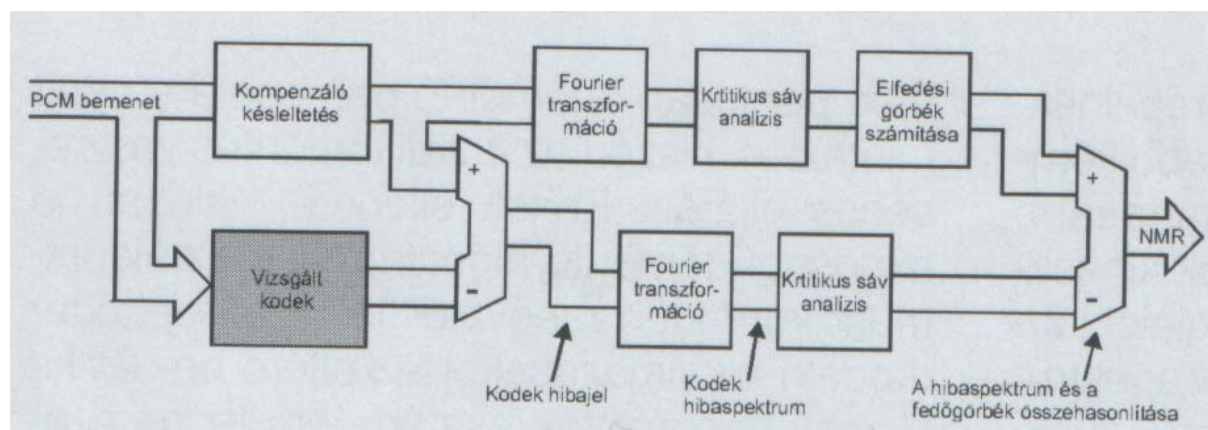
A 200 Hz alapfrekvenciájú ə (angol) magánhangzó 20 harmonikusának spektruma és az abból számítható dinamikus elfedési görbe. A vonalkázott területre eső kvantálási zaj nem hallható (az annak megfelelő hangerő esetén).



Az ISO/MPEG-Audio kód II. RÉTEG-ének tipikus bitáram képe (hibavédelem nélkül). A pontozott rész azt a tartalékot mutatja, amely 128 kbit/s bitáramnál adódik.

A címke és a skálafaktor nagyon hibaérzékeny. Mivel a jel-zaj-viszony nem igazán értelmezhető fogalom, helyette tömörített jeleknél a NMR-t használják (Noise Masking Ratio), mert a hagyományos módszerek nem igazán mérvadóak a minőségre.

Az érzeti kódolók nemlineáris eszközök, melyek átviteli paramétereiket működés közben változtatják. Az érzeti kódolóknál csak az számít torzításnak, amit meg is hallunk és lényegtelen, hogy hagyományos torzításvizsgálatok mit hoznak ki (a célunk éppen az ugyanis, hogy jól megnöveljük a torzítást, de ne halljuk meg azt). Ezért szubjektív mérési módszerekre van szükség.



Az NMR mérőrendszer blokkvázlata.

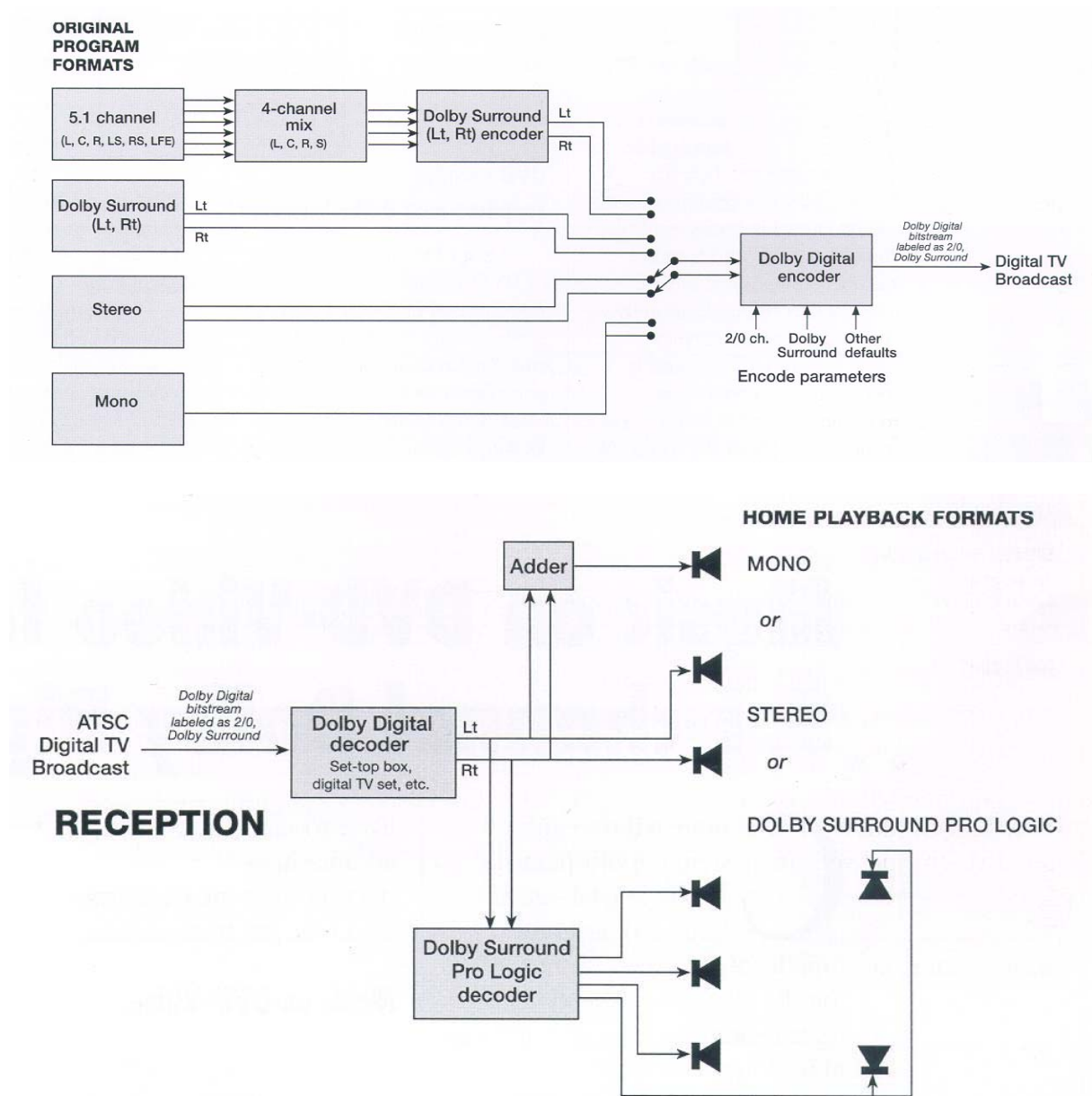
Az ilyen NMR-mérőrendszer bementére nem szabályos mérőjel, hanem műsor, zene, esetleg zaj kerül. Az első összegző hangmintánként kivonja az eredeti (késleltetett) hangmintákból a kodek kimeneti PCM mintáit. A kodek egyszerre tartalmazza a kódert és a dekódert is (COder és DECoder = CODEC). Az eredmény a kodek hibajele. Az eredeti PCM jel fedőgörbéi FFT-vel és sávanalízissel történik (utóbbi tartalmazza a pszichoakusztikus modellt). A kodek hibajele is átkerül a frekvenciatartományba, majd részsávokra bomlik. A második összegző részsávonként határozza meg a fedőgörbék és a hibajel távolságát – ez az NMR. A sávonként dB-ben megadott NMR-adat pozitív volta hallható hibát jelez, hiszen a kvantálási zaj ilyenkor magasabb a részsávban az elfedési görbe szintjénél. Az NMR tehát minősíti a kódolót.

A dekóderek általában lényegesen egyszerűbbek a kódereknél, az előálló PCM minták azonban szinte soha nem egyeznek meg az eredeti bementi mintával (tekintettel a veszteséges kódolásra).

[illegible]

106

Az MPEG-2 és a DD nem kompatibilis egymással, hanem konkurenszek. A „harcból” a DD fog győztesen kikerülni, holott eredetileg azt csak a DVD-re szánták, műsorszórásra nem.

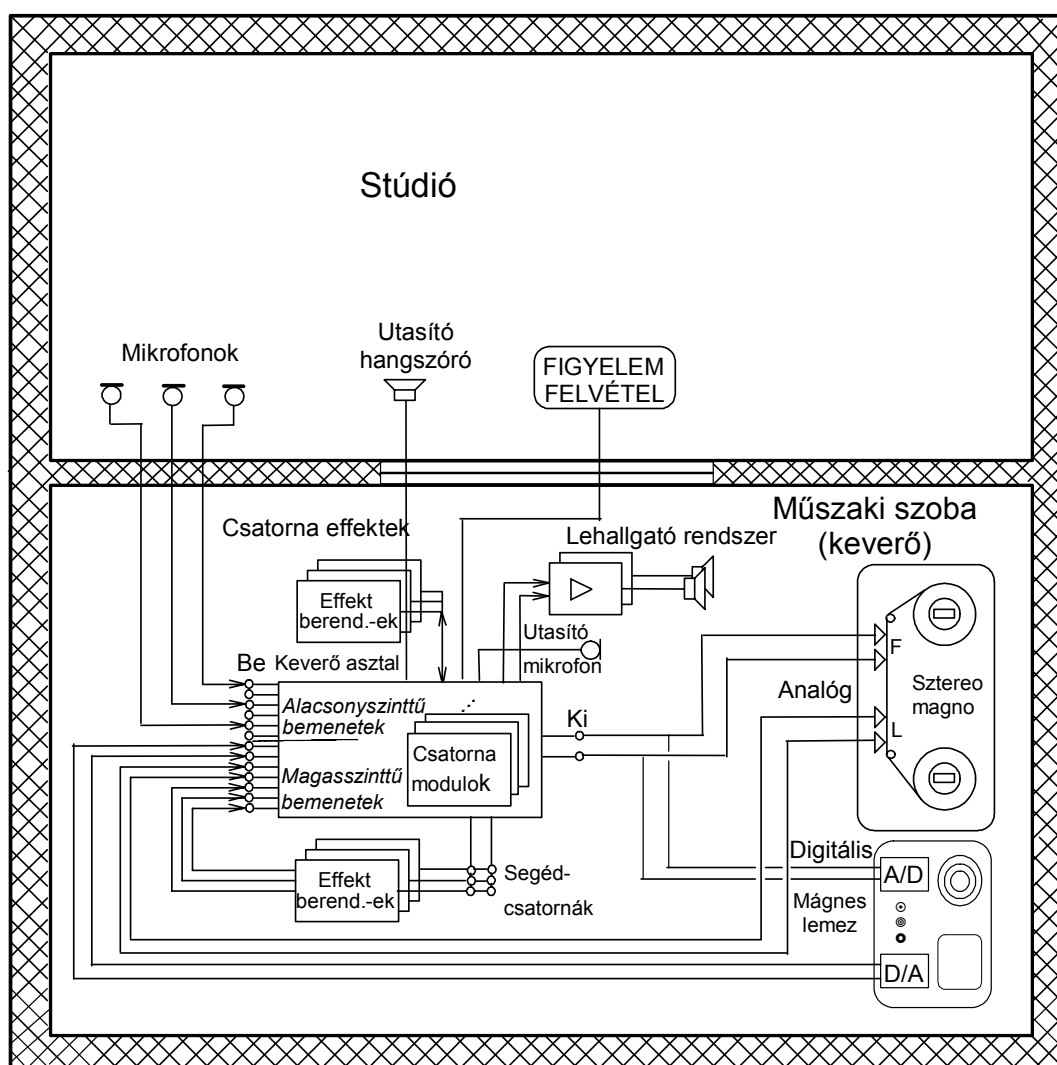


DVB adás és vétel DD dekóderrel.

4. Stúdiótechnológiák

A stúdiók különböző felépítésűek attól függően, mi a céljuk. Más az elvárás egy rádióriportot közvetítő rádióstúdió vagy egy hangfelvételt készítő zenei stúdióval szemben.

A felvételi stúdió a keverőszobától elkülönített, hangcsillapított helység. Nem süketszoba, azaz nem nulla az utózengési idő, hanem általában 0,5-1 s körüli. A felvétel tartalmazza a helység akusztikai tulajdonságait, így annak akusztikai tervezése fontos lépés. Az utasítások hangszórón, vagy gyakrabban fejhallgatón keresztül érkeznek a zenészeknek. Ugyanezen keresztül történik a rájátszásnál a lejátszás is. Gyakran üvegfal választja a két helységet el egymástól, hogy a szemkontaktus megmaradhasson.

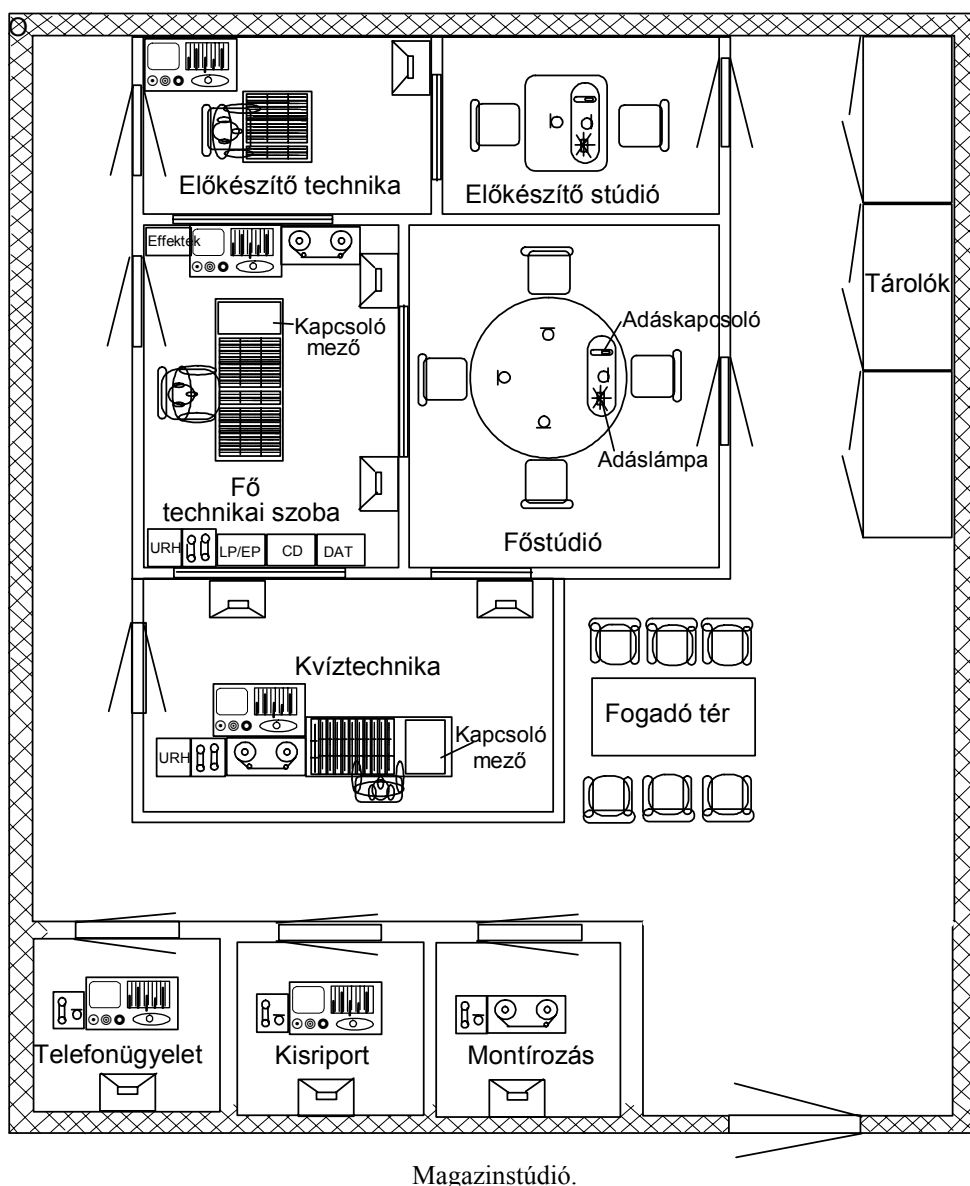


A stúdió felépítése.

A keverőszoba legfontosabb eleme a keverőasztal (mixer). Ez általában ténylegesen egy nagy asztal, de logikailag ugyanezt a szerepet a PC monitorja is átveheti. A keverőasztal bemenetei közül a legfontosabbak a mikrofon bemenetek (ún. alacsony szintű bemenetek), amelyet az asztalon belül vagy külső egységgel erősíteni kell és kondenzátor mikrofonok esetén a tápellátást biztosítása is szükséges. A magasszintű bemenetekhez (Line in) kapcsolódnak a

rögzítők, magnók, CD lejátszók/felvevők és esetleg bizonyos külső effekt berendezések. A lehallgató rendszer (monitorozás) sztereó erősítőből és két hangsugárzóból áll, ezen hallgatja a hangmérnök vissza a felvételt. A csatornamodulok tartalmazzák a szintszabályzókat (potméterek) és egyéb csatornák közötti ill. csatornán belüli szabályozókat.

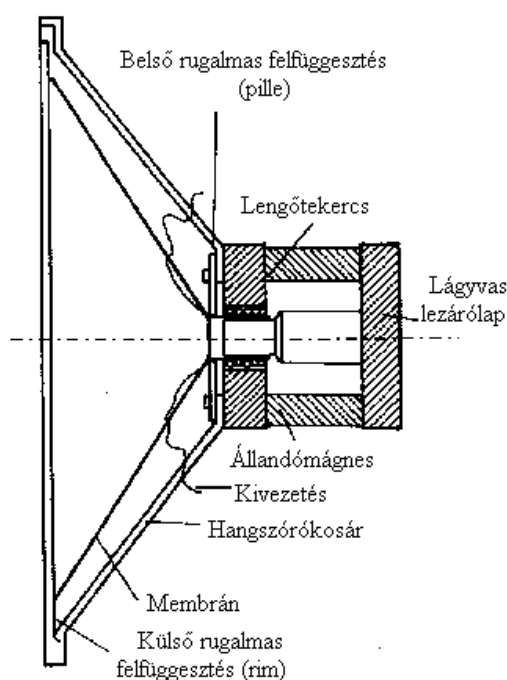
A magazinstúdió rádióknál található. Több helységben folyik a munka, az előkészítés. Elvárás, hogy része legyen a rendszernek a telefonos kapcsolat (amikor telefonálókat lehet a műsorba kapcsolni) vagy URH-kapcsolat (közlekedésfelügyelet, rendőrség stb.). A technikus feladata a fő technikai szobában ezek és a bejátszások összehangolása (keverése), a riporter és a riporter-alanyok mikrofonjainak ki/be kapcsolása stb. Általában egy rádióstúdióban valaki mindig hallgatja a kisugárzott adást is és ellenőrzi azt (gyakran késleltetés is van benne, különösen, ha betelefonálókat kapcsolnak be vagy riportot készítenek).



4.1 Elektroakusztikai átalakítók

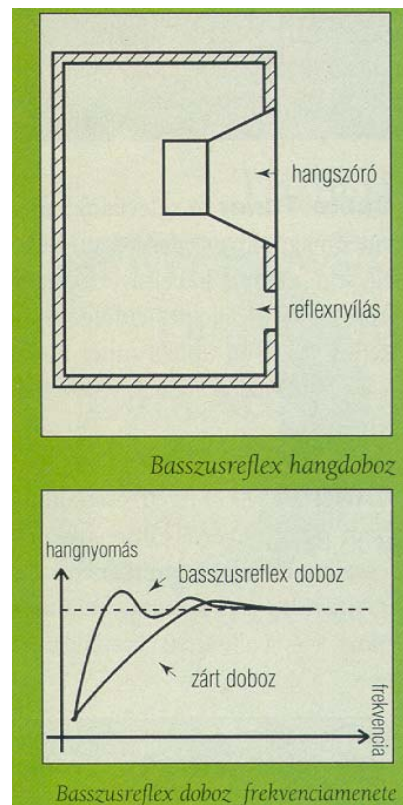
Az elektroakusztikai átalakítók olyan eszközök, amelyek az elektromos energiát hangenergiává, a hangenergiát pedig elektromos energiává alakítják át. Az átalakítás két

lépésben történik. Az első lépésben az elektromos energiát alakítjuk mechanikai energiává. Ezeket az eszközöket részleteiben a műszaki akusztika tárgyban tárgyaljuk, itt csupán a stúdiótechnikai felhasználáshoz szükséges alapvető információk kerülnek elő. 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 az átalakító elektromos A hangjelek széles választékát kell továbbítani, illetve rögzíteni. Ennek megfelelően sokféle, különböző típusú és minőségű mikrofonokat használunk a hangvétel céljaira. A mikrofonok jellemzésére az érzékenységet, az érzékenység frekvenciamenetét és az iránykarakterisztikát szokás megadni. Az *érzékenység* az egységnyi hangnyomás hatására leadott feszültséget jelenti. A *frekvenciamenet* az érzékenység frekvenciafüggését jelenti. Az *iránykarakterisztika* a beérkező hanghullámok irányától való érzékenységgfüggést fejezi ki. A mesterséges hangtér előállításának utolsó lépése az elektromos energia hangenergiává alakítása. Ennek legfontosabb eszköze a hangszóró. A mikrofonokhoz hasonlóan a hangszórók is különféle kivitelben készülnek. Legnagyobb példányszámban az úgynevezett *dinamikus* hangszóró van forgalomban. Az állandó mágneses mágneskör légrésében található a lengőcséve, ami a kúpos membránhoz csatlakozik. A membrán tengelyirányú mozgását a külső és a belső megfogások (rim, pille) biztosítják. A mágneskörhöz rögzített kosár tartja a rimet, és a hajlékony tekercskivezetések is a kosáron végződnek. A kivezetéseken a tekercsbe áramot bocsátunk. Az áram és a mágnes tér kölcsönhatásaként tengelyirányú erő keletkezik. Az erő mozgásba hozza a nagy felületű membránt és ezáltal hanghullámokat kelt. Kisebbségi igényekre (pl. AM rádióvétel) elegendő egy hangszóró. A teljes hangfrekvenciás sávot több - két vagy három - különböző frekvenciasávra tervezett hangszóróval lehet lesugározni.



Dinamikus hangszóró.

A fejhallgatók speciális, csak a fülre korlátozódó hangteret állítanak elő. Közzükségleti célokra leggyakrabban *dinamikus* hallgatókat gyártanak. Ezek felépítése olyan, mint egy lekicsinyített dinamikus hangszóró. A kis méretekkel megvalósítható a szélessávú átvitel. 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 (megszünteti az ún. akusztikus rövidzárat) és ezáltal a mélyfrekvenciás átvitelt javítja. Szokás még a mélyfrekvenciás átvitel növelésének érdekében reflexnyílást nyitni a dobozra.



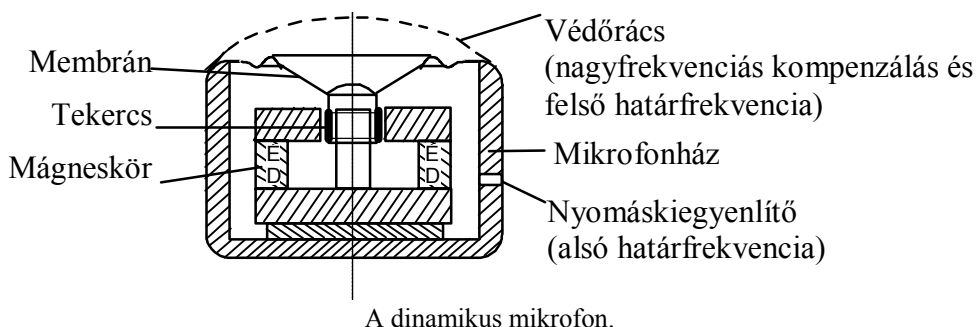
A reflexnyílás szerepe.

A mikrofonok legfontosabb paraméterei:

- működési elv
- frekvenciaátvitel (átviteli függvény), az érzékenység frekvenciamenete
- fázisátvitel
- zaj
- membrán méret
- érzékenység
- max. elviselhető hangnyomásszint
- iránykarakterisztika és annak állíthatósága
- kimeneti impedancia
- fizikai kiképzés
- tápfeszültségigény.

A *dinamikus* mikrofonok kevésbé jó minőségűek, mint a kondenzátor mikrofonok. Gyakorlatilag 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. Felső határa kb. 17-18 kHz és eléggé keskenysávú az átvitele (ezért alkalmaznak akusztikus kompenzálást a fedéllel és a mágneskör megfűrásával). Olcsók és tápfeszültséget sem igényelnek. Hangosítási célra még megfelelő, de stúdiófelvételre már kevésbé, mérési célokra pedig egyáltalán nem. Koncerten általában korlátozott a hangfrekvenciás tartomány kb. 15 kHz-ig, hiszen inkább a hangerősség a cél. Basszusfelvételhez létezik pld. korlátlan hangnyomásszintet is elviselő dinamikus mikrofon is.



A kondenzátor mikrofon elvben aluláteresztő jellegű, de a felső törésponti frekvenciája is magas. Az átalakítás elve, hogy a membrán (fémfólia) és az ún. alsó fegyverzet mögötte egy lötyögő fegyverzetű kondenzátort alkot, melynek légrése változik a membrán mozgásának hatására. Ezáltal a kondenzátor kapacitása is (a távolsággal fordítottn) arányosan módosul. Ezek a mikrofonok DC feszültséget igényelnek (ún. előfeszítést vagy prepolarizációt) a működéshez, ezért a kapacitás megváltozásakor elektronok áramolnak a fegyverzet felületére vagy onnan el, azaz a hangrezgéssel arányos áram fog folyni. Ez általában kicsi, ezért erősíteni kell, így a kondenzátor mikrofon nem csak tápfeszültséget, hanem erősítőt is igényel (pre-amp, előerősítő). Ez vagy a mikrofon nyelével vagy külön egységként vásárolható meg. Hangstúdióban inkább ilyeneket használunk.

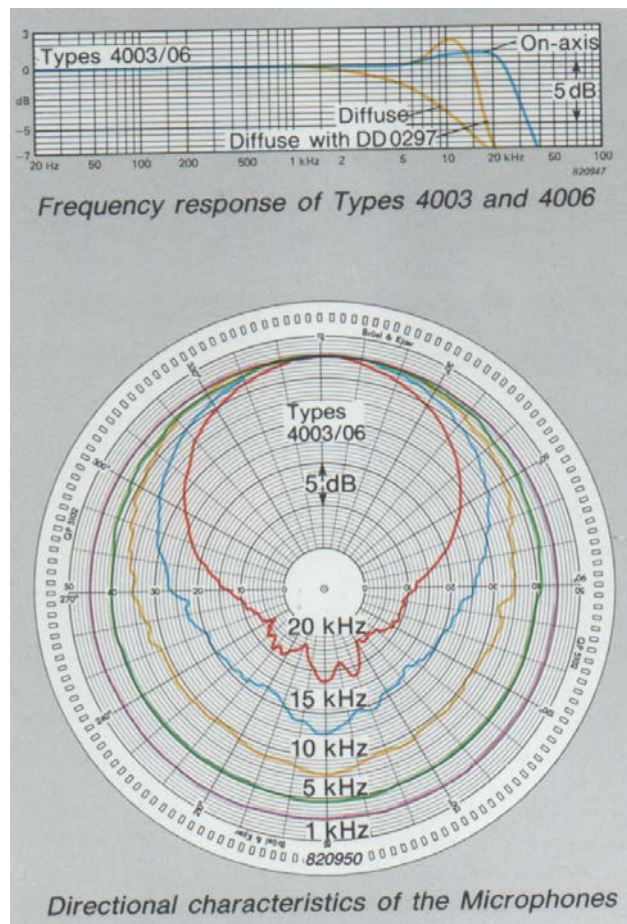


Kondenzátormikrofon.

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, hiszen annál érzékenyebb: adott hangnyomásszinthez nagyobb feszültség tartozik (jobb jel-zaj-viszony) ill. kisebb hangnyomásszinten is használható az eszköz, mert lesz mérhető kimenő jelszintje. Ez a paraméter – többek között – függ a membrán méretétől: minél nagyobb a membrán felülete, annál nagyobb az érzékenység, hiszen több hanghullámot tud „befogni”. Nagy membránú mikrofont csak drágán lehet gyártani, kis méretűt azonban olcsón is. Utóbbiak előnye, hogy a hangteret a kis membrán kevésbé zavarja, ezért jobb (pld. kis méretű szólóhangszernél fontos lehet). A másik cél kis mikrofonokhoz az elrejthetőség (színházi hangosítás, tévériport, mozgó felvétel), és már 6 mm átmérővel is lehet csúcsminőséget gyártani! Az átviteli függvény az érzékenységet (p/u) mutatja a frekvencia függvényében: amplitúdó- és fázisspektrum formájában, amit szeretnénk egyenletesnek mérni. Popzenénél népszerűek azonban a saját hangképpel rendelkező mikrofonok (magas kiemelés, szólóének erősítés). Ugyanakkor a szélszivacs megakadályozza a „dohogást”, ha pedig az átvitel 100 Hz környékén már erősen leesik, akkor az átvitel jó lesz akkor is, ha az énekes a szájába veszi a mikrofont. A stúdióban a szélszivacs helyett inkább a popfiltert használják, ami keretre erősített szivacsanyag, és ugyanezt a célt szolgálja (illetve, hogy ne köpjének bele a mikrofonba). A hangfelvételt nem befolyásolja, de színpadi hangosításkor nem lenne kényelmes. Néhány mikrofon kapcsolóval állítható átvittel rendelkezik. Általában a „lépészaj”, amit a mikrofon az állványon át vesz fel, csökkenthető egy 50 Hz körüli szűrővel. A felső határolás ritkább, célja az énekhang kiemelése lehet. Ez történhet elektronikusan, de az akusztikai felépítés megváltoztatásával is.

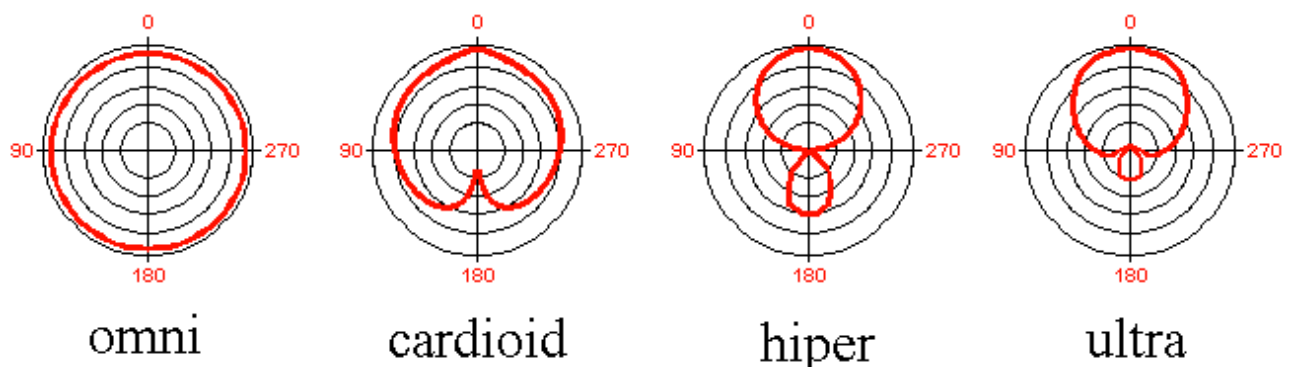
A mikrofon *saját zaja* az a feszültség, ami nulla bemenő jel (csend) esetén is kilép belőle, itt az alacsony szint az elvárás. A *maximális hangnyomásszint* túllépése károsíthatja a mikrofont. Ez viszonylag ritka eset, de a lábdob, a rézfúvos vagy a nagyon hangos gitárerősítő már veszélyforrás lehet.

Az iránykarakterisztika a legfontosabb paraméter, az átviteli függvény térbeli változást írja le: különböző irányokból milyen a vétel erőssége (mint egy antennánál). Általában szintfelületekkel ábrázoljuk, ahol az azonos vételi pontokat kötjük össze, hasonlóan a térképeken, ahol az azonos magasságú pontokat kötjük össze.



Íránykarakterisztika.

Kisfrekvencián kevésbé irányítottak a mikrofonok, míg nagyobb frekvencián egyre jobban. Az ún. puskamikrofon pld. erősen „ránéz” a hangforrásra. Ha szemléletes példát akarunk mondani, a gömbkarakterisztikájú, irányérzékenlen átvitel olyan, mint a szabadon lógó villanykörte: minden irányból egyforma fényesség és sugárzás tapasztalható, míg az irányított karakterisztika olyan, mint egy reflektor. A legjobban kedvelt kis mértékű irányítottságú karakterisztika a vese (kardioid). Ezek szemből maximális, oldalról és hátulról csökkentett érzékenyséűek.

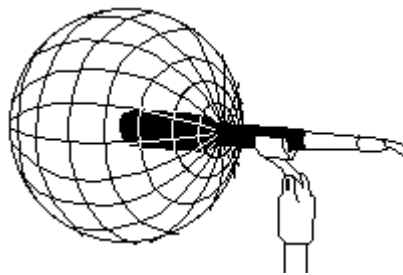


A szuperkardioid még irányítottabb, a hiper pedig a legjobban. Létezik még a nyolcas karakterisztika, de ezt manapság ritkán alkalmazzák.

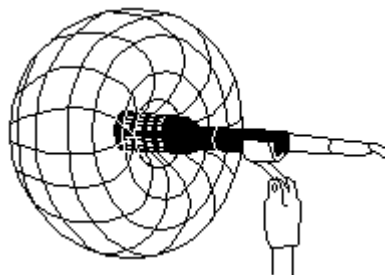


Jellegzetes nyolcas karakterisztika

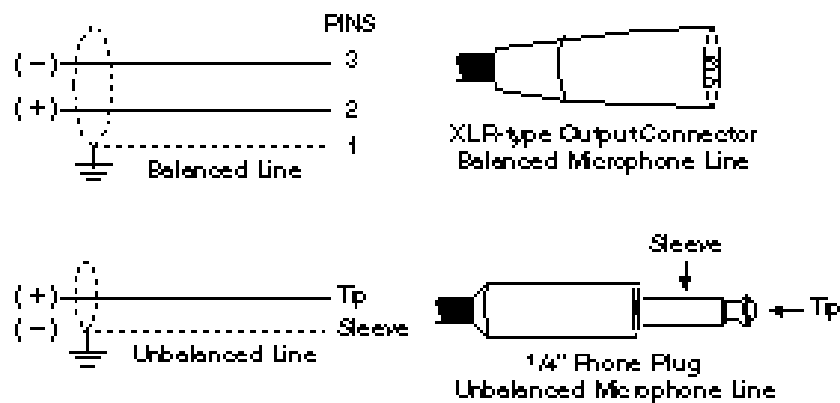
A *kis impedancia* is előnyös egy mikrofonnál, ez ugyanis arányos a saját zajjal, így ha illesztjük az eszközt erősítőhöz, keverőhöz, jobb eredményt kapunk.



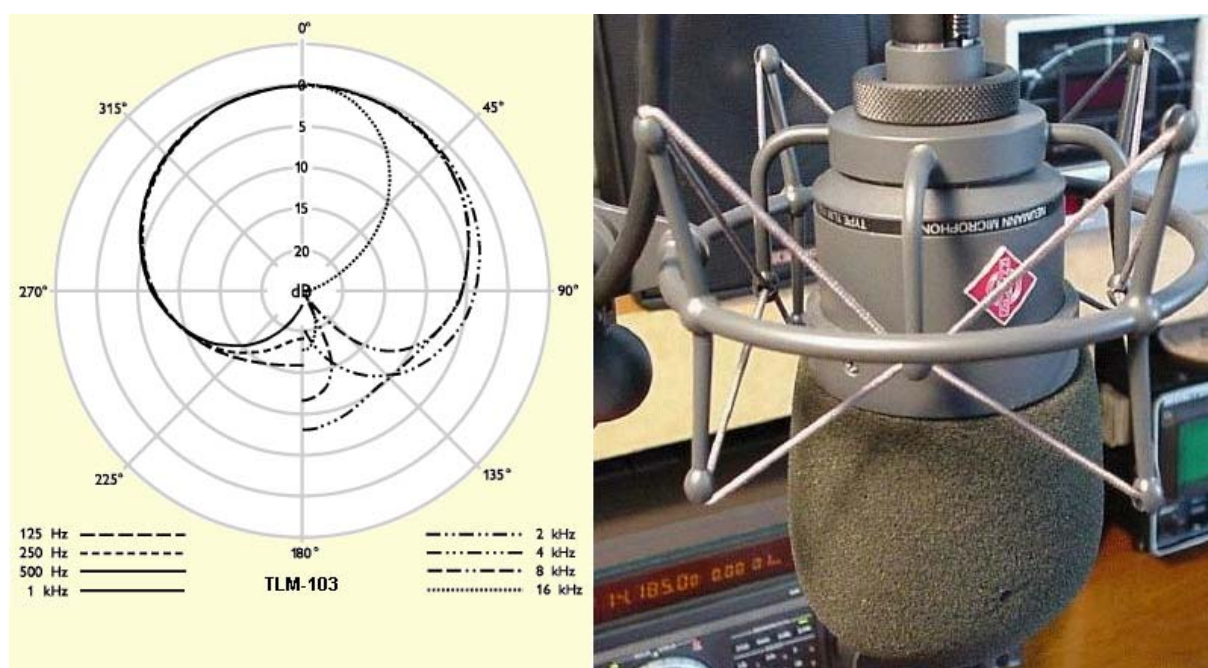
Gömbkarakterisztika. A mikrofon irányérzéketlen (omnidirectional), emrt minden irányból azonos a vétel, mindegy hogyan tartjuk a mikrofont felvétel közben.



Kardioid karakterisztika



XLR és JACK dugó – a mikrofonok tipikus csatlakozói.



Neumann kondenzátormikrofon stúdiófelvételhez és az iránykarakterisztika frekvenciafüggése.

Az *erősítők* feladata, hogy lineáris átvitelrel, frekvenciafüggetlenül erősítsék a jeleket. Elektronikában már megismertük, hogy milyen erősítő osztályok léteznek a működés szempontjából:

A osztály: Olyan erősítőfokozat, amelyben az erősítendő jel pozitív és negatív jelperiódusait is erősítjük. Igen magas a nyugalmi áram, amely a maximális kimenő áramnak a fele (terhelésen folyó áram fele), így az áramfelvétele igen nagy. Melegszik és elméleti hatásfoka se lehet jobb 50%-nál, viszont lineáris.

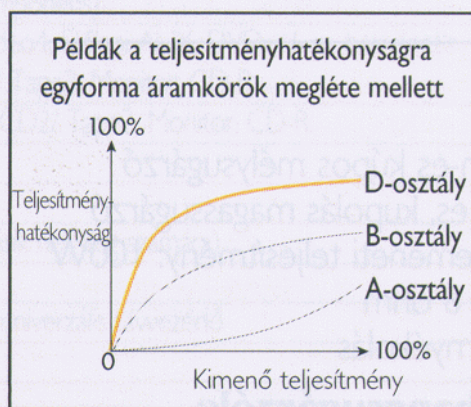
B osztály: Olyan erősítőfokozat, ahol a pozitív és a negatív jelperiódust külön elemek erősítik. Nulla a nyugalmi árama, így csak a bemenő jel függvényében melegsznek, hatásfokok jó. Hátránya a jelátmenetek és kapcsolások esetén fellépő torzítás.

AB osztály: az A és B közötti beállítási kompromisszum: jó hatásfok, kis torzítás.

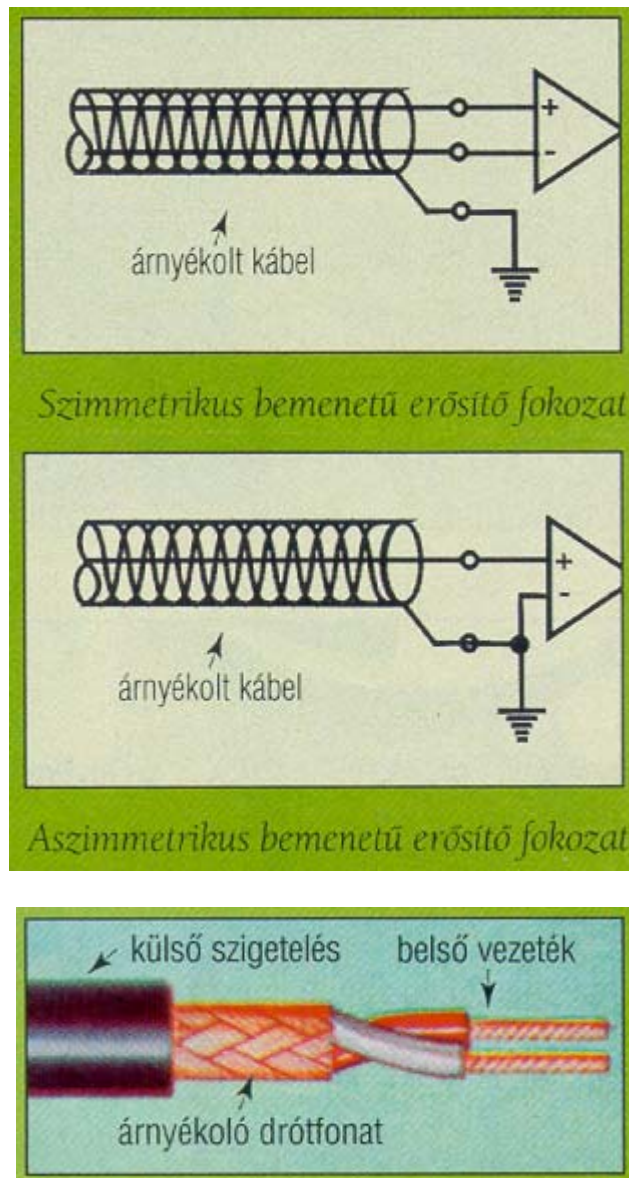
D osztály: kapcsoló üzemmód, erősítés és fogyasztás csak kapcsoláskor. Jó hatásfok. Digitális impulzusokkal dolgozik. Csak az idő kb. 50-60%-ban folyik áram, így kisebb a veszteség és a hűtőborda. A megbízhatóság is jobb. Majdnem 90% hatásfokkal működik.

D-osztályú erősítő

Mivel a D-osztályú erősítő még az A-, B- és C-osztályú erősítőknél is kisebb teljesítményvesztéssel rendelkezik, a hőtermelés és a hőkiszugárzás nagyon alacsony mértékű. Ezáltal a D-osztályú erősítő - habár meglehetősen kis méretű - erőteljes mély hangokat képes előcsalni egy mélyhang-kiemelőből.



Az erősítő és a kábel kapcsolata is fontos, mely lehet szimmetrikus vagy nem szimmetrikus, a kábel maga pedig árnyékolt vagy nem árnyékolt.



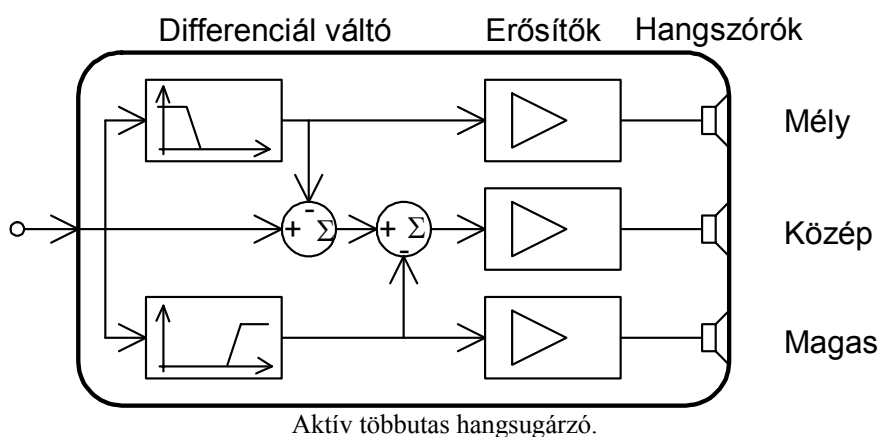
4.2 Stúdió-lehallgatási rendszerek

A lehallgató rendszer a stúdió egyik kritikus része, hiszen ezen hallgatjuk vissza a készterméket, itt dől el, milyen lesz a hangzás. A lehallgatás azonban szubjektív folyamat, nem mérhető objektíven annak jósága. Ide tartozik a hangsugárzó, az erősítők, a kábelek és a terem akusztikája. Ezt nevezzük monitorláncnak.

A stúdiómonitor felirat sokszor megjelenik a hangsugárzón, ez még nem jelenti azt, hogy ezzel meg is oldottuk a problémát. Valójában akkor beszélhetünk erről, ha pontosan azt halljuk, amit rögzítettünk és az eszköz kibírja a stúdiómunka hosszas megpróbáltatásait (időben és dinamikában). A nagy frekvenciaátfogás és lineáris átvitel elvárás, ezt azonban nehéz megvalósítani.

Az erősítőknek is nagy teljesítménytartalékkal kell rendelkezniük. Nem csak a nagy teljesítményű lehallgatáshoz, hanem a torzítatlan tranziensek is igénylik ezt. Védő áramkörökre van szükség, mely védi az erősítőt és a hangsórókat a leégéstől, a gerjedéstől, nagy hangerejű impulzusoktól. Továbbá az erősítő hangsugárzóhoz való párosítása sem egyszerű feladat.

Az aktív többutas rendszerek a legjobbak, ez tartalmazza az erősítővel egybeépített hangsugárzót, általában további (teljesítmény) erősítőt és aktív keresztváltót. A többutas megoldás mindenképpen előnyös, így a mélyfrekvenciák nem modulálják meg (Doppler hatás) a magasakat, már egyszerű kettős kábelezéssel is jó eredményt érhetünk el. Tény, hogy a kábelek okozhatnak hangzásbeli különbséget, de ennek szerepe nem olyan lényeges, mint amennyire misztifikálják.



A lehallgató helység akusztikája a legnehezebben megragadható paraméter. Az interferencia miatt a direkt hangsugárzás keveredik a visszaverődésekkel, amelyek kioltásokat, erősítéseket hozhatnak létre. Ezért általában kevés párhuzamos felület lehet a szobában és sok hangelnyelő anyag. Nem a süketszoba a megoldás, hanem az utózungési idő beállítása és a reflexiók megszüntetése. Egy gyakran hangoztatott megoldás erre a köztéri monitor, hiszen azt közel tesszük a hangmérnökhöz, aki csak a direkt hangterjedéssel szembesül, így az akusztikai kialakítást megspóroljuk. Ezek a monitorsugárzók azonban arra valók, hogy egy szerényebb képességű hifin ellenőrizzük a végterméket, hogyan szólna otthon. Ezek általában nem adják vissza a teljes frekvenciasávot (a mélyek hiányoznak, de a falhoz közelítve a hangsugárzót erősödik a lesugárzás) és a hangzáshoz hozzá tartozik a lehallgatási helység zengése is. A közeli falak és felületek hatását ugyancsak nem lehet kiküszöbölni, különösen a keverőpultra helyezett típusok magas hangjai verődnek vissza a pultról (ezért jobb a monitorokat a keverő mögé és nem rá helyezni). Arra is számítsunk, hogy a hangsugárzó környezetében lévő akadályokba beleszámít a felvételi és a lehallgatási szobát elválasztó üvegablak, ami a legrosszabb hatást okozza. Érdemest ezt elfüggönyözni, eltakarni a keveréskor. Ennek ellenére sokan élnek ezzel a kompromisszummal, mert olcsó megoldás, de nagyon fontos a hangsugárzó minősége.

Itt érdemes megemlíteni a sarokhatást: sarokba (a falakhoz egyre közelebb) helyezett hangsugárzó mélyfrekvenciás átvitele módosul, általában erősödik. A legnagyobb ingadozások az átvitelben akkor következnek be, ha a három faltól egyenlő távolságra van a hangsugárzó. A hangzás azonban mélyhiányt is okoz, így pld lehet hogy 125 Hz-en túl erős döngés, míg 70 Hz-en eltűnő mélyek lesznek az eredményben. A jó beállításokat próbálkozással lehet elérni, ekkor a legrosszabb, akár 20 dB-es ingadozásokat 3 dB alá szoríthatjuk. Jó kiindulás, ha a sugárzót beállítjuk az oldalfal mellé szorosan, a hátsótól minimum 1,7 m távolságra – ha a terem mérete ezt lehetővé teszi.

A megfelelő hangsugárzók kiválasztása meghallgatás útján történik, többnyire páros összehasonlítással (ún. AB teszt vagy ABX teszt). E módszer kritikus része a zene, a műsoranyag, amely a felvételi körülmények miatt nem megfelelő alapanyag. Kizárólag a saját készítésű, torzításoktól és szubjektív keverésektől mentes felvétel alkalmas a tesztelésre. Ilyenkor nincs is szükség az AB tesztre, elég a felvételek során kialakult hangemlékekre hagyatkozni. A doboznak függetlennek kell lennie a műsortól: éppúgy nagy dinamika és kis

torzítás kell popzenéhez és klasszikushoz is. A legjobb, ha a hangszórót felfüggesztjük. A másik jó megoldás a vékony fém (esetleg fa) állvány. Az állvány ugyanis „mellékrezgéseit” révén hat a hangképre, holott csak a membránnak szabadna rezegnie. Az aktív hangsugárzók jobbak egy stúdióban, ahol az erősítőhöz illesztés ilyenkor gyárilag megvalósul. A jól méretezett dobozt nehéz tönkretenni, a hirtelen impulzusok sem károsítják, viszont a passzívoknak nagyobb a kínálata. A váltószűrőt is jobbá lehet tenni, az azonos típusú dobozok jól hasonlíthatnak egymásra. Jegyezzük meg azt is, hogy a kétutas hangsugárzók impulzusátvitelére jobb a többutasoknál, amely az alkalmazott szűrőtechnika elméletéből fakad.

4.3 Mikrofonozási technikák és felvétel

A stúdiótechnológiák része a felvétel, a rájátszás, az összeírás (kópiakészítés) és a montírozás. A felvétel rájátszás során is képbe kerül, hiszen rájátszáskor már meglévő felvételt játszanak be a zenésznek, aki a hiányzó hangszert, éneket „rájátssza” ugyanarra a sokcsatornás rögzítőre. Az összeírás, keverés, vágás (editálás, montírozás) folyamata során a felvételre került csatornák közül a hangmérnök elkészíti a sztereó mixet, különböző arányban hozzáadva adott csatornákat az első két hangsugárzóhoz. Ha a felvételből sokcsatornás mix készül (5.1), akkor azt külön kell elvégezni. Az angol szakirodalom a recording, mixing és mastering szavakat használja a felvétel három fázisára, melyek bármelyike lehet analóg vagy digitális. Ezek betűjelét gyakran megtaláljuk a CD-k borítóján is hárombetűs kóddal: AAD, ADD vagy DDD. Legjobb minőséget utóbbitól várhatunk, ahol a teljes munkafolyamat digitális.

Rájátszáskor a lejátszás fejhallgatón át történik. A felvétel sorrendje elvileg tetszőleges, gyakorlatilag a ritmus (dobok, taps, gép dob stb.) kerül rögzítésre, melynél gyakran egy külön sáv a metronómot tartalmazza. Ezután jön a kíséret, ritmusgitárok, basszus(gitár). A vokál néha megelőzi az ének felvételt, ami tipikusan az utolsó fázis. A szólóhangszerek (gitárszólók, szaxofon stb.) a kíséret után kerül rögzítésre. Néha azonban egyszerre játszanak fel minden sávot.

A korai analóg keverőasztalok nagy hátránya volt, hogy a beállítások nem tárolhatók. A motorikusan vezérelhető potméteres fajtáknál már lehetőség volt a szintszabályozók állásának elmentésére (floppyra). A digitális keverőknél azonban könnyen gyorsan lehet ún. snapshot-ot készíteni a szabályozók állásáról, melyeket aztán visszatölthetünk és a munkát ugyanott, ugyanazokkal a beállításokkal folytathatjuk, ismételtethetjük meg.

A montírozás legfontosabb célja, hogy a hibás részeket kiküszöbölje. Egy élő koncerten ugyanis nem marad meg egy hibás, hamis hang, a lemezre azonban nem lehet rögzíteni. Sokszor felvesznek egy gitárszólót, éneket és abból a legjobbat kiválasztva, összevágva hozzák létre a kész felvételt. A kézi vágás az analóg világban ollóval történt. Két szalagot 45 fokos dőlési szögben elvágtak és összeragasztották. Így a mágnesrétegek nem ugrásszerűen találkoztak, hanem „finoman” történt meg az átkeverés. Nagy hátránya volt, hogy nincs benne „undo” funkció, és nem lehet „visszacsinálni” a vágást. Másrészt pontosan sem lehet vágni, nagyon nehéz volt a beszéd és az ének vágása (annak ugyanis része a levegővétel is, amit nehezen lehetett eltávolítani vágáskor). Digitális szalagokat a DASH magnóknál lehetett kézzel vágni (lásd korábban), és ott vágáshelykiegyenlítővel interpolációval vagy dupla csíksűrűségnél hibamentesen lehetett előállítani. Ezek azonban már muzeális technológiák, a mai nem-lineáris merevlemezes editorokban (ilyen a PC-n futó egyszerű wav-editor is) már minta-pontossággal lehet elvégezni digitálisan a műveleteket a mintákon (erősítés = szorzás stb.). Ha pedig belegondolunk, hogy 96 kHz-es mintavételnél, ami manapság természetes a stúdiókban, másodpercenként 96000 minta áll rendelkezésre, akkor beláthatjuk ennek a pontosságát. A lemezalapú rendszerek személyi számítógéppel vagy célprocesszorral

rendelkeznek. Nagyfelbontású képernyő, egeres vezérlés, több GB-nyi háttértár áll rendelkezésre.

Korábban sztereó felvételhez két mikrofont használtak intenzitációs vagy időkülönbséges sztereofónia elvén. Már láttuk a bevezetőben, hogy ezek egyenértékűek. Időkülönbséges esetben két *azonos iránykarakterisztikájú* (általában gömb) mikrofon helyeznek el egymástól adott (pár méter) távolságban és így a bal-jobb csatorna jele automatikusan adódik. Intenzitációs esetben két különböző iránykarakterisztikájú (vagy ritkán azonos, de eltérő szögben álló) mikrofont helyeznek egy pontba. Ezeket koincidencia mikrofonoknak is nevezik. Ekkor a sztereó-hatás az által adódik ki, hogy egy adott irányból beérkező hang a két mikrofonban az eltérő iránykarakterisztikával lesz „súlyozva”, azok eltérő erősséggel (hangossággal) fogják azt venni. Az alábbi ábra ún. ekvivalens iránykarakterisztikákat mutat. XY-mikronozásnak nevezzük az első megoldást, amikor a végeredmény a bal és a jobb csatorna jele. MS-mikronozásnak nevezzük azt, amikor a kimenő jelek az összeg (mono, mitte) és a különbségi jelek (stereo, seite). Utóbbi inkább a modulációhoz alkalmas, előbbi a hangfelvételhez. A kettő azonban teljesen egyenértékű, hiszen

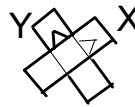
$X = \text{bal csatorna} = B$

$Y = \text{jobb csatorna} = J$

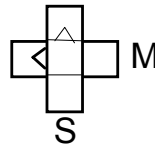
$M = J + B$

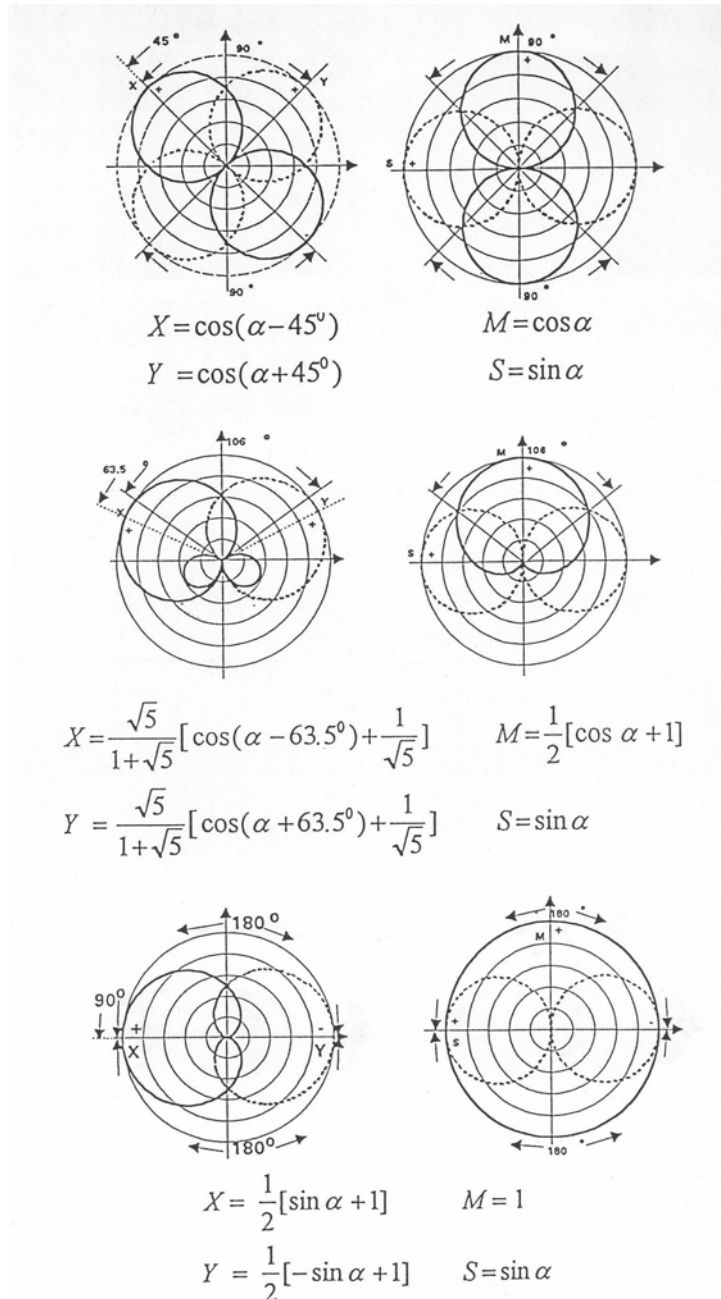
$S = J - B$

X-Y technika



M-S technika





Az egyenértékű fontosabb iránykarakterisztikák és egyenleteik intenzitációs szterohangfelvételek készítésére

A sztereó térhatás növelés tehát az S-csatorna érzékenységének a növelésének felel meg. Például a felső ábra bal oldalán két nyolcas karakterisztikájú mikrofon van egy pontban elhelyezve, melyek tengelye 45 fokot zár be. Így a szemből jövő (M) hangot mindketten azonos érzékenységgel vesznek. Ha a két tengely bezárt szöge kisebb, akkor ezzel az M-csatornát erősítjük, mert egyre nagyobb lesz a két karakterisztika közös területe (szélsőséges esetben egybe esik, ekkor nulla fok a bezárt szög és mindkét mikrofon ugyanazt veszi, nincs sztereó hangkép). Ha viszont a tengelyeket egyre jobban szétnyitjuk, egyre kisebb lesz az M-csatorna érzékenysége és nő az S-csatornáé. Más szóval ilyenkor a mikrofonok által bezárt szöggel tudjuk a sztereó-hatást erősíteni vagy csökkenteni. A melléte található, ezzel teljesen egyenértékű módszer, ha a két nyolcas mikrofont merőlegesen helyezzük el, ekkor az egyik az

M-csatornát, a másik meg az S-csatornát rögzíti. Az S-csatorna érzékenységének növelése az S-mikrofon érzékenységének a növelésével érhető el.



Kardioid (vese) karakterisztikájú koincidencia-mikrofonok intenzitásos sztereófelvételhez.

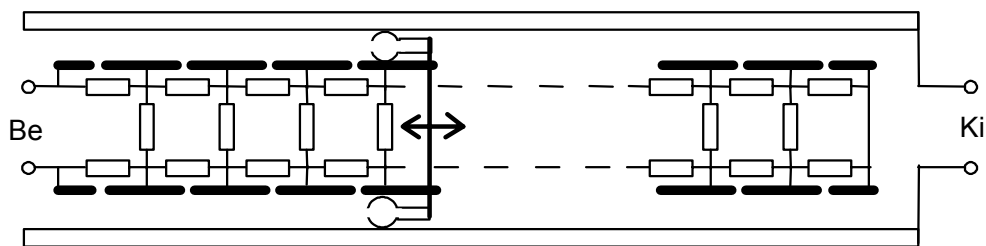
Hasonlóan, két kardioid mikrofon felvétele is kiváltható egy kardioid és egy nyolcas segítségével. Manapság ezek már nem lényeges dolgok, hiszen sztereó felvételt nem két mikrofonnal végzünk, hanem sokkal, és az előálló 8-10-20 csatornából keverjük ki a sztereó végeredményt.

Jegyezzük még meg a speciális műfajes felvételeket, amelyek nem terjedtek el. Ilyenkor egy emberi bábú dobhártyájának helyén lévő két mikrofon rögzít. Így a természetes irányhatás felvételre kerül (többé-kevésbé), melyet aztán fejhallgatón keresztül kell lejátszani. Ez körülményes és drága, a felvételek hangszórós lejátszásra és nem fejhallgatósra készülnek! Így elvileg, ha CD-t fejhallgatón át hallgatunk, azzal rontjuk az irányhatást és elvileg korrekter áramkörökre lenne szükség.

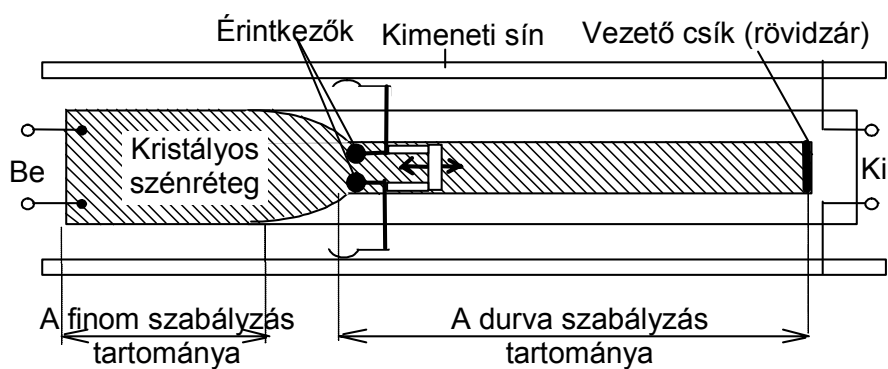
4.4 A keverőasztal

A keverőasztal csatornamoduljai azok, amelyek különböző feladatokat látnak el a hangkeverés, mixelés során. Ez lehet egyszerű hangerősség változtatás (szintszabályzó), lehet ún. iránykeverő, hangszínszabályzó, sávhatároló és szűrő, csúcszátároló vagy limiter. De ide tartoznak az effektek és a kivezérlésmérés is. Ezeket nézzük meg részletesebben.

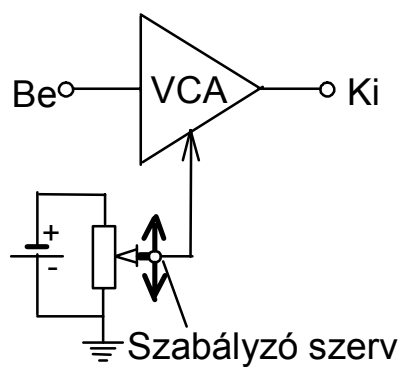
Szintszabályozásnak nevezzük az egyes csatornák erősségének (hangerejének) beállítását. Ez tipikusan potméterekkel történik vagy grafikus felületen. A legkorábbi megoldás az ellenálláslánc (ellenállás létrahálózat) volt, amely diszkrét értékeket tett lehetővé egy csúszóérintkezővel. A fejlettebb csúszóérintkezős megoldás már nem ellenállásokat kapcsolt, hanem egy kristályos szénrétegen csúszott. Ez folyamatos és pontos szabályozást tett lehetővé. A következő lépcső a fejlődésben a feszültségvezérlet erősítők megjelenése volt. Ezek a VCA-k (voltage controlled amplifier) DC feszültséggel voltak vezérelhetők. Legmodernebb fajtájuk már digitális vezérlésű és az állapotátárolás is megoldható. Egyes esetekben maga a potméter motorikusan mozgatható, így a kimentett állapot későbbiekben motorikusan automatikusan visszaállítható. Manapság a szabályozás számítással történik, közvetlenül a mintákon (digitális osztás, szorzás).



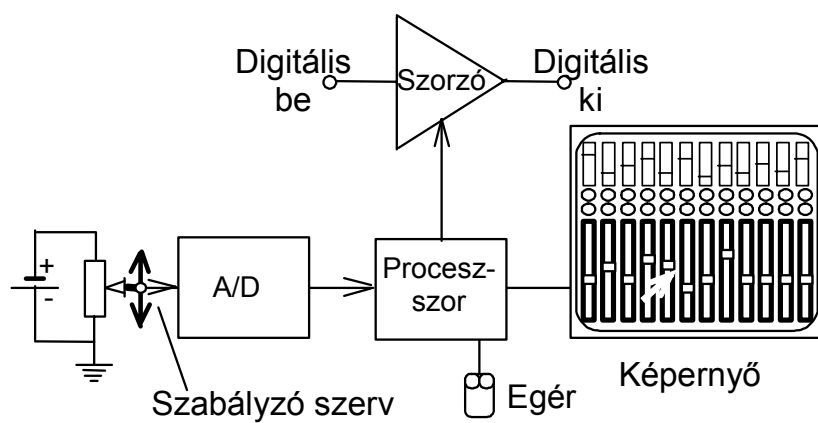
Ellenállás létrahálózat.



Kristályos szénrétegű szabályzó.



Feszültségvezérelt aktív szabályzó.



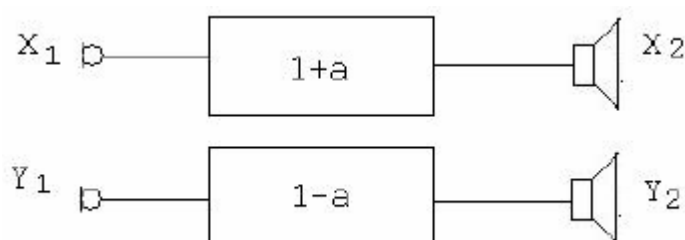
Digitális szabályozás.

Iránykeverés és irányszabályozás között elvi különbség van (sztereó keverés). Iránykeverésnél a csatornák dinamikus egyensúlya megmarad, a „közép” fog eltolódni a nagyobb erősítés felé. A nagyobb erősítésnél tehát nem hangosabbak lesznek, hanem sűrűsödnek a források. Iránykeverés lehetséges XY és MS technikában is. Például, ha

$$X_2 = X_1(1+a)$$

$$Y_2 = Y_1(1-a),$$

akkor egyetlen szabályozható paraméter (a) mindkét csatornát befolyásolja: egyiket erősíti, másikat csökkenti. Szélsőséges esetben, $a=0$, nem történik semmi. Másik esetben, ha $a=1$, akkor $X_2=2X_1$ lesz a végeredmény, magyarul az egyik csatornát kétszeresére hangosítjuk, míg a másikat kikapcsoljuk (ezzel egyidőben). Ekkor az egész hangkép egy csatorna, amiben a „közép” 50%-al van benne.



Iránykeverés.

MS-technikában az iránykeverést bázisszélesség szabályozásnak is nevezzük, mert az a -paraméter állítása a két hangszóró közötti távolságot csökkenti vagy növeli. (A bázis a sztereó hangsugárzók közötti távolság, ahol a virtuális hangforrások megjelennek.) Ilyenkor:

$$S_2 = aS_1$$

$$M_2 = M_1$$

Az a -paraméter állításával az S-csatorna érzékenysége nő vagy csökken, az M-csatorna pedig változatlan marad. A csatornák dinamikus egyensúlya ekkor is megmarad.

A mono irányszabályozó képes egy mono csatornát (M) bárhová bekeverni a bázisba:

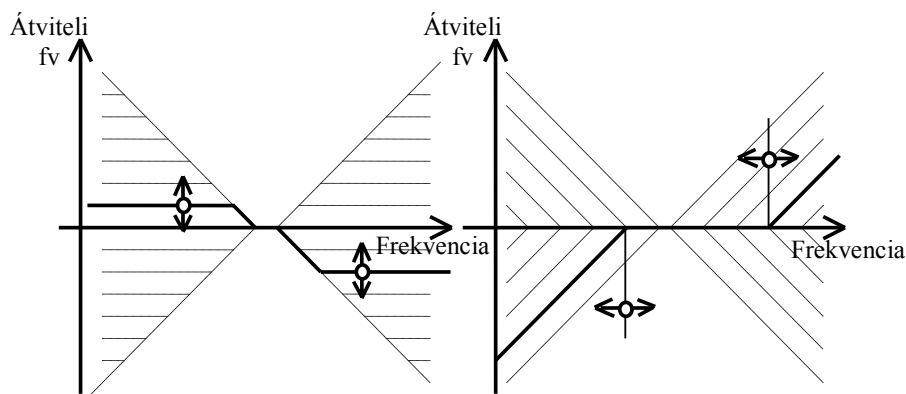
$$X_2 = aM_1$$

$$Y_2 = (1-a)M_1$$

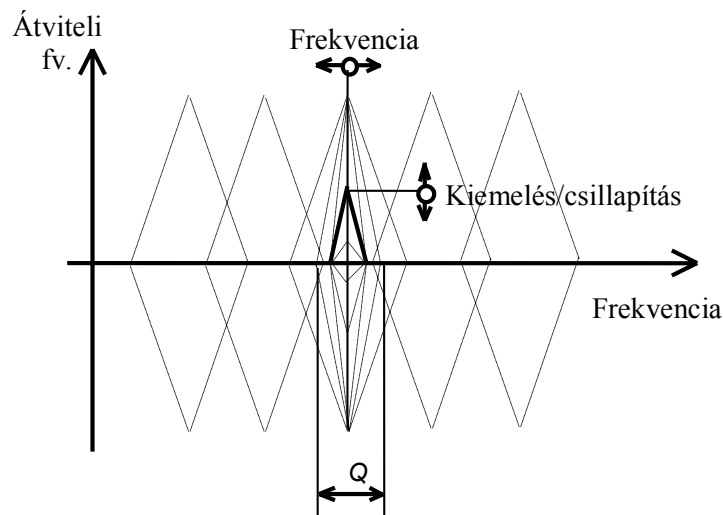
Ezt ellenkapcsolt ellenállás-osztópárral is meg lehet valósítani. A sztereó iránykeverő két mono összesítéséből adódik, amelynek „alapállapotában” az egyik potméter teljesen balra, a másik teljesen jobbra van állítva.

A *hangszínszabályzó* egyszerű elsőfokú szűrő. Aluláteresztő vagy feluláteresztő jellegű, ilyen az otthoni erősítőkön is található treble és bass potméter. A kommersz szabályzók csak a szabályzás mértékét (erősítésre nem képesek, csak csillapításra) engedi változtatni, de profi berendezésekben akár a törésponti frekvenciát is állíthatjuk. A *sávhatároló* ugyanezt a célt szolgálja, törésponti frekvenciák, kiemelés állítható (másodfokú szűrők). A *prezensz-szűrő* szintén másodfokú, célja a beszélő egyéni jellegének kiemelése (prezensz = jelenlét). Ezek is sávszűrők, de egy adott beszélő, énekes felső formánsaira vannak hangolva, amelyek – láttuk a magánhangzók spektrumában – a beszélőre jellemzőek. Ezek alapján tudjuk eldönteni, hogy

ki beszél. Szerepe éneknél, szavalásnál, művészi felolvasásnál jelentős. A sávközépfrekvencia, a kiemelés és a sáv szélesség szabályozható minden szűrőnél (több is van belőle, minden formásra jut egy). A *parametrikus szűrő* többfrekvenciás prezensz-szűrő, a különbség csak annyi, hogy nem szabályozhatjuk a sávközépfrekvenciát (nem hangolhatjuk), hanem kész szűrőkészletből válogathatunk. A kommersz világban is ismert ekvalizer is ilyen: több, adott (nem állítható) sávközépfrekvenciájú szűrő kiemelését állíthatjuk be (pl. a Winamp equaliser opciója is ilyen, csak digitális megvalósítva). A digitálisan FIR-szűrőkkel megvalósított *grafikus szűrők* „mindent” lehetővé tesznek, tetszőleges paramétert állíthatunk. Figyelni azonban kell a fázisviszonyokra, mert könnyen létrehozhatunk átlapolódó szűrőket, ezért az ilyenek kezelése nem egyszerű. Lehetőség van oktávsváros, harmadoktávsváros (tercsávós) szűrésre is.



Hangszínszabályzó.



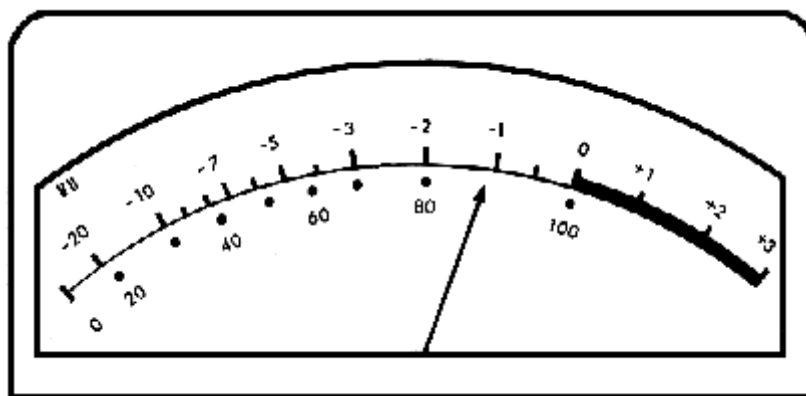
Prezensz-szűrő.

A szabályozás során szükségünk van visszajelzésre is: túlvezérlés nem engedhető meg, és szeretnénk, ha a csatornák azonos hangosságúak lennének. Ezek ellenőrzésére szolgálnak a *kivezérlésmérők*.

Ha egy analóg erősítőt egyre nagyobb jellel vezérlünk, a kimenő jel egy darabig arányosan nőni fog a bemenő jellel. Azt tudjuk, hogy egy erősítő sem képes a tápfeszültségénél nagyobb jelet kiadni (transzformátor nélkül), így ha azt elérjük, torzítás fog bekövetkezni, sarkosodnak a jelek a túlvezérléseknél. A kis mértékű torzítás (pld. gitároknál) még elviselhető.

Mágnesszalagnál más a helyzet, ott túlvezérléskor a magas frekvenciák kezdenek telítődni, azaz csökken azon komponensek amplitúdója. További bemeneti jelszint növekedés aztán alacsonyabb frekvenciákon is okozza ezt a hatást: a kimenő jel nem lesz arányos, hiszen csak kisebb mértékben fog növekedni, mint a bemenő – ez tulajdonképpen dinamikakompresszió. Digitális esetben a túlvezérlés azt jelenti, hogy a bemenő jelet nem tudjuk adott bitszámmal leírni, többre lenne szükség. Ez kissé hasonlít az analóg erősítők túlvezérléséhez, de a helyzet rosszabb. Mintavételezett jelek periodikus spektruma ugyanis átlapolódhat (aliasing) és olyan frekvencia komponenseket hozhat be, amelyek az eredeti jelben nem voltak meg, ha túlvezérljük.

A legegyszerűbb kivezérlésmérő a VU-méter (Voltage Unit). Gyakorlatilag a mutatós műszert nevezték így, amely analóg és tisztán elektrodinamikus elven működik. Az átlagolás a mutató mechanikai tehetetlensége által valósul meg (annak tömegét kell növelni nagyobb időállandóhoz). Az átlagolási idő viszonylag nagy, 100-200 ms nagyságrendű, ezért a nagy „beütések”, amplitúdócsúcsok nem látszanak (kiátlagolódnak). Kijelzéskor az átlagos energia tartományában mozog a műszer, ahol az átlagolás ideje a fenti.



VU-méter

A PPM, vagyis a Peak Program Meter magyar neve a kvázicsúcsmérő. A PPM felfutási tehetetlensége olyan, hogy 10 ms-nál rövidebb impulzusokat nem mutatja. A valódi csúcsok tehát akár 10-15 dB-vel is nagyobbak lehetnek a kijelzett szintnél. (A VU méter még ennél is lomhább). A kivezérlésmérők 0 dB-je a néveleges kivezérlési szinthez tartozik. Digitális esetben a minimális torzítás a maximális mintához tartozik, felette ugrásszerűen nő. Ilyenkor a 0 dB a maximális kivezérléshez tartozik és nincs értelme túlvezérlési tartalékról sem beszélni. Ekkor a maximális szintet 0 dBFS, azaz 0 dB Full Scale-nek is jelölhetik. Látható, hogy ilyenkor a nagy dinamika érdekében arra kell törekedni, hogy a lehető legjobban megközelítsük ezt és kihasználjuk az összes bitet, de ez nem könnyű feladat, hiszen túllépni nem szabad rajta.

A fénymutató csúcsszintmérő vízszintes, forgó tükörrel skálázott üvegre vetített fénycsík. Az átlagolás a mozgórész mechanikai rendszerével és elektromos áramkörrel történik. A felfutási idő 10-20 ms, a visszafutási 1-2 s. Utóbbit elektronikusan kell megvalósítani.



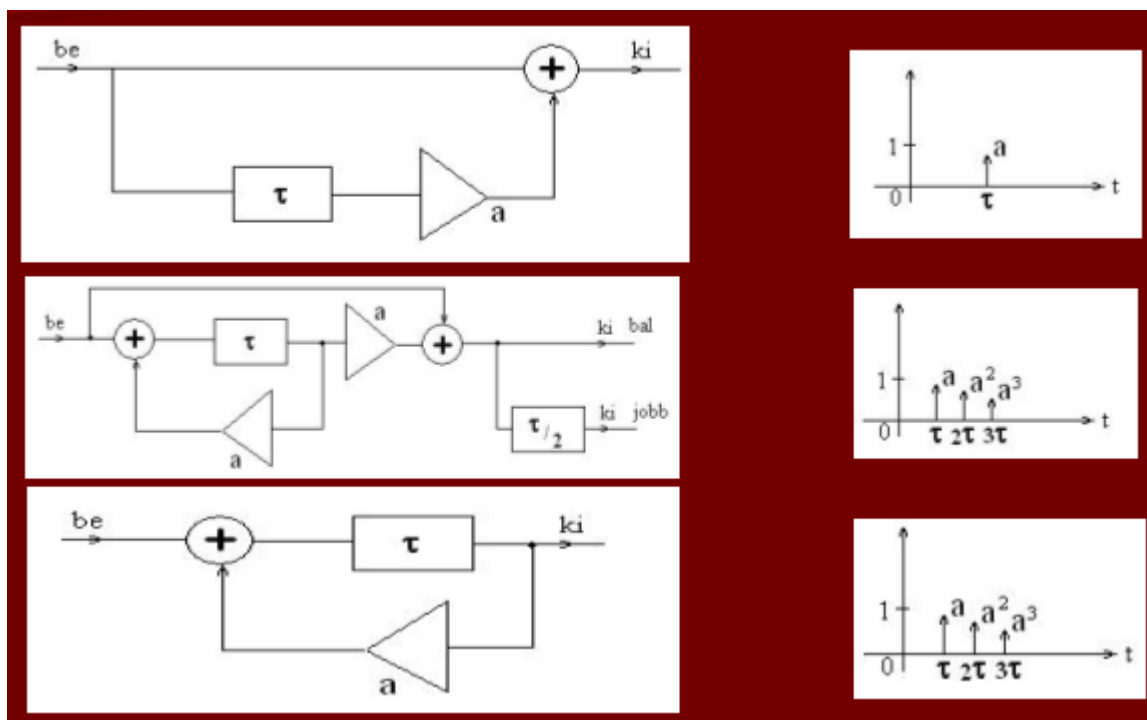
Régi keverőasztal szintszabályzókkal és fénymutatós csúcshintmérővel.

A legelterjedtebb a világító diódás kijelző (bar graph). Ez általában függőleges LED-oszlop, alul zöld (vagy sárga), a felső tartományban pedig piros. Az átlagolás elektronikus, felfutási idő 0,12 ms, a visszafutási idő 1-2 másodperc. Lehetőség van csúcshint-tartásra (peak-hold), melynek ideje több másodperc is lehet. Ugyanez a funkció digitálisan is megvalósítható (a már említett Winamp is képes erre, beállítható módon még azok „leesési” ideje is szabályozható).

Régebben használatos volt még a goniométer, ami egy egyszerű két csatornás oszcilloszkóp, melynek egyik csatornája a bal, másik a jobb jelet kapja, a kijelzőn pedig „XY-módban” az MS csatornák jelennek meg, azaz a hangkép irányeloszlását szemlélteti (hasonlóan a Lissajous-ábrákhoz).

Az *effektek* olyan változtatások a hangképen (csatornán), mellyel különleges hatásokat szimulálunk mesterségesen. Ezekből látunk itt néhányat elvi (blokkdiagram) szinten.

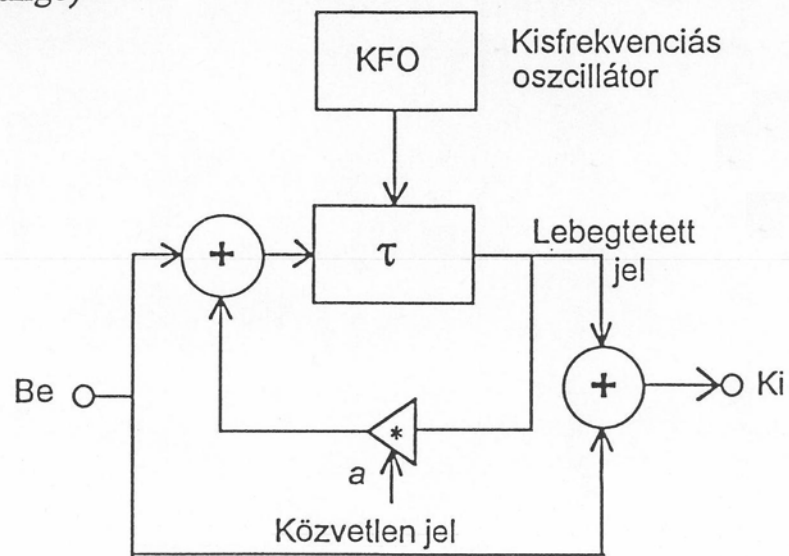
A legegyszerűbb effekt a *visszhang*. Ezt egy egyszerű előrecsatolt késleltetővel tudjuk realizálni, hiszen a visszhang nem más, mint az eredeti hang és annak késleltetett, kisebb amplitúdójú verziója. Ha tehát összegezzük az eredeti hangot, és annak T-vel késleltetett és a-
val szorzott verzióját ($a < 1$), kész a visszhang-effekt. Ennek bonyolultabb, többszörös visszaverődések által létrehozott fajtája az ún. *csörgővisszhang*.



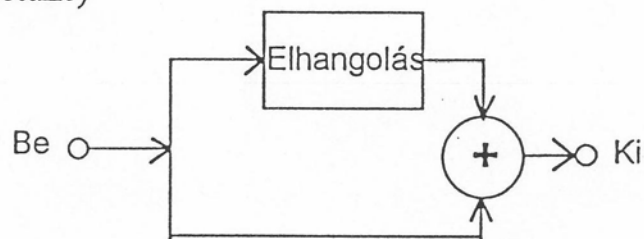
Effektek és időtartománybeli képük

A *hangzásszínezés* az összefoglaló neve azoknak az effekteknek, melyek a hangzást „dúsítják”. Ilyen lebegtetés, elhangolás, fázislebegtetés, kórus, aural exciter (zengetés). Kórus-hatást úgy érhetünk el, ha periodikusan ismétlődő és változó késleltetéssel adjuk hozzá önmagához a jelet. Ettől fog úgy tűnni, mintha többen énekelnék azt. A periodikus késleltetést egy kisfrekvenciás oszcillátorral állítjuk elő. *Zengetés*nek nevezzük a felharmonikusban dúsítást, amikor szűrővel leválasztjuk az eredeti jelből a felharmonikusokat, és azokat erősítve adjuk vissza az eredeti jelhez.

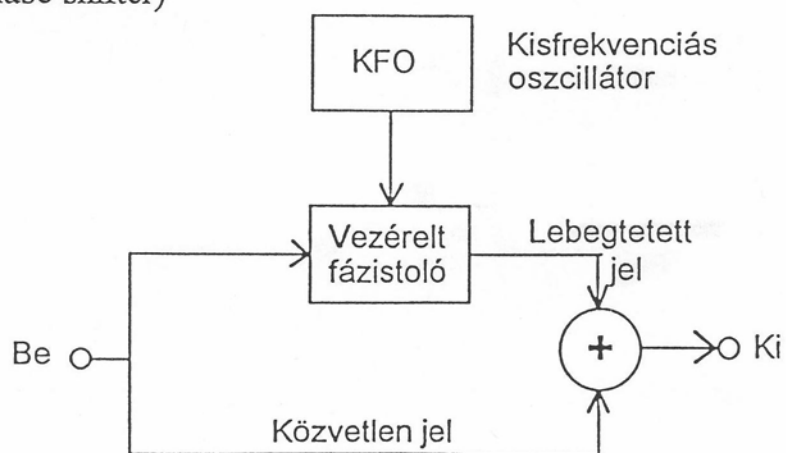
Lebegtetés (Flange)



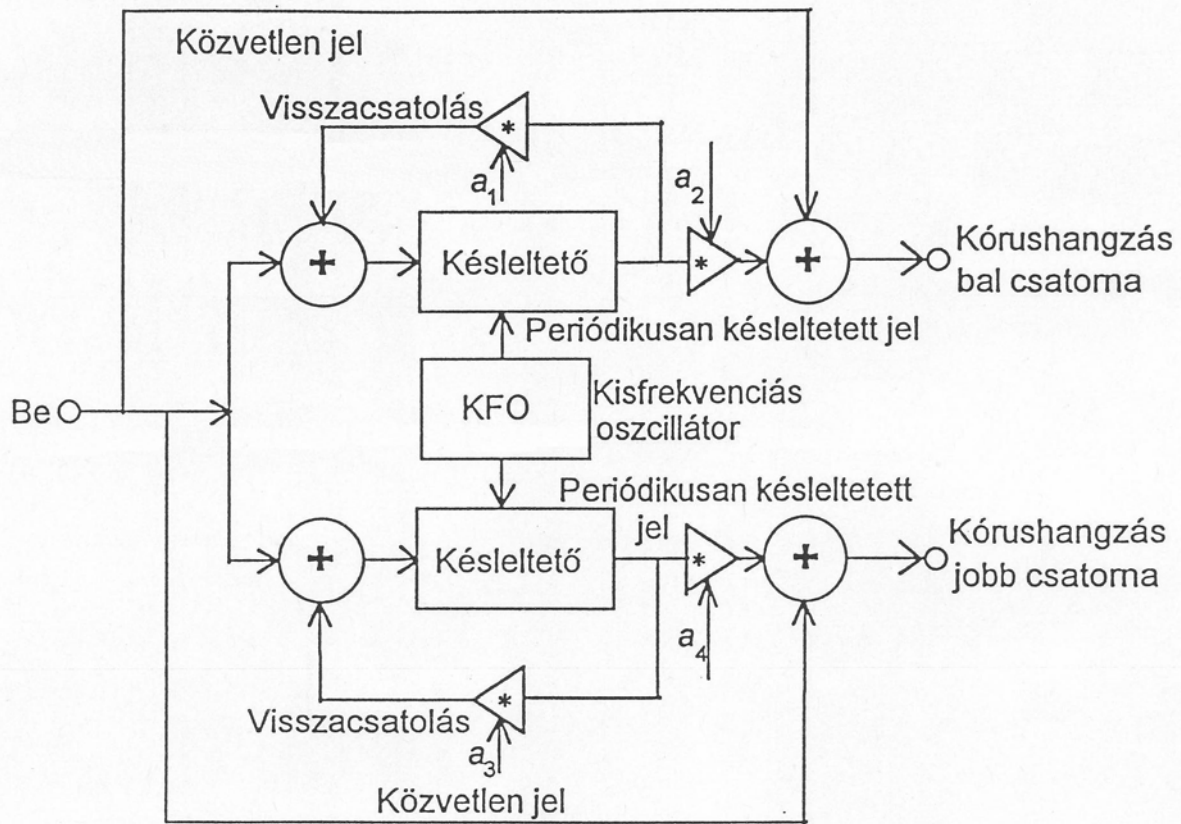
Elhangolás (Pitch detune)



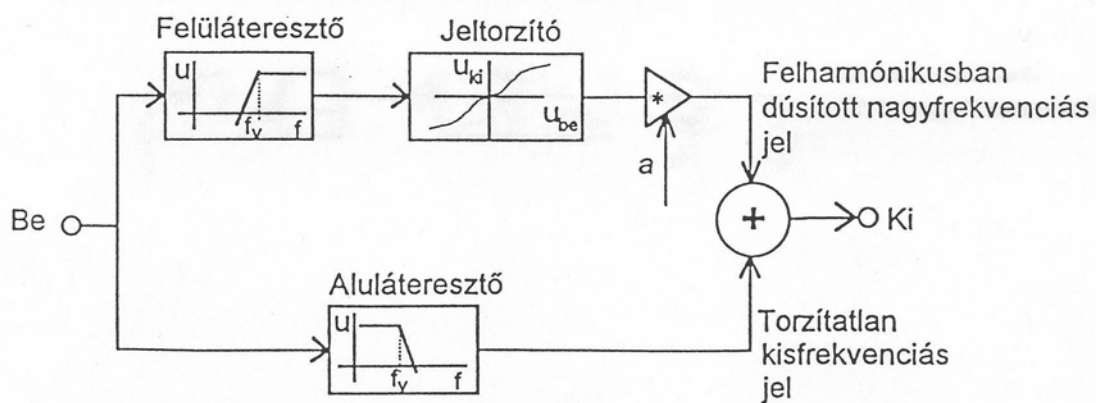
Fázislebegtetés (Phase shifter)



Sztereo kórus, periódikusan ismétlődő és változó késleltetéssel



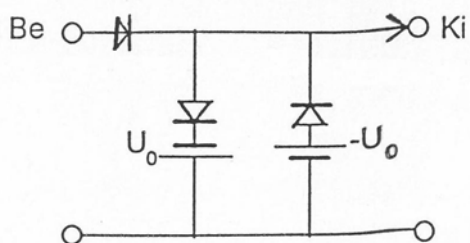
Hangzásszinező (Aural exciter)



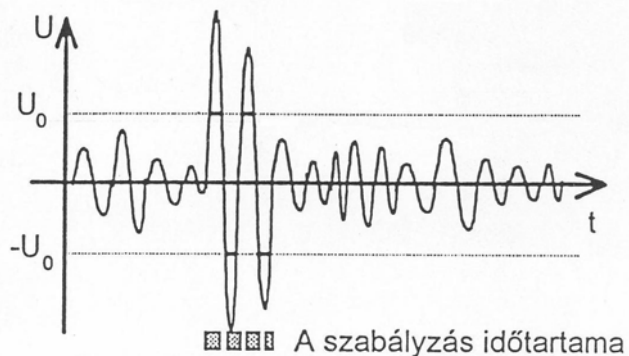
Különleges szerepű a *csúshatárolás* és a dinamika *kompresszió/expandálás*. A leggyakoribb csúshatárolókat mutatja az alábbi ábra.

Csúcshatárolók

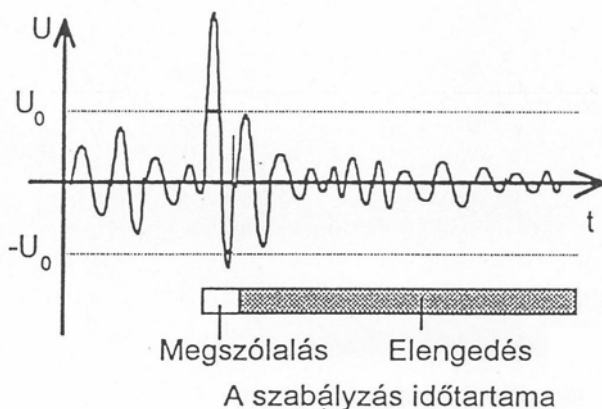
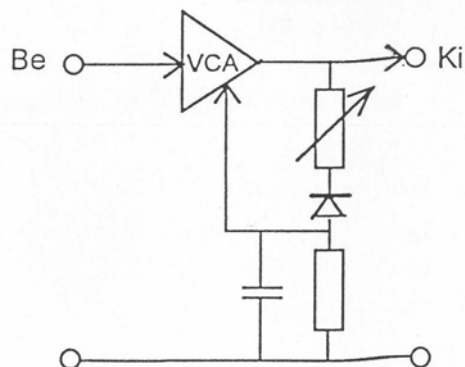
Vágás



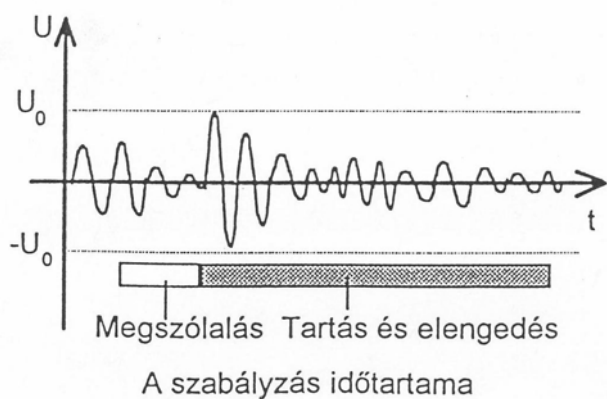
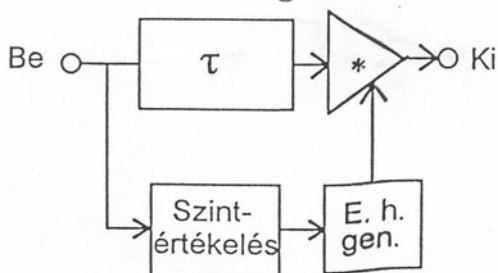
Megszólalási idő
Elengedési idő
Határolási szint



Dinamikus határolás



Digitális határolás



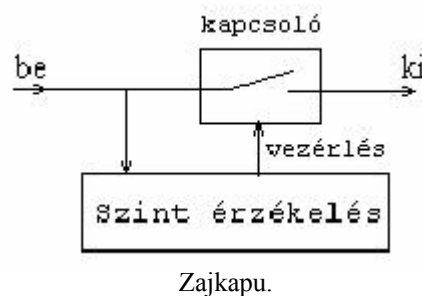
Csúcsszabályzók.

A jellemző paraméterek a megszólalási idő (ami alatt „észreveszi” a határoló a túlvezérlést), az elengedési idő (amíg a visszaszabályozás tart) és a határolási szint (ahol a komparálást végzi). A régi, *diódás vágóáramkör* egyszerű és olcsó, de torzít. Egyszerűen levágja a

komparálási szintek (U_0) alatti és feletti részeket, ez pedig nem lineáris torzítást fog okozni. Ezért sokkal jobb megoldás a *dinamikus határolás*, amikor nincs torzítás a kimenő jelben. A VCA csak az első túlvezérlést vágja le drasztikusan, után bekapcsol a visszaszabályozás és a továbbiakat már leszabályozza, csillapítja, amíg az elengedési idő tart (ez hosszú idő a megszólaláshoz képest). A legjobb eredmény a *digitális határolásból* adódik, ahol „előre lehet gondolkodni”. Ilyenkor a szabályozáshoz τ -időre van szükség. Egy szintértékelő megnézi, hogy a jel túl van-e vezérelve, és ha igen, azonnal az együtthatógenerátorral előállít egy egynél kisebb számot, amivel beszorozza az adott jelet (mintát). Ez a τ időtartam nem túl sok, megengedhető a finom szabályozás érdekében.

A *kompresszor* ennél szelídebb dinamikahatárolást hajt végre. Törtvonalas karakterisztikával adják meg és tartozik hozzá egy expander-karakterisztika is (a kompresszor inverze). Ezek a karakterisztikák az U_{ki} - U_{be} diagramon ábrázoltak.

A *zajkapu* feladat, hogy több mikrofonos felvételkor a szomszéd hangszerek „zaját” elnyomja. Ugyanis az egymás mellett ülő zenészek külön-külön kaphatnak mikrofont, amelyek számára csak a „saját zenész” hangszere a hasznos jel, a szomszédé zavar. A zajkapu, melyet a mikrofonokra kapcsolunk, rendelkezik egy komparálási szinttel, amelyet a kimenő jel át kell lépjen ahhoz, hogy a mikrofon bekapcsoljon. Ez egy vezérelt kapcsoló, ami egy szintértékelőhöz van kötve. Ha a saját hangszer megszólal, akkor az elég hangos ahhoz, hogy bekapcsoljon a mikrofon, és ha a hangszer elhallgat, akkor kikapcsol. Kb. 50 dBm (mW, ahol $1 \text{ dBm} = 10 \log P/1\text{mW}$) szinteltérés kell a kapcsoláshoz, melynek ideje μs nagyságrendű.

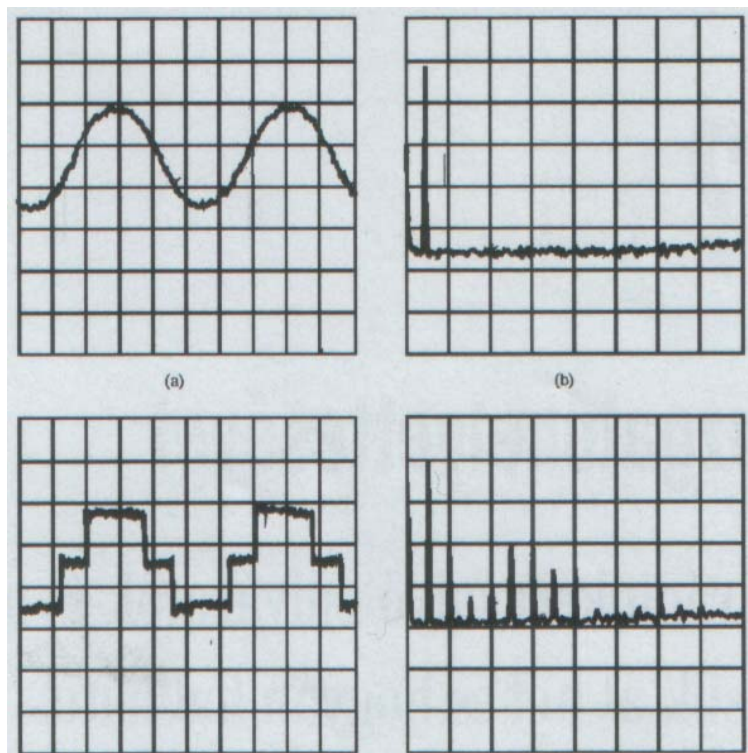


5. Irodalom

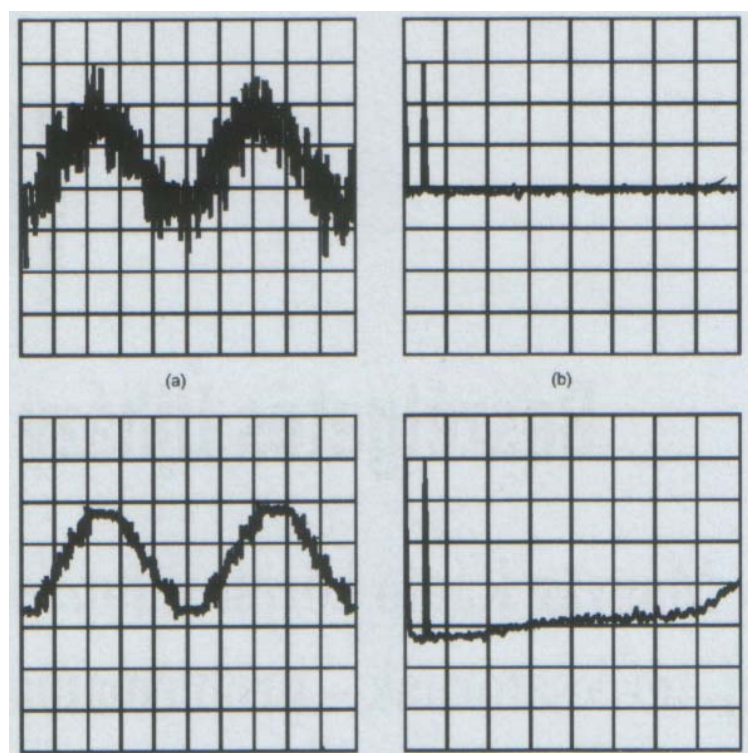
- [1] Géher Károly: Híradástechnika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- [2] Takács Ferenc: Hangstúdiótechnika, BME jegyzet 55070, Műegyetemi kiadó, 2004.

6. Függelék

A dither magyarázatához

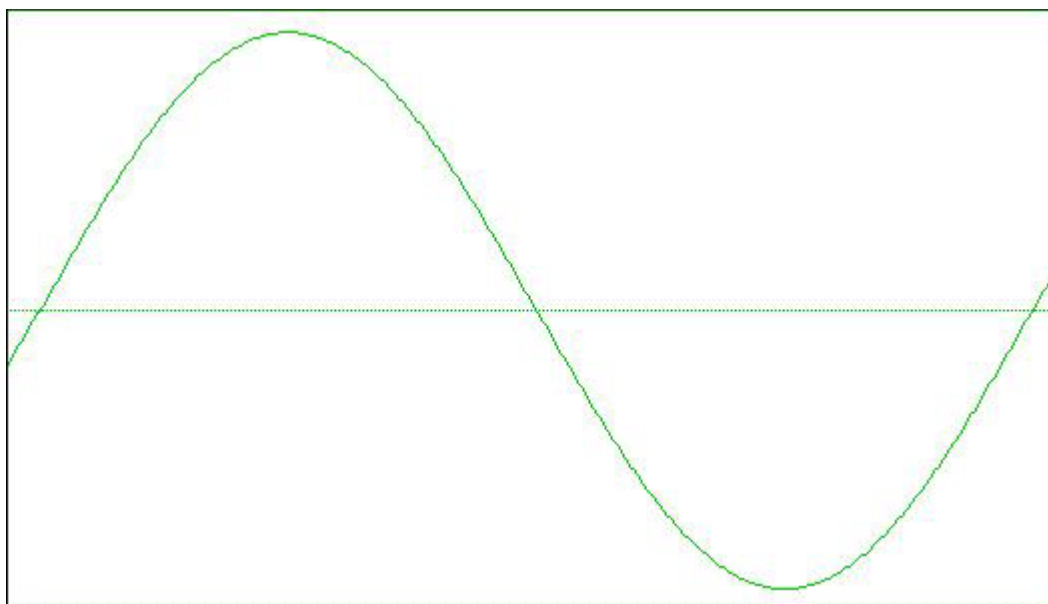


Egy 20-bites 100 Hz-es jel időfüggvénye (a) és spektruma (b). Alatta a 16 bitesre jel hasonló ábrái, kerekítéssel számolva (c), (d). A szint -90 dB (alacsony, hogy jól látszódjon a kerekítési hibából adódó négyszögesedés és a harmonikus torzítás).

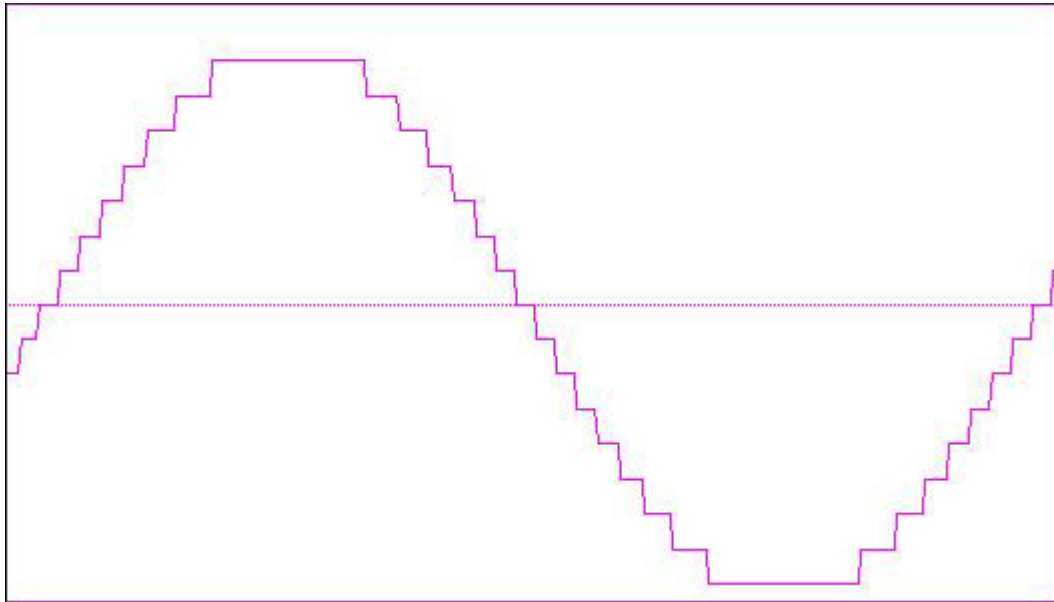


Az előző ábrán látható eljárás eredménye ditherezéssel. Az (a) ábrához adott szélessávú zaj a kerekítés után (SBM eljárás) sem okoz harmoniksu torzítást, de az alapzajszint megemelkedett.

Alapjában, dither-re akkor van szükség, ha a bitszámot csökkentjük egy adott jel ábrázolásánál. Ha pld. a 16 bites szavakat 8 bitessé csökkentjük. Ilyenkor a csonkolás és a kerekítés helyett – amely harmonikus és intermodulációs torzítást okozhat – a hozzáadott zaj „szétkeni a hibát időben”, mint szélessávú zaj. Hasonlóan, már egy analóg jel rögzítésekor is alkalmazhatunk dither zajt. Két 16 bites szám összeszorzásának eredménye egy 32 bites szó. Egyszerű lekerekítés helyett dither-t lehet alkalmazni. Ilyen szorzás előfordul mixelésnél (keverésnél) vagy erősítéskor, normalizáláskor. Utóbbinál különösen kell ügyelni arra, hogy a zajt és a torzítást ne normalizáljuk (minden egyes keverési lépcsőnél), csak a legvégén, amikor a kész anyagot akarjuk megfelelő hangerősségre hozni. A szoftverek ezt tudják, ezért automatikusan dithereznek, ha szükséges. Kellően magas bitszámnál (24 bit, 32 bites lebegőpontos) nem kell dither.

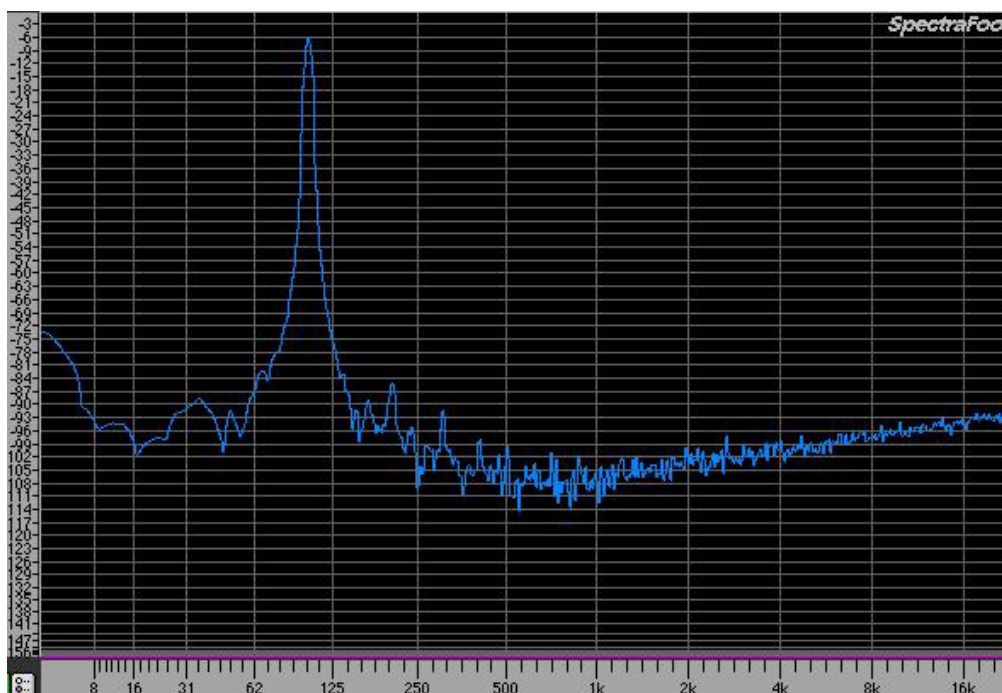


Alacsony szintű 100 Hz-es szinusz jel, 24 biten.

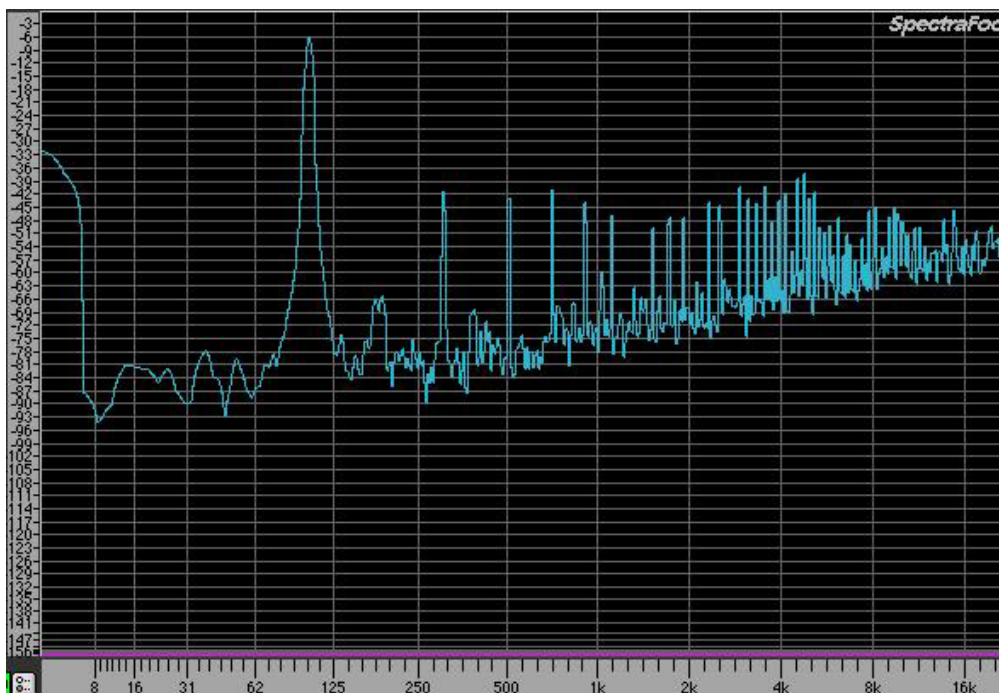


Alacsony szintű 100 Hz-es szinusz jel, 16 bit-re csonkolva.

Látható, hogy a négyszögesedés fellép, aminek hatása harmonikus torzítás, mely hallható egy hangjelben. Lássuk a spektrumokat!

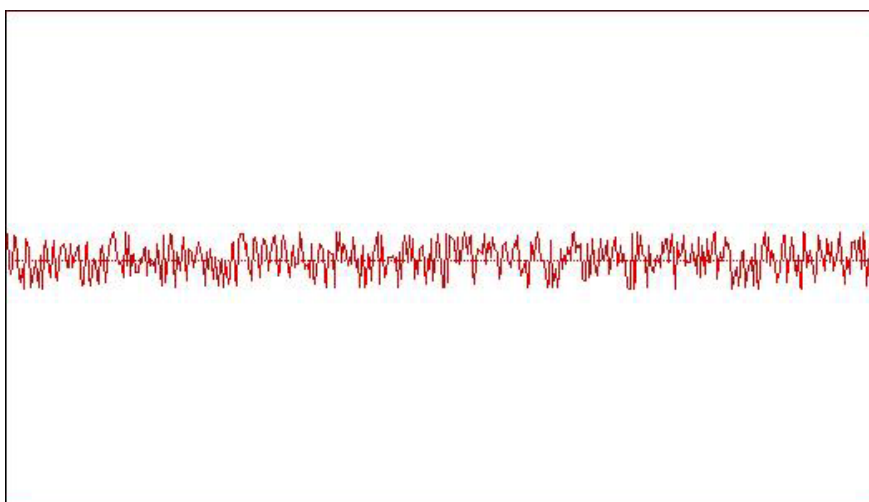


3. ábra. Alacsony szintű 100 Hz-es szinusz jel spektruma, 24 biten.

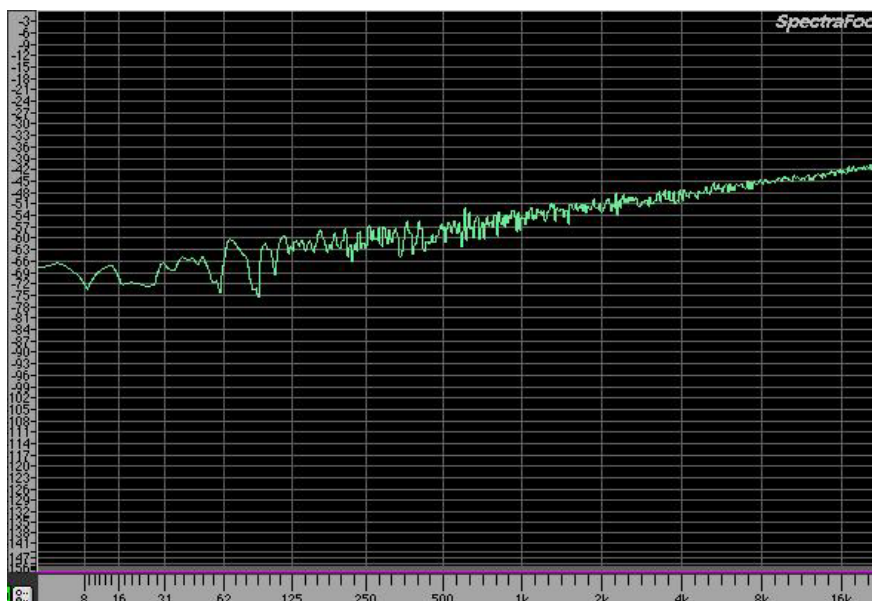


4. ábra. Alacsony szintű 100 Hz-es szinusz jel spektruma, 16 bit-re csonkolva.

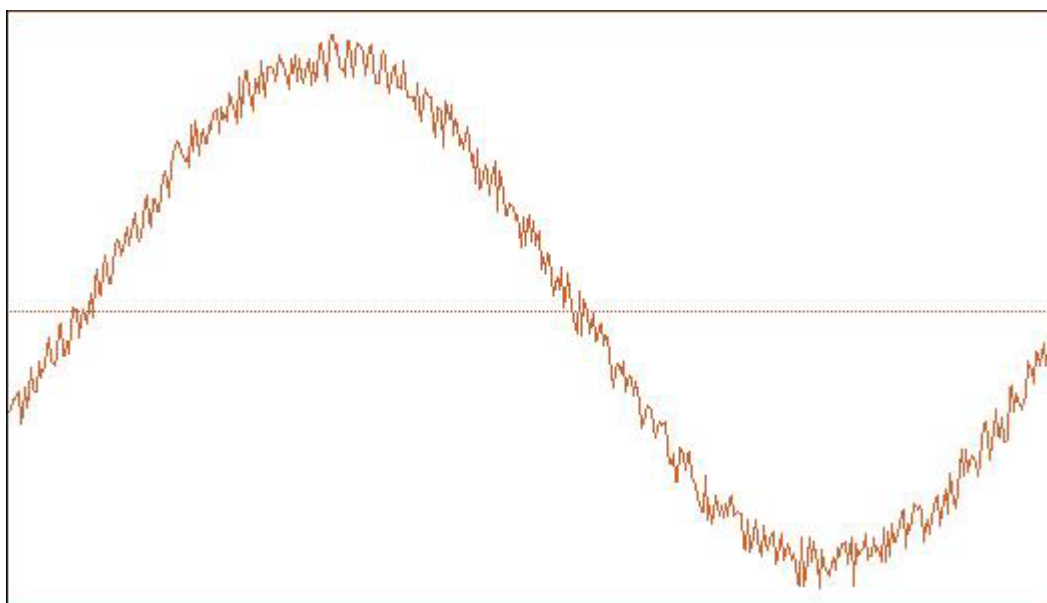
Torzítási komponensek kb. 36 dB-el alacsonyabbak a hasznos jel szintjénél. Azért ilyen magasak, mert a hasznos jel szintje is alacsony volt ebben az esetben. Teljes kivezérlésű (24 bitet elfoglaló) jelnél ez az arány lényegesen kisebb lenne. Ettől függetlenül látható, hogy a 24 bites jelnél a zajszint 48 dB-el alacsonyabb (mert a dinamikatartomány 16 bitnél ennyivel kevesebb a 24-hez képest). Más szóval, ha 48 dB-el megnöveljük a dinamikatartományt, akkor az alapzajszint 48 dB-el lesz lejjebb ugyanannál a jelnél. A dither célja, hogy a hozzáadott véletlen zaj „elrontsa” a négyszögletes lépcsők ezen hatását. Ebben a példában 24-ről 16 bitre csonkolunk, ezért 9 bites véletlen bitsorozat lesz a zaj. Ez azt jelenti, hogy véletlenszerűen választunk egy számot 0 és 512 között és ezt hozzáadjuk az eredeti jelhez (vagy -256-tól +256-ig számokkal is dolgozhatunk). Ezt fehérzajnak tekinthetjük, noha igazán véletlen nem lesz ez a sorozat.



5. ábra. A hozzáadott fehérzaj időfüggvénye.



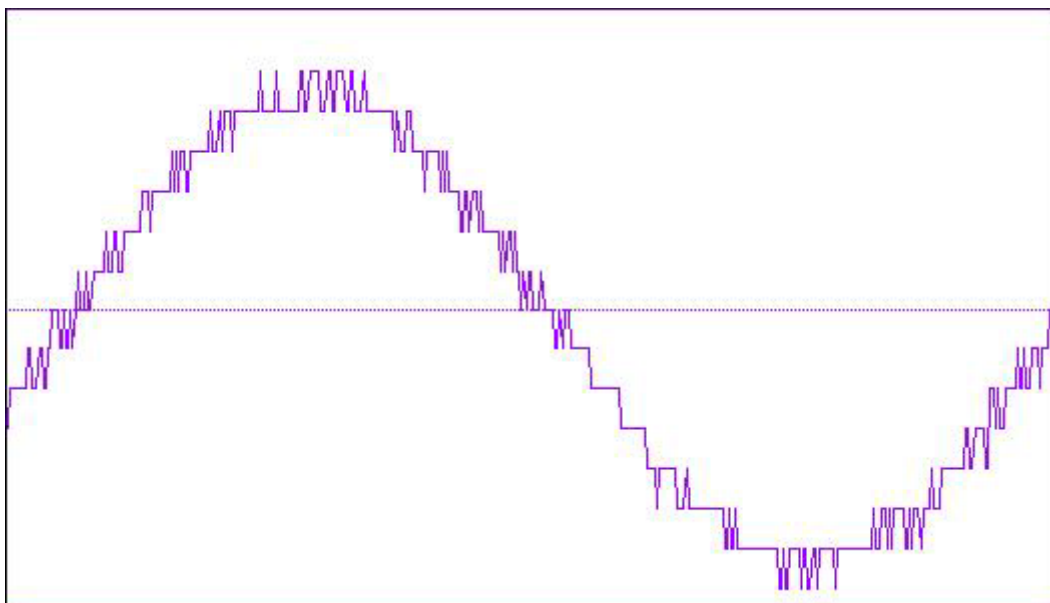
6. ábra. A hozzáadott fehérzaj spektruma.



7. ábra. A 24 bites szinusz hullám hozzáadott fehérzajjal.

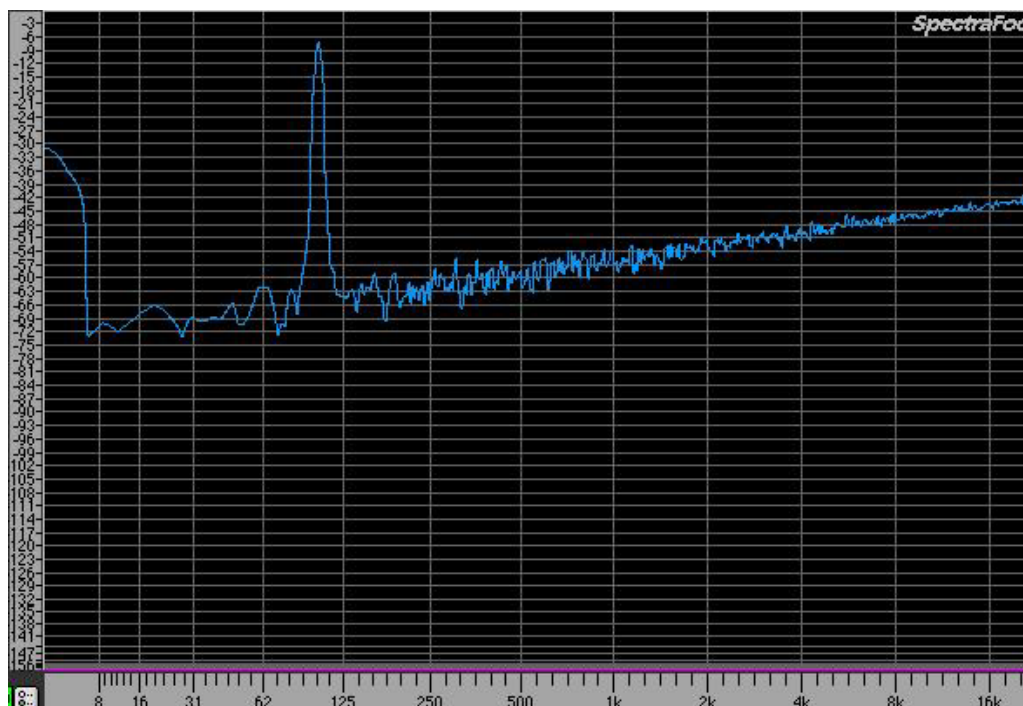
Ekkor még mindig 24 bites szavakat kezelünk, de ebből a legkisebb 9 bithez a fehérzajt is hozzáadtuk. Ha ezután eltávolítjuk (csonkoljuk) az utolsó 8 bitet, a kapott 16 bites jel már nem annyira lépcsőzetes, mint a fenti ábrán. Ellenben néhol kvantálási hibák jelennek 1 bit értékben. Itt lehet megérteni a dither spektrum-elkenő hatását. Míg a 2.ábrán egy tökéletes lépcsős-függvényt látunk, a 8.ábrán nem. Az első esetben zajmentes volt az átvitel, így amikor a szinusz hullám felét elérjük egy kvantálási lépcsőnél, akkor lépünk eggyel feljebb a lépcsős függvényen: nem fordulhat az elő, hogy korábban vagy későbben nem a kerekítésnek megfelelő szintre kvantálunk. Amikor viszont véletlen zaj adódik ezekhez a mintaértékekhez, előfordulhat véletlen eloszlásban, hogy egy adott kvantálási lépcsőn a mintaérték annyira megváltozik, hogy a szomszédos értékekhez tartozó lépcsőre „átugrik”. Ez látható a 8.ábrán. Ez a

változás nagyfrekvenciásnak tekinthető, így a 9. ábra spektrumán világosan látszik a 6. ábra spektruma is.

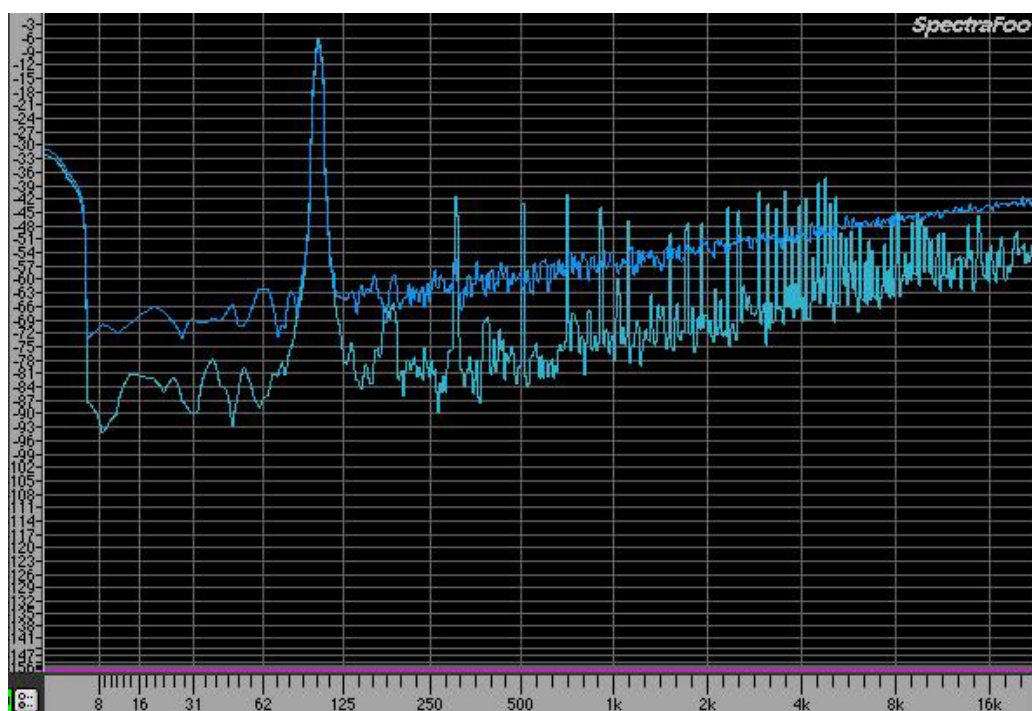


8. ábra. A 16 bitre csonkolt szinuszjel időfüggvénye dither hozzáadásával.

Ha ennek megvizsgáljuk a spektrumát, látható, hogy a harmonikus torzítási komponensek eltűntek. Helyette egy fehérzaj-spektrum jelent meg, amely nagyobb az eredeti 24 bitesnél, ugyanakkor kellemesebb a fülnek. A 10. ábra a teljesítményekről is számot ad: az eltűnt harmonikus torzítási komponensek energiája valamint a hozzáadott fehérzaj energiája együttesen alkotja a kék görbét (az alatta lévő területet).



9. ábra. A 16 bitre csonkolt szinuszjel spektruma dither hozzáadásával.



10. ábra. A 16 bitre csonkolt szinuszjel spektruma dither hozzáadásával és nélküle.

Képinformáció a lézerlemezeken

Képméreték változtatása: a standard tévéfelbontás 4:3. Más felírásban (az osztást elvégezve) 1.33:1 jelzéssel is találkozhatunk. A normál tévén rendesen jelenik meg, szélesvásznú tévén vagy oldalsó fekete csíkkal, vagy „betorzítva” jeleníthető meg. A szélesvásznú formátumok sokkal gyakoribbak a lemezen (widescreen), melyek megőrzik az eredeti film méretarányát. Ezek projektorral kivetítve ilyen formátumban jelennek meg, 16:9-es tévén „letterbox”-ra optimalizálva, normál tévén pedig változó nagyságú fekete sávval, ha „full” üzemmódban nézzük. (Rendes tévén használható a PAN and SCAN üzemmód, ahol mindig a történet 4:3 részét látjuk, mint egy pásztázó kamerával, vagy egyszerűen csak a középső 4:3 részt látjuk). A 16:9 formátum 1.77:1-nek felelne meg, de a lemezeken ehelyett 1:2.35, vagy az 1:1.85 található, mint eredeti formátum. Ebből is látható, hogy egy kis torzításra szükség van az optimális 16:9 megjelenítéshez.

PAL, NTSC képlejátszás minimumkövetelmény, egyes lejátszók RGB kimenettel is rendelkeznek.

Dolby 3 Stereo: az első három hangszóróval szimulál hangteret.

Dolby Surround Pro Logic: az első három hangsugárzót kezeli úgy, hogy a center információ (sztereó kompatibilitás mellett) bele van kódolva a sztereó csatornába. A középső csatorna 100 Hz- 7 kHz-ig enged csak át.

Dolby Pro Logic II: továbbfejlesztett eljárás, ahol két csatornás analóg és digitális filmhangot 5.1-kiadásba konvertál szimulációval. Járulékosan állítható paraméterekkel, mint pl. a Panorma-Modus, Center-állítás, Dimension Control.

Progressive OUT (általában csak NTSC-hez, mert ott kevesebb a sor): a letapogatott sorokat digitális tárolás után kétszeres sűrűséggel jeleníti meg a kivetítőn, így nagyobb képméret valósítható meg, ill. jobb felbontás.

Faroudja-féle progresszív letapogatású DCDi sorsztétválasztás és szabályozható digitális videójel-erősítés

A Faroudja-féle DCDi sorsztétválasztás a Faroudja jogbirtokát képező 10-bites mozgás-adaptív algoritmusait alkalmazza ahhoz, hogy a szabványos, soros letapogatású NTSC-videójeleket progresszív letapogatású jelekké alakítsa. Ez az eljárás kiküszöböli a mozgóképeken tapasztalható sorjás széleket, így az NTSC rendszerű DVD-k lejátszásakor élethűbb képet kapunk. A Faroudja-féle szabályozható, digitális videójel-erősítés során a Faroudja szabadalmaztatott nemlineáris algoritmus erősíti fel a DVD-jeleket (horizontálisan és vertikálisan egyaránt) annak érdekében, hogy a legapróbb részletek is jól láthatóak legyenek, valamint hogy torzítás nélküli színpontosság és mélységérzet legyen elérhető. NTSC-kompatibilis televíziókészülékre és DVD-lemezre van szükség ahhoz, hogy megvizsgáljuk az említett két új technológia által nyújtott kivételesen éles képet.



DVD Video DAC:

10 bit/54 Mhz a legjobb minőségű. A nagyobb sávszélesség lehetővé teszi, hogy a 4:2:2 (Y:Cb:Cr) videójelet 4:4:4 alakba átkonvertálja és kétszer letapogassa. A DVD video a felvételnél 8 bit/13,5 Mhz-et használ, de egy ugyanilyen dekodoló nem elég jó minőségű az anti aliasing szűrők miatt. A jobb minőség érdekében a dekodolóban a feldolgozás legalább 10bit/27 MHz-en történik. Különösen a kritikus feketeszintek megjelenítésében segít. A DVD Audio/Video kombinált gépekben a hangfeldolgozás külön DAC-n történik, általában 192 kHz/24 bit de legalább 96 kHz/24 bit felbontásban. A felvételi oldal megengedi a 16, 20 és 24 bites felbontást, DVD video esetében vagy 48 vagy 96 kHz PCM-ben. Jellemzően külön áramkörök dolgozzák fel a videó ill. az audió információt, ahol a jobb minőség érdekében gyakran az audió rész is csatornánként külön kerül feldolgozásra (sztereó, vagy akár mind a hat csatorna!). Továbbá lehetőség van csatornánkénti DAC kiosztásra, és szeparált tápegységre,

mely a hálózattól független („virtuális elem üzemmód” a hálózati ingadozások és brumm ellen). Az audió áramkörök gyakran dolgoznak rekvantálással, ahol a beérkező „szokásos” 16 bites formátumokat 24 bite újrakvantálják és látszólagosan 120 dB dinamikatarományt hoznak létre. Így könnyebb az eredeti 16 bites minőséget visszaadni (jobb nem lesz a minősége, csak a jelfeldolgozás során, mint pl. a túlmintavételezés, lehetőség van a jel-zaj-viszony és torzítások javítására a 16 bites jelben).

A megjelenített képhez tartozik optimális nézési pont, amely a valósághoz legjobban közelítő élményt adja.

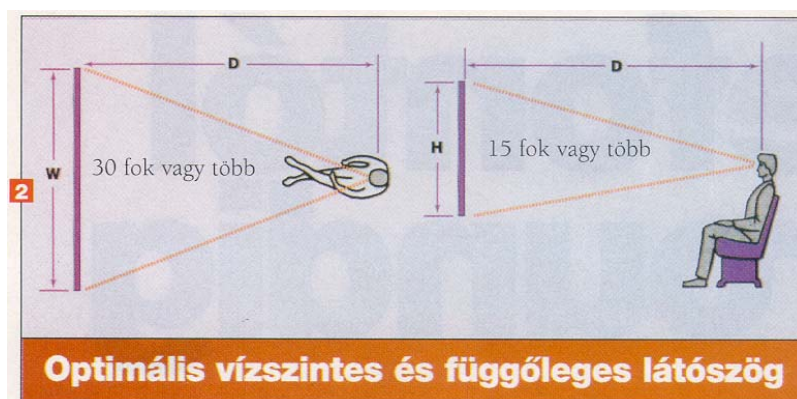
a kép felületi fényessége a kép méretétől függ. A vetítő fényének egyenletesen kell eloszlania a teljes képfelületen. A kép világossága a méret növekedésével négyzetesen csökken.

A képnek nem az abszolút mérete a fontos, hanem a látószög nagysága. Optimális érték kb. 30 fok vízszintesen és 15 fok függőlegesen (ld. Ábra)

Bizonyos vászon adott irányban több fényt verhet vissza, így a megfelelő szögből nagyobb fényerejű képet kaphatunk

A vászon olyan felülete, ahonnan túl sok fény verődik vissza, csillogni fog és színtorzulást okozhat.

Ha W a vetített kép szélessége, H a magassága és D a néző vászontól mért távolsága, akkor az optimális vízszintes látószög $= 2 \cdot \arctg(W/2D)$, az opt. függőleges pedig: $2 \cdot \arctg(H/2D)$.



Az otthoni mozi

További DVD videó funkciók a dekóderben:

Virtuális hangtérszimuláció (Digital Sound Field Processing), mint pl. HALL, MUSICAL, DRAMA, SPORT, STADIUM, LIVE, JAZZ CLUB stb. Egyesek nem működnek együtt DD és dts forrással, csak két csatornás analóg bemeneten érkezőből szimulál. Újabb, drágább gépek képesek ezekre a szimulációkra DD jelforrásból is. Külön érdemel említést a VIRTUAL SURROUND, ahol a DSP processzor számítással állítja elő a két csatornás (vagy három) jelből a hat csatornás jelet, bármilyen hangforrásból (mint pl. a tévé adás, vagy rádióműsor). Érdekesség még a MONO MOVIE üzemmód, ahol egycsatornás, mono forrásból lehet a legjobb „térhatást” kinyerni (ami elvileg ugye lehetetlen). Az effekteket azért találták ki, mert a mozik nagyok és akusztikailag jól megtervezettek az otthoni nappalival szemben (utózengetési idő: a hangforrás (0 dB) elnémulása után eltelt idő, mialatt a hangnyomás -60 dB-re esik). Az effekt processzorokhoz a mérnökök kimentek és megmérték az impulzusválaszt a templomnak, teremnek, stadionnak, majd szétbontották az eredményt

első, jobb ill. bal hátsó zengő tér irányra. Megj: egyes régebbi felvételt tartalmazó DVD lemezek, melyek a hatvanas-hetvenes évekből származnak, amikre még nem létezett a sokcsatornás felvétel technika és ami digitális módszerek, de a lemez ennek ellenére DD5.1 hangsávot tartalmaz, azok is csak „számítással” lettek előállítva az eredeti mono vagy sztereó felvételtől a hangmérnök által, kb. ugyanolyan térbeli minőséggel, amelyet bármelyik otthoni erősítő is képes előállítani VIRTUAL SURROUND üzemmódban, tehát ne várjunk el tőle kiváló hangminőséget!

Éjszakai üzemmód, ahol a dinamikatartomány automatikusan beszűkíthető (kompresszió) és a LFE csatorna is szabályozott (vagy kikapcsolt).

Hatcsatornás bemenet, amely beépített dekóderrel rendelkező DVD lejátszók összekapcsolására szolgál (analóg kapcsolat). Így az erősítő, csak a hangszórókat hajtja meg (csak erősít), a DD jelfolyamot a lejátszó dekódolja.

Dupla lézerefej: külön lézersugár van a DVD-hez (650 nm kék lézer) illetve az audió CD-hez (780 nm vöröslézer) a jobb minőség érdekében.

Videómémória, amely a rétegváltás közötti szünetet gátolja meg.

THX, THX ultra minősítés: Lucasfilm védjegye, a minőségi paramétereket határozza meg az 5.1 technikában. Rengeteg definíció a paraméterekre: dialógus, csatornák minősége, hangszórók, erősítők, sőt a kábelek meghatározása. Az Ultra még jobb minősítés, és csak a legdrágább készülékek nyújtják.

Hat csatornánál több, kiterjesztett üzemmódok (csak drága készülékeknél): A DVD formátum hat csatornát engedélyez AC3 (DD) ill. MPEG MULTICHANNEL formátumban. A hatcsatornás dts üzemmód opcionális, de eléggé elterjedt, nagyobb kbps értéke miatt általában a lehető legjobb (veszteséges tömörítéses) hangminőséget hozza létre. Egyes DVD lemezek és dekóderek képesek 7-8 csatornás felvételt is tárolni és feldolgozni. Ezek pl. a DD 5.1 EX (Extended Surround), dts ES 6.1 vagy 7.1 és hasonló jelzésű megoldások, ahol hátsó center, illetve első center duplázással is élnek, természetes a megfelelő mennyiségű hangszóró elhelyezésével...ezek az eljárások vagy valóságos, ún. diszkrét (discrete) rögzítéssel kerülnek a lemezre, ahol az új csatornák információja valóságban is rögzítésre kerül. Az „olcsóbb” megoldás az, ha ezeket az információkat belekódolják vagy a hátsó két csatornába (Logic) vagy az 5.1-es adatfolyamba, és számítással lehet kinyerni (ún. mátrix eljárás).

DTS-ES Extended Surround: lefelé kompatibilis a hatcsatornás normál dts-el, de van egy járulékos hátsó-középső hangszóró is (Surround Back). Megfelelő dekóderrel discrete vagy Matrix módban rögzíthető és játszható le.

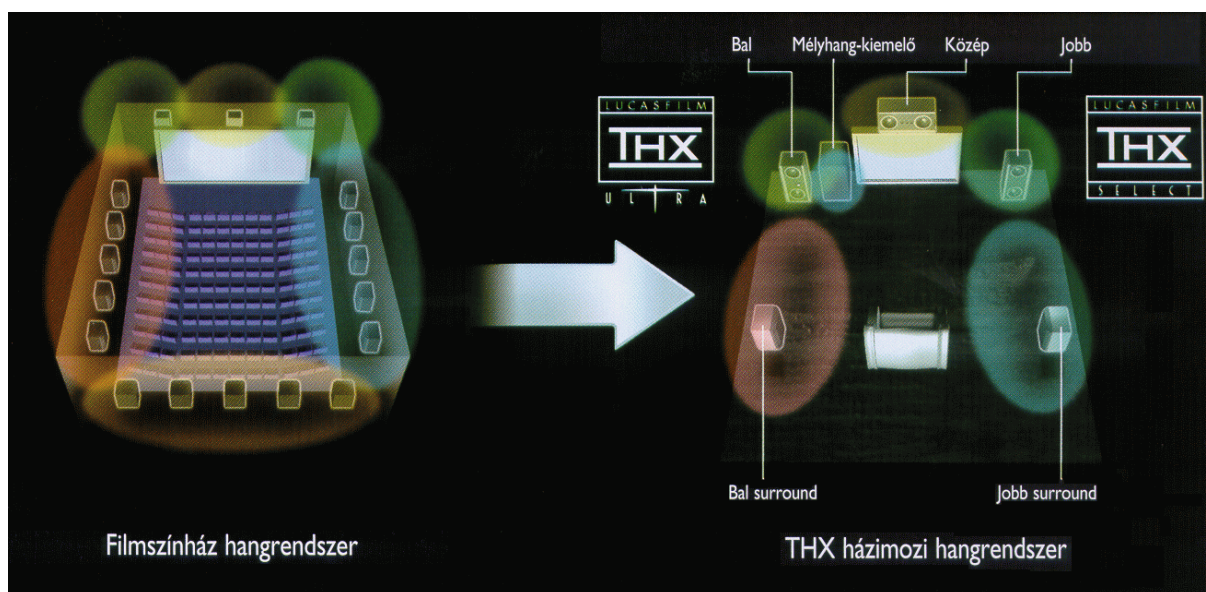
Hasonló a THX-Surround-EX, amit a Lucasfilm és a Dolby együtt fejlesztett ki. Itt is a surround back csatorna mátrixolással kerül a (kompatibilis) 5.1 adatfolyamba belekódolva, melynek a végeredménye 6.1 vagy 7.1 csatornás THX minősítésű lejátszás.

Home THX Cinema, mely a Lucasfilm szabványait követi – de nem a moziban, hanem az otthoni lejátszáshoz igazítva. A kisebb szobához ugyanis „korrekciós kapcsolások” is szükségesek az optimális minőség eléréséhez: re-ekvivalizációs áramkör az első hangszórók elnyomására, elektronikus keresztszűrő a basszus dinamikájának növeléséhez stb. A THX Ultra ezenfelül egy sor minőségi –és teljesítmény vizsgán kell áteszen. A THX Select az ultra minősítésnél kisebb („normális THX”)

Az AV32R:bp-192 THX Ultra2 az első olyan A/V processzor, amely ismeri a „magassági csatorna” fogalmát, amely még tovább növeli a hangélményt. Mi is az a „magassági csatorna”? A sci-fi filmek szerelmesei biztosan észrevették, hogy az űrhajók általában „rajtuk keresztül” jönnek be illetve távoznak a képből, ahelyett, hogy a képnek megfelelően, felettünk közlekednének. Ennek az oka az, hogy a jelenlegi hangrendszerek függőlegesen nem képesek pozicionálni a hangokat. A Todd-AO/Soundelux és a Dolby Laboratories tavaly szeptemberben áll elő egy új hangkonceptióval, melyet először a We Were Soldiers (Katonák

voltunk) című filmnél alkalmaztak. Ez az első mátrix technológia, amely a háttércsatornák mellett magassági csatornákat is alkalmaz.

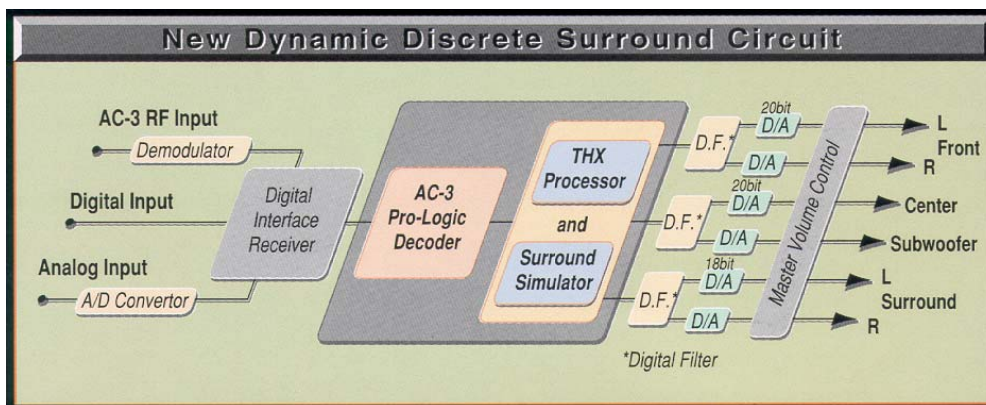
A magassági csatornával kevert filmek, és a THX Surround EX (Dolby EX) vagy a DTS-ES 6.1 kevert filmek mind-mind jobban hangzanak az új technológiával. Ha bekapcsoljuk a magassági hangfal támogatást, akkor a hátsó két csatorna egyikéből - melyek amúgy egyforma jeleket tartalmaznak - állítják elő megfelelő információkat, és ezek alapján hallhatjuk a magassági csatornát. Így még mindig két hátsó csatornánk marad, de ezeket egy kimenetből hajtjuk meg. Az AV32R 'THX Ultra2 Dual Processor 7.1' nem olcsó multság, 4000 fontba (mintegy 1,4 millió Ft-ba) kerül.

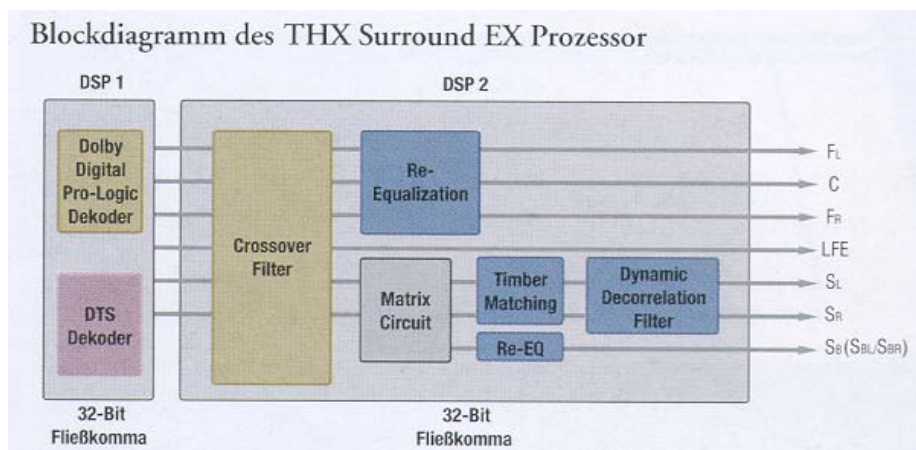


.ábra. A filmszínház hanglépének leképzése is eleme a THX házimozizáshoz érvényes szabványának (kompresszorok, kiegyenlítő áramkörök stb.)



.ábra. Az MPEG2 sokcsatornás hangrendszer logója. Amennyiben olyan DVD-t vagy DVB adást szeretnénk dekódolni, amely nem DD-ban érkezik, akkor olyan erősítőre van szükség, ami képes az MPEG Multichannel dekódolására és rendelkezik ezzel a logóval.





ábra. A THX Surround processzor blokkdiagramja 32 bites lebegőpontos számábrázolással és beépített dts és DD dekóderrel.



ábra. A 6.1 csatornás dts hangrendszer logója.



ábra. A 6.1 csatornás DD hangrendszer logója. Ez a rendszer egy hátsó centert ad a szokványos 5.1 kiépítéshez. Ez a mátrixolással kódolt csatorna úgy van a két hátsóba belekódolva, ahogy a Dolby Surround az első kettőbe.



ábra. A Dolby legújabb Pro Logic II-es dekóderének logója. Ez a továbbfejlesztett dekóder képes kétcsatornás felvételtől éppúgy, mint a DS-ből többcsatornás hangot előállítani. Míg a DS Pro Logic csupán egy mono 100 – 7000 Hz-es (hátsó) surround csatornát használ, ez a dekóder két 20 – 20000 Hz-es hátsót biztosít. Ha a logón nincs rajta a „digital” szó, akkor a dekóder csak Pro Logic II-t tud, de Dolby Digital-t nem. Ha szerepel, akkor mindkettőt.

THX SURROUND EX

ábra. A hatnál több csatornás THX rendszerek logója.

Dolby Digital EX dekóder



Ez a beépített dekóder a 6.1 csatornás Dolby Digital Surround EX formátumhoz használatos, ami egy hátsó center csatornát ad a hagyományos 5.1 csatornás rendszerekhez. Dekódolja a mátrixolt hátsó center csatornát a 6.1 csatornás Dolby Digital Surround EX surround hangzáshoz. Ez a megoldás fokozza a hangpozícionálás valósághűségét és a hátsó hangzásteret is megdöbbenően hitelessé teszi.

Dolby Surround Pro Logic II Surround dekóder

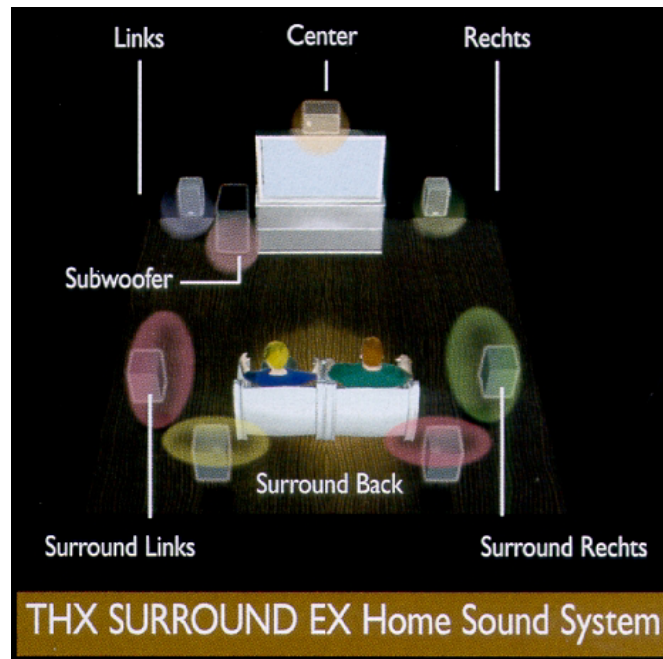


Ez a beépített dekóder képes többcsatornás hangzást létrehozni a kétcsatornás forrásokból éppúgy, mint a Dolby Surround kódolásúakból. Míg a Dolby Surround Pro Logic csupán egy mono 100Hz-7 kHz hátsó surround csatornát használ, a Dolby Surround Pro Logic II két (sztereo) 20Hz-20 kHz-es hátsó csatornát biztosít. Ezzel az 5.1 csatornás hangzás sokkal valósághűbbé válik, így a házimozsi élménye is teljesebb lesz.

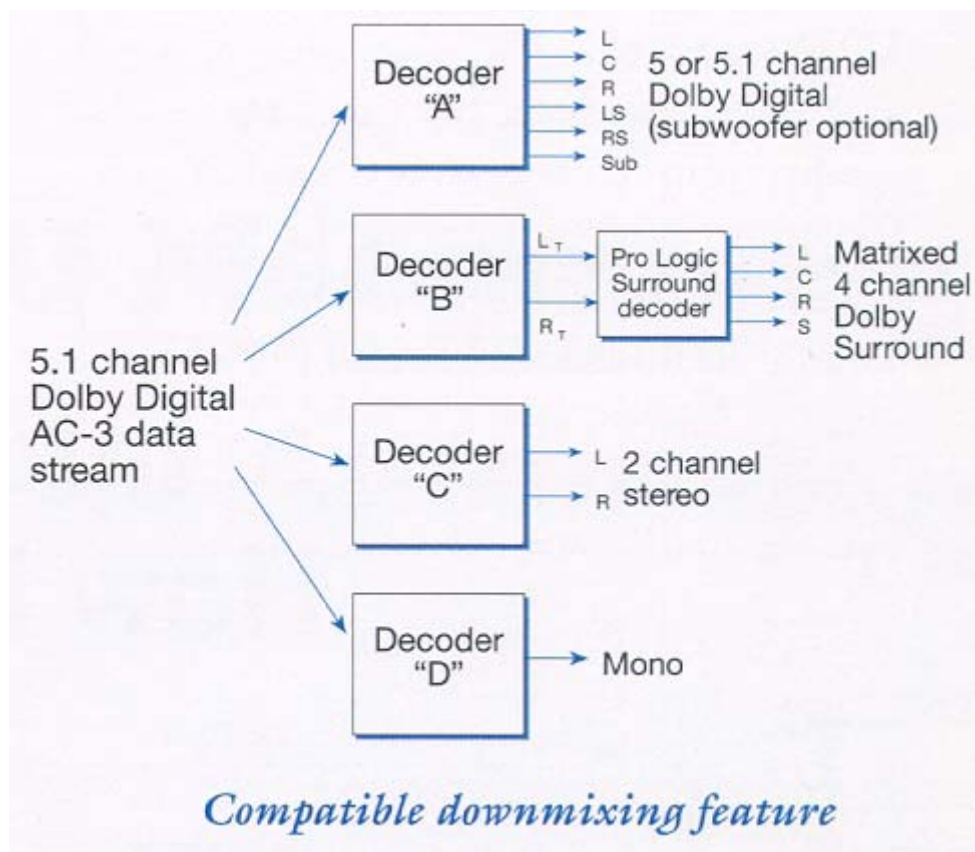
DTS-ES dekóder



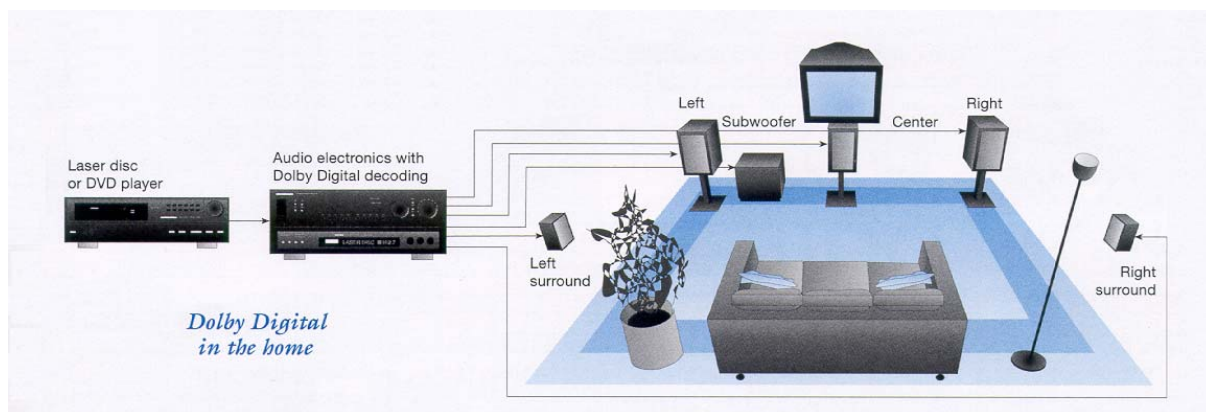
Ez a beépített dekóder a 6.1 csatornás DTS-ES formátumhoz használatos, ami hátsó center csatornát ad a hagyományos 5.1 csatornás rendszerekhez. Dekódolja a mátrixolt hátsó center csatornát a 6.1 csatornás DTS-ES Mátrix surround hangzáshoz. Ezenfelül, ezzel a technológiával lehetőségessé válik a „DTS-ES Discrete” hangzás, amelyben mind a 6.1 csatorna jelei egymástól függetlenül kerülnek rögzítésre. Ebben a rendszerben a hangok egyedülállóan hitelesen szólnak tökéletes pozícionálásuknak köszönhetően.



ábra. A házimoizálás „csúcsa”: az otthoni 7.1 THX minősítésű hangrendszer három első, négy hátsó hangszóróval és mélynyomóval.

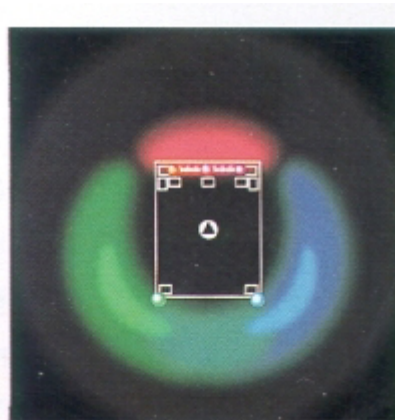
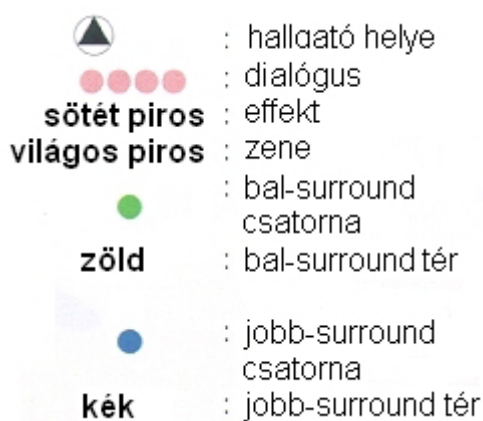


ábra. Hat csatornás Dolby Digital AC-3 bitfolyam blokkvázlat szintű dekódolója 6, 4, 2 illetve egy csatornára.



ábra. Hat csatornás Dolby Digital a nappaliban.

Az erősítők szolgáltatásai közé tartozik a hangtér-szimuláció, angolul DSP (digitális jelfeldolgozás) processzorok végzik ezt és az üzemmódokat is gyakran így hívják. Az alábbi példák a Yamaha cég „Cinema DSP Processor” fedőnevű változatait mutatja a katalógus alapján.



Adventure: filmekhez, ahol a dinamika és a hangerő pontosság megfelel a moziteremnek. A dialógus és a térhangok 3D egyezése összhangban van a képernyőn látottakkal. (A homályos fogalmazás ne tévesszen meg minket...)

General: az utózenés dialógushoz keverésével az jól érthető. A csatornák kiegyenlítettek és a képernyő körül 3D tér alakul ki.

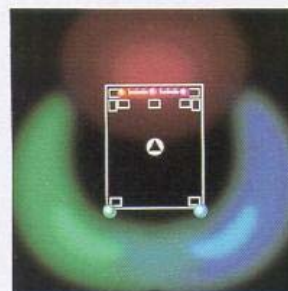
Musical: az erőteljes sztereó hatást egy gyengéd térhatás veszi körül, a legjobb beállítás zenéhez, ahol minden zenész teljes dinamikával és jól elkülöníthetően hallható.

Spectacle: Nagyon széles hangteret hoz létre, mely nagy hangerőnél is megmarad, így egy nagy moziteremben érezheti magát.

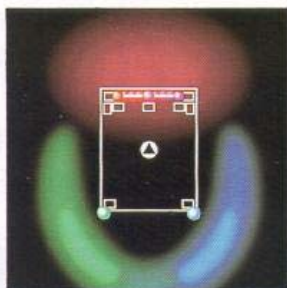
Ahogy látható, nagyon „reklámizú” megfogalmazással, sejtelenes csúsztatásokkal operál egy ilyen katalógus, amelynek ne düljünk be. Ha jól megfigyeljük szinte mindegyik ugyanazt mondja: 3D térérzet, jó dinamikával és helymeghatározással – ezt is várjuk el. Ettől függetlenül vannak hasznos módusok is, mint pl. a 5CH stereo vagy a Mono Movie, de ezek tipikusan ízlés dolga: adott lemezhez, műsorhoz válasszuk ki az éppen nekünk megfelelőt, amelyik a legjobban tetszik. Ne legyen célunk a több tucat előre programozott módus a vásárlásnál, 6-8 féle bőségesen elegendő, a 24-et úgyse fogjuk sosem végigpróbálni és kihasználni.



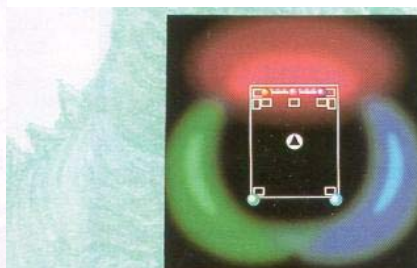
MOVIE THEATER 2 / AC-3 ADVENTURE



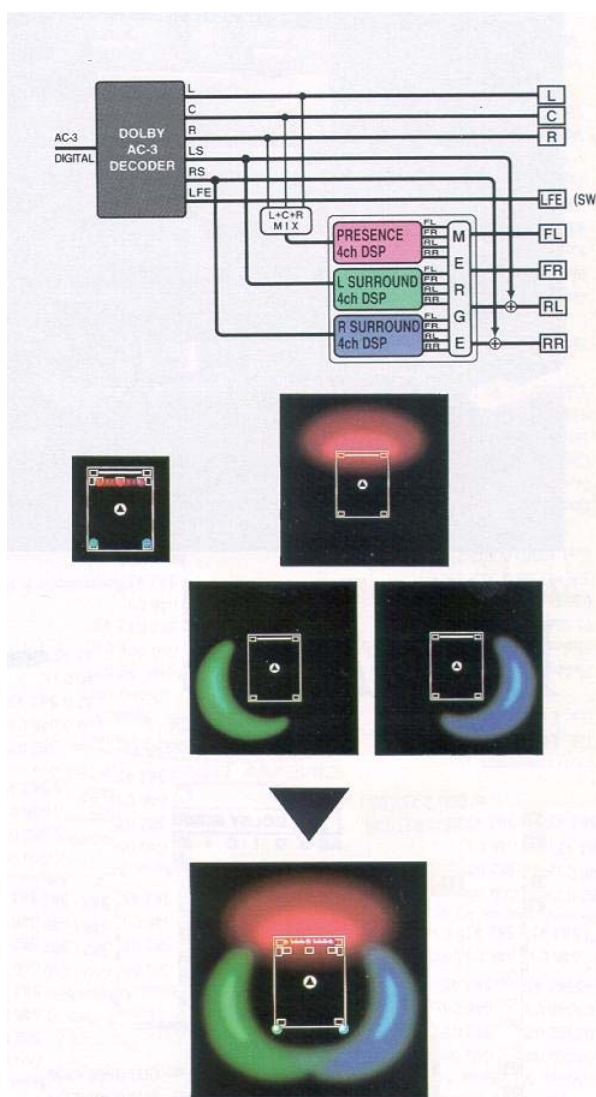
MOVIE THEATER 2 / AC-3 GENERAL

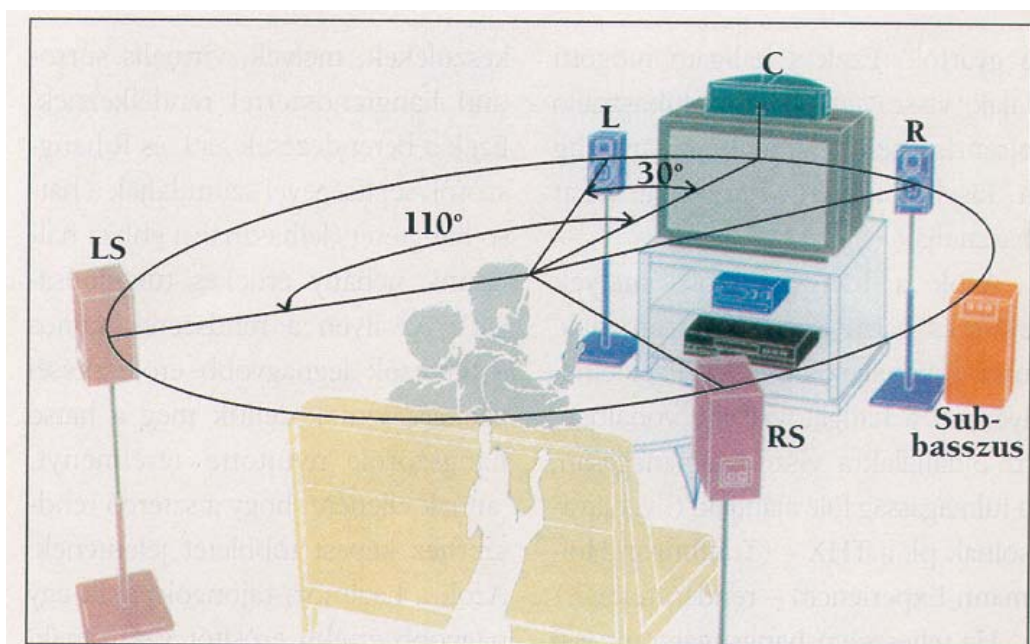
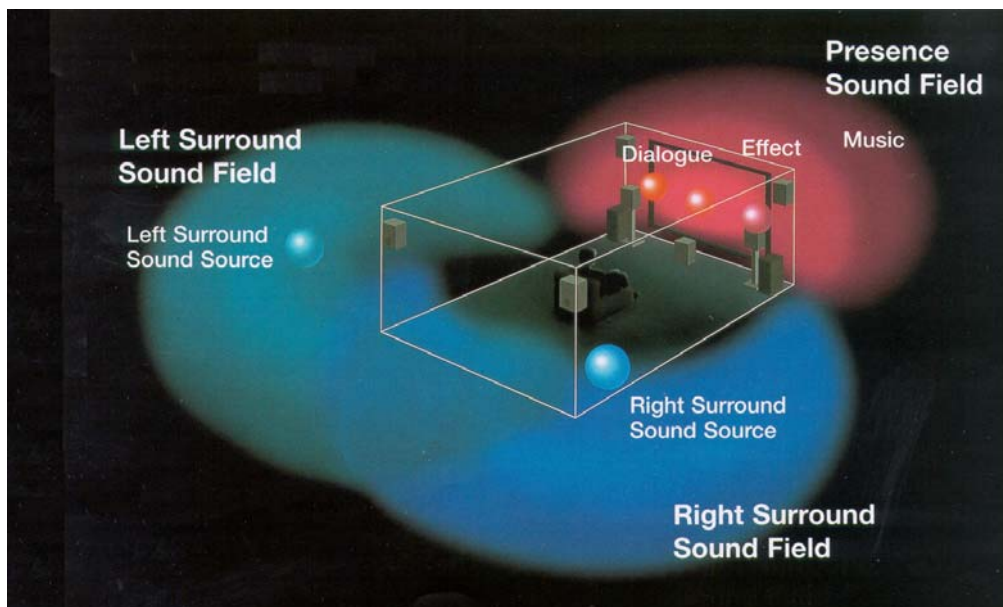


MOVIE THEATER 1 / AC-3 MUSICAL



MOVIE THEATER 1 / AC-3 SPECTACLE





Minden hangrendszer esetében van egy hely, ahol a legjobb hangzás hallható, ez az úgynevezett referenciahallgatási pozíció, vagy közkezdvelt angol nevén a „sweet point”.