

# **SZAKDOLGOZAT**

**OROSZ CSABA ZSOLT**  
**2004.**

(Szakdolgozat feladatlap: 1 oldal)

(Konzultációs lap: 1 oldal)

## Tartalomjegyzék

<b>Bevezető gondolatok</b> .....	7
<b>I. fejezet – Korszerű mozi-, és házimozi-technológiák rövid bemutatása</b> .....	8
<b>1, Az igazi mozi</b> .....	8
A Győr Plaza multiplex mozija .....	8
A Lurdy-Ház Hollywood Multiplexe .....	8
A moziterem belső kialakítása .....	11
A hang .....	11
A legfontosabb hangszabványok, röviden .....	13
A vászon mögött .....	15
A Hollywood Multiplex és a THX-minősítés .....	17
Szubjektív teszt .....	19
Túl hangosak-e a mozik? .....	20
<b>2, Digitális mozi</b> .....	20
<b>3, Digitális házimozi</b> .....	23
A rendelkezésemre álló eszközök .....	23
Hangkártyák .....	24
AC3 Filter .....	27
Mátrix-alkalmazás példák .....	29
Lehetséges házimozi-források, médiumok .....	31
VHS .....	31
VCD .....	31
DVD .....	32
DVD-n alkalmazott kódolások .....	33
A mozgókép .....	33
A hang .....	33
DVD-extrák .....	34
Hibavédelem .....	35
Másolásvédelem .....	35
Superbit DVD .....	36
Broadcasting .....	36
A jövő .....	36
<b>II. fejezet – A hallásérzetet befolyásoló tényezők bemutatása</b> .....	38
A térbeli hallás .....	38
Terjedés levegőben .....	39
A Doppler effektus .....	39
A fej .....	39
A csonthallás .....	40
A fülkagyló .....	40
A hallójárat .....	40
A dobhártya .....	40
Az agy .....	41
A látás szerepe a hallásban .....	42
Körülmények .....	42
A hangfal .....	42
A szoba .....	44
Az utózungési idő számítása .....	45

<b>III. fejezet – Ki- és bemeneti fokozatok megtervezése</b> .....	47
Követelmények a tervezendő rendszeremmel kapcsolatban .....	47
<b>1, Bemeneti fokozatok</b> .....	48
Anti RIAA-fokozat .....	48
Mikrofonerősítő .....	49
A többi bemenet .....	50
Analog MPX/DMPX fokozatok .....	50
A bemeneti fokozat vezérlése .....	51
<b>2, Kimeneti fokozat</b> .....	56
A kimeneti fokozat feladatai .....	56
A DS1802 .....	57
VCA-fokozat .....	59
Send és receive .....	62
<b>IV. fejezet – Térhangzást előállító áramkör tervezése</b> .....	63
Dolby a moziban .....	63
Dolby a házimoziban .....	63
Hogyan készül? .....	64
A legegyszerűbb Dolby Surround dekóder .....	65
Dolby Surround ProLogic .....	66
Dolby Surround ProLogic II .....	68
Tervezés .....	70
Az első verzió .....	70
A második verzió .....	72
Miben más a MyLogic-elv, mint az eddig bemutatott dekóderek? .....	75
Lássuk, hogyan lehet a MyLogic dekódert diszkrét alkatrészekből megvalósítani! .....	76
VCA .....	76
Eltoló .....	77
FWR .....	77
Összeadó-kivonó .....	78
<b>V. fejezet – A szükséges végerősítők megtervezése</b> .....	80
Az alapelvektől a kész kapcsolásig .....	81
A tranzisztortípusok válogatása .....	84
Mélyfrekvenciás erősítő .....	86
<b>VI. fejezet – A tervezendő rendszer tápellátásának megtervezése</b> .....	88
Mit kell tudnia a tápegységnek .....	89
Milyen feszültségekre, és mekkora teljesítményekre van szükségem? .....	89
A külső tápegység .....	90
Az érintésvédelem problémája .....	91
A külön ház .....	91
A relés tápfeszültségkapcsoló .....	92
<b>VII. fejezet – Surround hangsugárzó tervezése és kivitelezése</b> .....	93
Bipólusok .....	93
Dipólusok .....	93
Monopólusok .....	93
Célspecifikáció .....	95

Tervezés.....	95
Hangszórókészlet.....	95
Számított ideális doboz.....	96
A valós doboz.....	98
Frekvenciaváltó.....	99
A kivitelezésről.....	100
Audiencia – Szubjektív teszt.....	101
A háttérsugárzók elhelyezése:.....	102
<b>VIII. fejezet – Center és subwoofer hangszórók tervezése és kivitelezése.....</b>	<b>104</b>
<b>1, A meglévő subwoofer korrekciója.....</b>	<b>104</b>
Megfontolások.....	104
Az eredeti változat.....	105
Korrekció.....	105
Audiencia.....	108
A subwoofer elhelyezése:.....	108
<b>2, A meglévő center-hangszóró korrekciója.....</b>	<b>109</b>
Audiencia.....	112
A frontsugárzók és a centersugárzó elhelyezése:.....	112
<b>IX. - Utószó.....</b>	<b>114</b>
<b>X. - Függelék.....</b>	<b>116</b>
1. – Rendszer logikai diagram.....	116
2. – Hangkártyák mérési eredményeinek összehasonlítása.....	117
3. – Surround hangszóró dobozrajza.....	119
4. – Subwoofer és center hangszórók dobozkialakítása, és fényképei.....	120

## Bevezető gondolatok

Ki gondolná, hogy immáron kilenc éves a házimozi... Ami a múltat illeti, az elmúlt kilenc év teljes egészében a folyamatos fejlődés jegyben telt el. Aki pedig a jövőt fürkészi, és nyitott napjaink fizikai és technológiai újdonságaira, abban könnyen megfogalmazódhatott, hogy a jövő a totális kommunikációjáé, mégpedig a lehető legkülönfélébb csatornákon.

Kezünkben a mobiltelefon egyre nagyobb teljesítmény mellett egyre kisebb méretű; asztalunkon a számítógép egyre több mindenre képes. Ma már karórával is lehet telefonálni, és egy megfelelő felszereltségű PDA-val akár a világ végéről is rendelhetünk pizzát az Interneten. Ami otthonunkat illeti, televízió a háztartások 99%-ában, vezetékes telefon 35,57%-ában, számítógép 31%-ában van (ebből internetes gép 8,8%), a magyarországi mobiltelefonok száma pedig jelenleg is meghaladja a 7,4 milliót. Televízióknak képernyője egyre nagyobb – az új technológiák révén egyre élethűbb vizuális- és hangélményben lehet részünk. Sztereó a videónk, csakúgy, mint a hazánkban elérhető kábeltelevízió-adások csaknem 52%-a. Nagyon sokan rendelkezünk hi-fi rendszerrel; egyesek pedig a házimozi-világ valamely korszakának termékével is büszkélkedhetnek. Telefonvonalunk már lehet ISDN, és DSL is, kiváló internetezési lehetőségeket, és egyéb nagysebességű digitális szolgáltatásokat kínálva. Számítógépünkkel kapcsolatban megszokhattuk már, hogy két évente törvényszerűen egészében kell újabbra cserélni – köszönhetően az újabb és újabb és mind számításigényesebb, lassan hihetetlen szolgáltatásokra is képes szoftvereknek.

Sokak számára azonban ezek sajnos még mindig ismeretlen tények. Külön szomorú, hogy egyes önjelölt „szakemberek” bizonyos fórumokon saját (nem)tudásukat terjesztik, ezzel is alaposan megnehezítve a hétköznapi emberek számára a mind újabb technológiák kavalkádjának megértését. Kiváltképp igaz ez az emberi hallás, és a házimozi területére.

Szakedolgozatom olvasója először kellő mélységében megismerheti a mozi, és a házimozi jelenét, majd szemtanúja lehet egy konkrét házimozi-hangrendszer tervezési és kivitelezési eljárásának. Megismerheti a klasszikus elveken működő korszerű mozikat, olvashat a digitális mozizás lehetőségeiről, de elsősorban a házimoziról. Dolgozatom második részében megismerheti az emberi hallás fizikai mechanizmusát és korlátait, majd a harmadik résztől egy, az ismertetett elvek szerint felépülő házimozi hangrendszer tervezési fázisairól lesz szó. A hangrendszer bemeneti-, kimeneti-, kapcsoló-, és végfokozatainak tervezésén túl betekintést adok a hangfaltervezés bonyolult világába is, valamint ismertetem rendszerem legfontosabb tagját, a surround-kevert kétcsatornás műsorokból 4.1-es térhangzást származtató dekódert.

## I. fejezet – Korszerű mozi-, és házimozi-technológiák rövid bemutatása

Az első fejezetben a hagyományos mechanikus-, a digitális-, és a digitális házimozi kerül bemutatásra. E fejezet célja megismerni és elemezni a mai modern technológiákat, kutatva azok gyenge pontjait és a még benne rejlő lehetőségeket.

A tervezendő házimozi-erősítő célja természetesen a moziban lévő akusztikai viszonyok kialakítása, a moziénál jellemzően sokkal kisebb térben, például egy lakószobában. Célkitűzésemhez ezért elengedhetetlen volt némi kutatás.

### 1, Az igazi mozi

Érdeklődve vettem bele magamat a kutatómunkába, mely mindenek előtt arra irányult, hogy vajon melyik lehet Magyarország akusztikailag legjobban kivitelezett mozija. Kíváncsi voltam, hogy létezik-e egyáltalán olyan mozi kis hazánkban, amelynek akusztikájában nem találok kivetnivalót. Előzményként ugyanis megemlíthető, hogy pár moziban már megfordultam eddig, és igyekeztem olyan filmeket kiválasztani mindben, amelyhez sokcsatornás hangot sugároztak, legyen az bármilyen nyelvű – eredeti, vagy magyar szinkronos.

#### A Győr Plaza multiplex mozija

A Győr Plazában fellelhető multiplex hangján újra és újra negatívan csalódtam. George Lucas legújabb Csillagok háborúja epizódja állítólag tele volt eseménydús effektekkel – részemről pontosan kettőt hallottam. A Terminátor 3-nak viszont észrevehetően rendkívül igényes és effektdús Dolby Digital hangja volt, de valahogy mégsem éreztem magam az események középpontjában, habár a hátsó sorokban ültem, és viszonylag középen. A többi moziban is csak valamicske térhatás-féleséget véltem felfedezni - minden irányból hangos volt, de térélményről csak erős jóindulattal beszélhetünk. Ezek pedig mind hibák, akusztikai tervezési hibák!

A Győr Plaza-béli mozi alapvető hibájaként véltem felfedezni a túlzásfolttságot. Az egyidejűleg szórakoztatni kívánt nézők számát a technikai lehetőségek felett is növelték. Az első három sor a nyakát mereszti a vászon felé nézve, és ráadásul számításaim szerint legfeljebb akár 134 dB (!) körüli hangnyomásszintet is kaphatnak, feltételezve, hogy a JBL-hangfalszettből az ilyen termékekbe szokásos 5000-res screener-széria tartózkodik a vászon mögött. Az utolsó két-három sor már „ránézésre” sem kaphat a hátsó surround-csatornák élményéből, hiszen nagyon éles szögben ülnek alatta. Megérezésemet az alkalmazott hangfalak specifikációi objektíve is igazolják.

#### A Lurdy-Ház Hollywood Multiplexe

Választásom – a vélhetően legjobb magyar mozi keresése tekintetében – végül a budapesti Lurdy ház Hollywood multiplexére esett. Előzetes bejelentkezés után készségesen fogadtak, mint végzős győri villamosmérnök-hallgatót. „Túrávezetőm” egy 25 év körüli fiatalember volt, aki már 2 éve dolgozik a cégnél, mint mozigépész. Bár az ő szempontjából éppen rosszkor érkeztem – éppen kezdési időpont körül –, volt szerencsém tüzetesen megismerkedni azzal a folyosóval és annak minden műszaki elemével, amelyről az összes film egyidejűleg futhat. Ráadásul a „rossz” időpontnak köszönhetően megismerhettem a mozigépek betöltési procedúráját, az erősítők és lámpák kezelését is.

#### A mozi felszerelésről címszavakban:

- 10 darab Cinemeccanica gyártmányú nagyteljesítményű mozigép (1. ábra), Victoria 5 típusú projektorokkal. (2. ábra) A befűzést leszámítva minden funkciója személyi

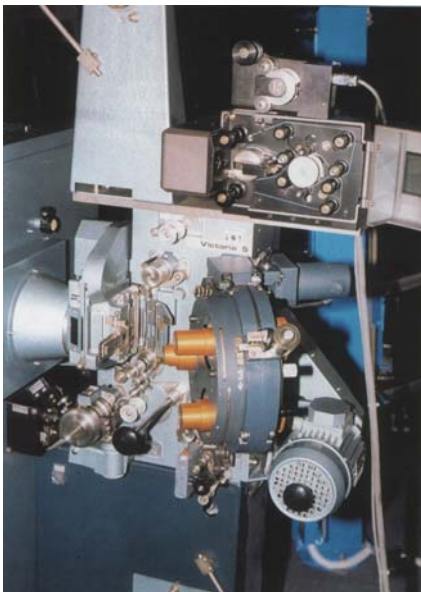


számítógépről távvezérelhető, szabványos ethernet kártyán keresztül. Fejegysége cserélhető – létezik hozzá a képen látható mechanikus optikakomplexum (a képen látható háromféle lencse a háromféle anamorf képarány – 1.85:1, 2.35:1, 2.39:1 – miatt van), de felcsatolható a helyére digitális formátumban érkező filmek lejátszására alkalmas projektor-egység. Utóbbiból a Lurdy-házban nem volt egy sem (új technológia), ezért nem készült róla fénykép. Lelkük a kistermekben egy-egy 1kW-os; a két nagyteremben pedig egy-egy 7kW-os kisívű egyenáramú táplálású xenonlámpa, melyeket a folyosótól és a hallgatóteremtől különálló, elszigetelt térben elhelyezett aktív klímák hűtenek.

- Cinemecchanica gyártmányú három- és négytálcás filmállványok. (3.-4. ábra)
- JBL! MPX300, MPX600, MPX1200 – 300, 600, és 1200 Wattos kétcsatornás teljesítményerősítők.
- 3 darab számítógép – teljesen átlagos PC-k, semmi extra teljesítmény, semmi extra kártya. Windows 9x operációs rendszer, grafikus felületű kezelőprogram. Szabványos ethernet kártyák kötik össze a számítógépeket és a mozigépeket, így messziről elvégezhető néhány kisebb hiba elhárítása, illetve indítható a film, kiválasztható a kívánt hangsáv, és vezérelhető a mozitermek világítása.
- 10 darab CM-35 monitoregység. Ezek szabványos rack-méretű műszerek, feladatuk a kiválasztott hangcsatorna műsorát egy 10 cm átmérőjű kommersz, szélessávú, beépített hangsugárzón megszólaltatni, illetve szintjét decibelben LED-es bargraph-on a kezelő személyzetnek megmutatni.
- 10 darab DOLBY CP500 analóg-digitális dekóder. Mint a leírásából kiolvasható, ez a készülék feleltethető meg annak a készüléknek, ami egyeseknek otthon kicsiben, a végerősítőkkel egybeintegrálva van. A CP500 egy rendkívül bonyolult, sokmindent tudó DSP. (Digital signal processor – digitális jelfeldolgozó)
- DTS dekóderek. Feladatuk elsősorban a mozifilmen található DTS szabványú időkódok indításával a megfelelő hanganyag lejátszása a dekóderbe elhelyezett DTS-CD-kről.
- A két nagyteremhez digitális frekvenciaváltók. Ezek segítségével aktív, „bi-amplified” rendszerről beszélhetünk. Ez azt jelenti, hogy a frekvenciaváltás itt nem a megszokott passzív RLC-hálózatokon, hanem digitális szűrőn történik; a szétválasztott frekvenciasávok pedig külön végerősítőkhöz érkeznek.
- Surround EX-adapter – a gyakran 5.1 hangcsatornába bújtatott hetedik csatorna hangjának dekódolására. (DTS-ES, ill. Dolby Digital EX elvekhez, melyek a 13. oldalon kerülnek ismertetésre)
- Számtalan JBL! hangfal a 10 terem mindegyikében,
- valamint a fentiek kiszolgálásához elengedhetetlen elektromos, mechanikus és klímaelemek.



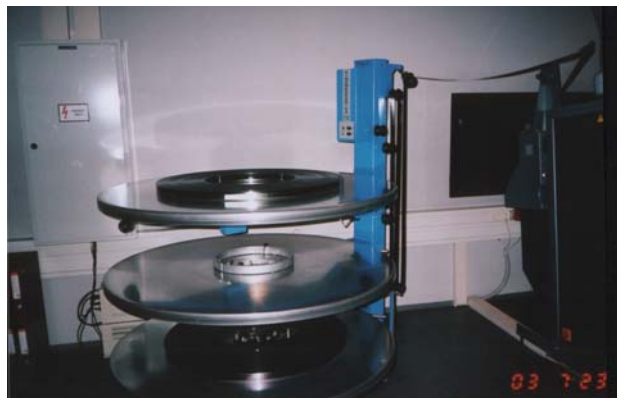
1. ábra – Cinemeccanica típusú mozigép teljes kiépítésében



2. ábra – a Victoria 5 típusú projektoregység (a lencserendszer fölött látható egység nem képezi részét)



3. ábra – Cinemeccanica típusú négytálcás állvány



4. ábra – Cinemeccanica típusú háromtálcás állvány

## A moziterem belső kialakítása

A terem kialakítása Berkes Zoltán munkája. (5. ábra) Belső kialakításra az eddig látottak alapján magasan a Lurdy-ház viszi a prímet; látszik, hogy nem a költségvetés volt a korlát a kiépítésénél, hanem a nézők minél magasabb színvonalú szórakoztatása.

A kisebb terem 80 férőhelyesek, ami majdhogynem családiasan kevés, vásznuk 30 négyzetméteres, míg az 1-es terem majd 500 fő egyidejű szórakoztatására alkalmas, és 160 négyzetméteres a vászna. Minden mozivászon panorámás, azaz kis ívben hajlított. A vászonnól érdemes megjegyezni, hogy bár messziről nem látható, valójában apró lyukak lepik el teljes felületén. Ennek oka ennek a fejezetnek egy későbbi részében lesz olvasható.

A teremkialakításnál – mint sajnos szokásom – most is a hibát kerestem, ám nemigen találtam... Akusztikailag minden a lehető legmegfelelőbbnek látszott – elsőre. Akaratlanul is eszembe jutott a Győr Plaza, és az ott található mozi két nagyterme. Már ránézésre is ég és föld a különbség, hát még meghallgatásra! A legszembeütőbb dolgok:

- A Lurdy-terem nem túlszűfolt. Amint az 5. ábra bal felső sarkában is látható, elől hatalmas tér van az első sor és a vászon között, ezzel védve az elől ülők fülét és nyakát a Győrött megismert viszontagságoktól.
- Figyelemre méltó továbbá a másik győri hiba megfelelő helyi adoptálása. Itt is tettek ugyan székeket a hátsó effekthangfalak alá, és túlzott közelébe, ezek azonban páros székek, vagyis ide vehetnek jegyet azok, akiket nem igazán a film vonzott a sötétbe, és valószínűleg nem a hangélménnyel lesznek elfoglalva. Ügyes!
- A Lurdy-teremben középpütt is be lehet menni a sorok közé, ami a győri nagytermeiről szintén nem mondható el – igaz, ez inkább csak okosan megfontolt kényelmi szempont, mintsem akusztikai.
- A terem kialakítása véletlenül sem követi az egyszerű téglatest-formát; mind oldalsó falainak, mind a plafon vonalvezetése több, egymással szöget bezáró síkfelületekből áll. Ezek a síkfelületek pedig bársonyhoz hasonlatos anyaggal vannak bevonva, vagy abból készült redőzött függöny borítja őket. A függönyös megoldás szokatlan, és nem találok még vele seholy. Ami hasonló hozzá, az a „No7” T-sávós, függesztett hangelnyelő rendszer, amelyet azonban plafonon szokás alkalmazni [6]. Az egyszerű, ragasztott hangelnyelő anyag pedig „No1” típusú abszorpciós technikát jelent. Utóbbi a szemnek rendkívül megnyugtató, és a hátsó falakon jó megoldásnak bizonyult, az elülsőkön azonban nem...

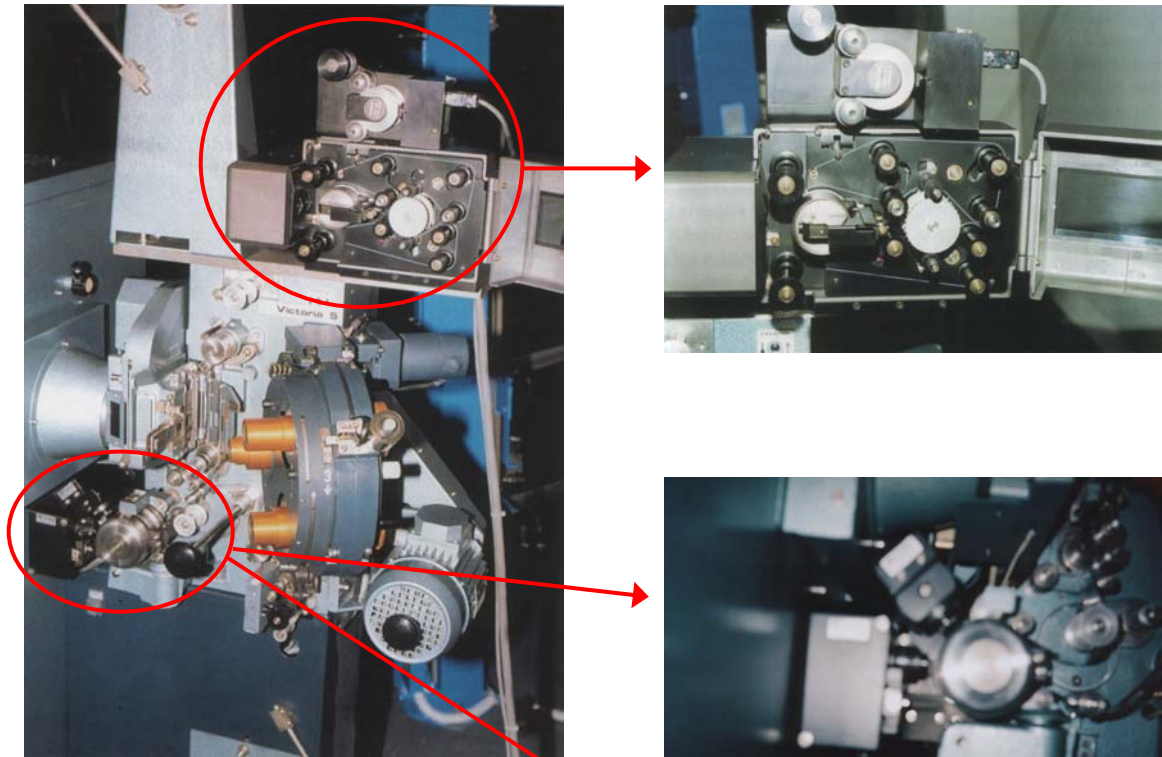
## A hang

A mozigépekhez kapcsolt különféle elektronikus berendezések minden létező szabványos hangformátum lejátszására (Dolby Stereo, Dolby Digital, DTS, SDDS) alkalmassá teszik a mozit. Ide kapcsolódik egy bizonyos szintű automatizáltság is, mely a minden esetben a kezelő dolgát könnyíti meg, de szem előtt tartja, hogy bizonyos beavatkozásokhoz feltétlenül ember szükséges. Így automatikus például a gépek előre beállított sorrend és időközök szerinti be- és átkapcsolása – automatikus folyamat például egyetlen gombnyomásra az előzetes zene lekeverése, a világítás fokozatos elhalványítása, és a mozigép indítása. Automatikus folyamat továbbá az, ha a filmszalag annak előzetes átvizsgálása ellenére mégis sérült lenne (jellemzően a széle, amely a hangsávokat tartalmazza), az automatika képes azonnal átváltani a precedenciában meghatározott következő hangsávra. Így a lejátszás folyamatos marad, és a kezelő figyelmét sem kell feleslegesen lekötöni.

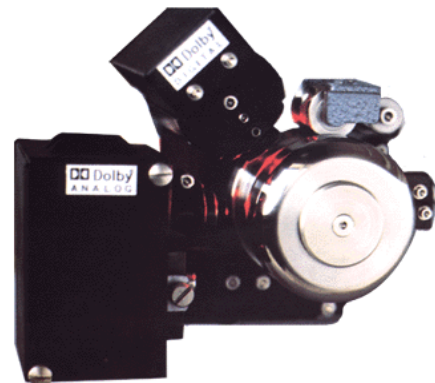
Technikai oldalról közelítve a hangsávok lejátszását, a fent említett négy elterjedt mozihang-szabvány egymástól mind technológiában, mind pedig gyártóban függetlenek



5. ábra – Az 1-es terem belülről



Bal felső nagy képen a teljes, Cinemeccanica, Victoria 5 típusú projektor-egység látható, rajta a két karikával jelölt hangolvasó fejjel. A kisebb képeken ezek nagyítása.  
(6.-7.-8.-9. ábra)



egymástól, ezért lejátszásukhoz elengedhetetlen minden szabványhoz külön, gyári olvasófej alkalmazása. Az egyes olvasófejek helye, és alkalmazása a fenti fényképeken láthatók. (6.-7.-8.-9. ábrák)

#### Az legfontosabb hangszabványok, röviden

**1, SDDS** – A SONY cég kevésbé elterjedt hangszabványa. Optikai úton tárol 5+1...7+1 csatornás hangot, veszteségmentes ATRAC kódolással (Adaptive Transform Coding, kb. 5:1 ratio), a film két szélére, a traktorlyukakon kívüli területre, egy cián alapú emulziós, megerősített rétegre fényképezve.

**2, Dolby Stereo** – A sztereo megjelölés korábban engem is megtévesztett. Arról van ugyanis szó, hogy ez a márkanév valójában **négy** csatornás hangot takar, fizikailag két csatornába bújtatva. A filmszalagra ebben a megoldásban a DTS időkódok és a traktorlyukak közé kétsávnyi analóg, optikai elven olvasható adat kerül fényképezésre; az általuk hordozott információból azonban dekódolható egy jobb, egy bal, egy center, és egy (mono) surround csatorna másora is. A felfényképezett anyag nagyon érdekes látvány, egy hanghullámfájl kitöltött, szimmetrikus oszcilloszkópos ábrájára emlékeztet – és valójában majdnem az is.

**3, Dolby Digital** – optikai elven tárolt, redundáns, hibajavító, digitális hangrögzítési eljárás. Elméletileg 2-9 csatornányi hanganyag tárolására alkalmas. A bitek mártix-formába szervezve kerülnek fel a celluloidra, mégpedig a traktor-lyukak közé. A jelölt lézeres olvasó ezt a típusú információt a Dolby CP500-ak továbbítja, ahol a digitális jelek visszanyerik bitfolyam-alakjukat, majd ezáltal információtartalmukat is, azaz a hangcsatornák hanganyagát.

Kiegészítése, továbbfejlesztése a Dolby Digital EX. Ebben a megoldásban a „klasszikus” Dolby Digital 5+1 hangcsatornája közül a jobb és bal surroundba mátrioxolják, keverik bele egy hátsó középső csatorna jelét, melyet csak a megfelelő EX-adapter tud azokból kiválasztani, és megjeleníteni. Adapter nélkül a hátsó center hanganyaga önmagával interferálódva kioltódik.

**4, DTS** – A Digital Theatre Systems cég által kidolgozott hangrendszer. A hang ezúttal nem a celluloidon van, hanem külön DTS-CDROM-okon érkezik a film mellé. Megemlítendő, hogy a DTS-CDROM egy CDROM alapú, de speciális adatstruktúrájú rendszer. A filmszalagra ekkor csak a szinkronozáshoz elengedhetetlen időkódok kerülnek fel, mégpedig a Dolby Stereo hangsáv, és a képanyag közé.

A DTS cég is elkészítette a maga 6.1 csatornás rendszerét, melyet DTS-ES-nek keresztelt.

A 7. ábrán az SDDS és a DTS kódokat olvasó optikai egység látható. Érdeemes megfigyelni a nagyítást, azt, hogy a precizitás érdekében erősen (sok görgővel) vezetik meg a filmet, ez ugyanis elengedhetetlen kelléke a lézerek pontos pozicionálásának.

A 8. és 9. ábrák ugyan azt akarják mutatni, de mivel az általam készített fénykép sajnos saját hibából adódóan elmosódott lett, a Dolby katalógusból származó ábrát is ide illesztettem (9. ábra). Megfigyelhető mindkét nagyításon, hogy a Dolby-nál lényegesen egyszerűbb a filmszalag-vezetés. Teheti a rendszer, hiszen ebben a megoldásban a digitális anyagban nagy a redundancia, míg a Dolby Stereo sávot ha csak kis hibával követi az olvasó, hasonló eredményt ér el, mint amikor a kazettás magnónk feje kissé el van állítva; azaz egyik jelenség sem eredményez zavaró hatást.

Összegezzük az olvasottakat a 10. ábrán látható celluloid-filmkockán:



Dolby Digital – Dolby Stereo – DTS – és SDDS hangsávok  
10. ábra – Egy celluloid filmkocka felépítése



11. ábra - Felül a CM-35 monitoregység,  
alul a Dolby CP500 analóg-digitális  
dekóder  
←

12. ábra – A DTS-6D típusú digitális  
lejátszóegység



## A vászon mögött

A mozivilágban screener-nek hívják azokat a hangsugárzókat, amiket mi a házimoziban frontoknak, és centernek nevezünk. (Screen=vászon)

A házimozis-zetthez csak három hangsugárzót kapunk előre: egy jobb, egy bal, és egy center hangfalat. A moziban ha így tennék, a nagyobb termekben zavaróan sok hely maradna a jobb és a center illetve a bal és a center hangsugárzók között, ezért a köztes utakat megfelezték: létezik egy jobb-közép, és egy bal-közép csatorna is.

A Lurdy ház mozijában érkezésem alkalmatlan időpontja miatt sajnos nem tudtam betekinteni a vászon mögé; az üres teremről is csak futtában készültek a képek, pár perccel azelőtt, hogy beengedték volna a nézőket. Az alábbi, 13. ábra valójában egy másik mozi belsejét mutatja, a vászon mögötti része (hangsugárzó-típusok és elrendezés) azonban túravezetőm elmondása alapján gyakorlatilag ugyan az, mint az 1-es Lurdy-teremben:



13. ábra

A fenti képen látható elrendezés részleteiben az alábbi:

A nagyterem vászna mögött 5 darab JBL! 5674-es típusú hangláda áll. (14. ábra) Ne tévesszen meg senkit, hogy valójában két dobozról van szó – az alsó része felelős a mély-középért, a felső pedig a magastartományt fedi le; korábban már esett szó erről a megoldásról, a bi-amplified rendszerről.

A JBL! 5674 specifikációja röviden az alábbi:

- Frekvenciatartomány: 45 Hz - 12.5 kHz (@- 3 dB)
- Maximális hangnyomás: 117dB (@10 m)
- Igényelt váltási frekvenciák: LF/MF: 297 Hz, MF/HF: 2.5 kHz
- Érzékenység: 103dB illetve 115dB, (@1W, 1 m)
- Ajánlott erősítő-teljesítmény: 2\*1200W



14. ábra

Halkan megjegyzem, „kicsit” túlkapás volt a tervező részéről az 5674-es alkalmazása, hiszen mint a specifikációból is kivehető, ekkora teljesítmény egy 500 fős teremnek nagyon sok. A hangfalak gyártója is ezen a véleményen van – ezt a termékét 1200 fős termekbe javasolja.

Mindehhez még hozzájön 6 darab JBL! 4645C típusú bass-reflex elven működő subwoofer, amelyekben egyenként 46 centiméter átmérőjű hangsugárzó dolgozik, jellemzően 80 Hz alatt, elméletileg „csak” 22 Hz-ig. Ez az LFE csatorna, vagy házimoziból ismert nyelvezettel élve a „1”. Érzékenysége 99dB (@1W, 1m), és 1600 Watt folyamatos zenei teljesítményre képes.



15. ábra

A falakra, oldalsó és hátsó csatornáknak szintén a sorozat legnagyobb tagja, a JBL! 8340 típusú, kétszatornás surround került. Tulajdonságai:

- Frekvenciatartomány: 45 Hz - 18 kHz (@-10 dB)
- Váltási frekvencia: 2200 Hz
- Érzékenység: 96dB (@1W, 1m)



16. ábra

Amint bemutattam, a screenerok a vászon mögött vannak. A vászon viszont egy erős, sűrű szövésű anyag, így ha nem volna lyuggatva, csak igen kevés hangenergia jutna át rajta. Ezért hát apró perforációt helyeztek el a vászon teljes felületén, egyenletes eloszlással. Ez jó megoldás arra, hogy több hangenergia jusson át, sőt, mint hangfrekvenciás egyenirányító is jó szolgálatot tesz, cserébe azonban „kimenetén” elromlik a frekvenciamenet.

A vászonra felírható az alábbi képlet:

$$\frac{\text{áthatoló\_energia}}{\text{reflektált\_energia}} \sim \frac{\text{lyukak\_összes\_felülete}}{a\_vászon\_fedett\_területe}$$

, azaz minél nagyobb a vászon, és minél nagyobb a lyukak száma és egyenkénti mérete, annál több hangenergia jut át rajta. Ám a lyukak mérete nem növelhető tetszőlegesen – azokat a nézőknek az ülőhelyeikről egyáltalán nem szabad látniuk, hiszen az optikai torzítást okozna, ezáltal csökkentve a látvány hatását. A kompromisszumos megoldás tehát a sok, apró, meghatározható távolságról láthatatlan lyuk.

Tekintve, hogy a lyukak mérete az áthatolni szándékozó  $\lambda$  hullámhosszokhoz képest kicsi, ez a „fal kis nyílással” fizikai esete [8], amelyet általánosságában kiválóan leír a Huygens-Fresnel elv. Az elv minden hullámhosszra igaz, ha  $\lambda$  kisebb, mint a rés (d) átmérője. A törvény kimondja, hogy ezesetben a nyílás kimenete **pontforrásként** fog viselkedni, mindegy akár ha síkhullám érkezett is a bemenetéhez. A lyukacsos vászon minden pontja tehát apró pici pontforrássá válik, kvázi mintha a vászon, mint síkfelület sugározna. Tegyük még hozzá, hogy a mai vásznak panorámásak, azaz szélesség tengelyük kis ívben a nézőkkel ellentétes irányba görbített. Ezek szerint a görbített vászon nemcsak a szemünknek teszi kényelmesebbé a kialakuló érzetet, hanem a fülünknek is, hiszen a hangtér szerinti „elől” az egyenirányító hatás által körülöleli a nézőséget. További előny, hogy az elv szerint a (középső) center csatornát elméletileg a jobb és balhoz képest kissé hátrébb kell elhelyezni – így ez is tökéletesen teljesülhet. Diszkutáljunk még egy esetet: tekintsünk egy 3 screeneres elrendezést a vászon mögött. Ekkor a fizikailag a jobb és a center hangfalak között elhelyezkedő vászon-lyukakra mindkét irányból éles szögben érkeznek kvázi síkhullámok, amelyek valamekkora hangteljesítményt hordoznak. A lyuknak ez azonban mindegy, a kimenete ekkor is olyan pontforrás lesz, amely összegezve adja ki a két beérkező jelet, így virtuálisan alakítva ki a jobb és a bal center fogalmát.

DE... A lyukak elrontják a frekvenciamenetet, és nem végtelen területükből kifolyólag (ami ugye lehetetlen) csillapítást okoznak. Ez azt jelenti a gyakorlatban, hogy minden vászon csillapít, ráadásul LPF (**L**ow **P**ass **F**ilter – aluláteresztő szűrő) jelleggel. A tipikus érték  $f_0$ = körülbelül 5 kHz-től 6 dB/oktáv meredekségű csillapítás. Szabvány szerint (ISO 2969) pedig 3 kHz-től 6dB/oktáv. Ezt nyilván egy ellentétes karakterisztikájú korrektorerősítővel – vagy akár passzív szűrővel –, korrigálni lehet, sőt: muszáj is.

A legelterjedtebb mozi-processzorban, a Dolby CP500-ban (mellyel a Lurdy-Házban is találkoztam) ezért a korrekcióért külön kártya felel. A bővítőkártya a „Dolby Cat. No. 675a – Equalization” nevet viseli; feladata pedig a hangfrekvenciás spektrum kiegyenlítése azokon a tartományokon, ahol valamilyen eszköz vagy körülmény – például a vászon – torzította azt.



## A Hollywood Multiplex és a THX-minősítés

A THX Ltd.-t George Lucas alapította 1983-ban, eredetileg azért, hogy a néző a moziban pontosan azt lássa és hallja, amit a rendező a vászonra álmodott. (Mint tudvalévő, George Lucas nevéhez fűződik a StarWars epizódok írása, rendezése, és produkciója is.) A THX egy rövidítésből adódik, kifejtése: Tomlinson-Holman eXperiment, melyben Tomlinson és Holman a THX Ltd. két vezető mérnöke.

Ha egy mozi plakátján, vagy előtermében THX logót látunk, nem egy újfajta speciális hangfeldolgozási rendszerre kell gondolnunk, hanem egy szigorú szabványra, amely elvileg független attól, hogy milyen hangrendszert preferál a mozi. (Azért sajnós csak elvileg, a THX ugyanis gyakorlatilag megköveteli a piacvezető Dolby Laboratories eszközeinek használatát.)

A THX-minősítést elnyert moziban tehát egyvalami biztosan fix: az általános értelemben vett, mindenre kiterjedő minőség. De mi mindent takar ez a megfogalmazás egészen pontosan? Lássuk az alapvető kategóriákat, amiben biztosan tökéletes a THX logóval ellátott mozi; azaz nézzük meg a szabvány követelményrendszerének főbb elemeit. (A pontosság kedvéért az eredeti, angol nyelvű elnevezésekkel jelölöm a fő szempontokat.)

### 1. Background noise – Háttérzaj

Ne **okozzon** sem zavaró-, sem pedig hallható zajt a mozi területén lévő akármilyen berendezés, vagy embertömeg, úgy mint projektor, hűtőventillátor, transzformátorok, folyosó vagy jegykezelőtér, jegypénztár közelsége.

Ennek objektív alapú mérésére szolgál az „NP-30” nevű mérési eljárás, mely oktávsáv-os-felbontású vizsgálódást takar. Az elv szerint az egyes oktávsávok egyikében sem haladhat meg a háttérzaj szintje egy rögzített, megengedett értéket.

### 2. Isolation – Elválasztás

Ne **érkezhessen** zavaró akusztikai hatás a teremhez képest külső zavaró forrásokból sem; legyen a terem akusztikailag a külvilágtól jól **elszigetelve**. (Itt különösen a szomszédos termék zajára gondoltak – pl. ne hallatszódjon be a mért terembe, ha a szomszédos mozi éppen egy lövöldözős filmet vetít...) Érdemes megfigyelni, hogy az 1. és 2. pont ugyan arra törekszik; de míg az első az okot szünteti meg, a második az okozatot igyekszik minimalizálni.

### 3. Reverberation – Visszhangosodás

Sok mozi azonnal megbukna ezen a teszten... Objektíve azt takarja ez a pont, hogy a teremre a THX szakmérnökei a terem fizikai adatai alapján utóhangési idő-határokat számítanak ki, amelyek szerintük elfogadhatók volnának. Ezek után megméri az aktuális utóhangési időt, és korrekciót javasolnak, ha a mérési eredmény nem esik a számított határok közé. Külön kitér a szabvány ebben a pontban az ún. „slap-echo”-ra, azaz a terem két szemközti fala között ide-oda verődő hangfoszlányokra. A cég szerint semmiképpen sem lehet hallható ilyen visszhang a film lejátszása folytán! (Kizárni ugyebár lehetetlen is volna, a cél ismét a hatás minimalizálása. Véleményem szerint valóban zavaró hallani a slap-echo-t, volt ugyanis „szerencsém” hozzá a Lurdy-moziban.)

### 4. Viewing angle – Látószög

2.39:1 anamorf („képaránytorzító”) szélesség/magasság arányú vetítővászonnak a nézőtér legtávolabbi székéből ülve vett látószöge legalább 26° kell legyen. Ez a szög optimálisan 36°. Mit jelent ez?

[11.] forrásom alapján „egy képet akkor tudunk kényelmesen nézni, ha 20°-os látószög alatt látjuk” – értve az adatot a vertikális látószögre, és 4:3 arányú képre. [7.] forrásom szerint pedig szintén 4:3 arányú képre vonatkoztatva a szem horizontális látószöge 48°. Ez a két adat jelöli ki azt a négyzetet a térben, amelyben

„látszó”/történő eseményekre a szem (és az agy együttesen) egyidejűleg koncentrálni képes. Az ezen a négyzeten kívüli események csak a perspektivikus látómezőben zajlanak, melyben a történés befolyásolja ugyan a kialakuló érzetet, azonban jelentősen csekélyebb mértékben, mint az éleslátás mezejében.

Milyen hatást okoz a panorámavászon? „*A szélesebb látószög dinamikusabb, élettel telibb képet eredményez. A látószög növelésével a perspektíva egyre jobban torzul, megnyúlik (...)*” [7.]

A moziban tehát a 16:9 arány miatt a képi anyag sokkal szélesebb, mint amire koncentrálni tudunk, így minden székből tekintve feltétlenül kialakul a perspektivikus látás, mely fentiek alapján csupán a térérzetet hivatott fokozni. Elmondható továbbá a fenti THX-adat (vertikális látószög legalább 26°, optimálisan 36°), és [7.] forrásom alapján (a szem számára 20° a maximum), hogy függőlegesen IS kialakul a perspektivikus látómező. Mindez együttesen magyarázza meg, hogy miért is „érezzük” a filmeket realiztikusabbnak a moziban.

#### 5. Projection – Vetítés

A vetítésre a THX és az SMPTE szabványoknak együtt kell teljesülniük. A kép torzítása kisebb kell legyen, mint 3%, de THX-en kívül is maximálisan 5% lehet. Ahogyan egy erősítő, úgy az optikai eszközök is torzíthatnak (pl. nem megfelelő minőségű lencserendszer, hullámos vászon, párás levegő, stb...)

A vászon megvilágításának megkívánt erősségét szintén ez a pont tartalmazza, de annak korlátait sajnos SI-n kívüli mértékegységrendszerben adja meg a szabvány, így azt európai ember nem képes azonnal bármihez is viszonyítani.

#### 6. Equipment – Felszerelés

Csakis THX-minősítette műszaki eszközökből állhat össze a THX rendszer, ezekről pedig egy folyamatosan bővülő listát vezetnek. Az aktuális lista lekérhető a THX Ltd. e-mail címén. Mindemellett a gyakorlatban nem elég, hogy fix a lista, az azon található elemek közül a THX-mérnökkel való konzultáció során kell választani! Így viszont jóformán minden kötötté válik...

#### 7. Installation – Összeszerelés, installáció

Az összeszerelésre az előző menüpontban leírtakhoz hasonlóan a THX mérnöke fog javaslatokat tenni. Előfordulhat olyan eset is, amikor kész mozihoz hívják ki ezt a mérnököt – ekkor a feladata az ellenőrzés, és az esetleges javasolt átépítési tervek elkészítése.

Ezekon a pontokon kívül a szabvány még sok mindenre kitér. Például ajánlást tesz a terem hossz/szélesség-arányára, és kiköti alapkövetelményként, hogy MINDEN székből térélményt kell lásson, és halljon a vendég. Fontos, és precíz instrukciókat ad a screenerek elhelyezésére, például annak érdekében, hogy ne visszhangosodjon a vászon mögötti tér, hogy elég akusztikai energia jöjjön át a vásznon, hogy megfelelő legyen a nézőtér lefedettsége, és még sok-sok apró részlet...

Amit a szigorú megkötésekért (és a magas tervezési-, és certifikációs költségekért) cserébe ígér a cég, az a tökéletes beszédérthetőség, a kristálytisztá magashangok, és a soha irreálisan erőssé nem váló basszusok.

Ami a Lurdy házat illeti, az eddigiekben felsorolt eszközeinek mindegyike **külön-külön teljesíti** ugyan a THX-szabványt (részbe annak a bizonyos listának), maga a mozi azonban nem rendelkezik THX minősítéssel. Kérdésemre, hogy „mért nem látom sehhol a THX-minősítést hirdető dicstáblákat?” ugyanis az volt a válasz, hogy ezt az egyet nem lépte meg a mozi. Mint a fenti leírásból is kivehető, a minősítés megszerzése hosszas mérési és jóváhagyatási procedúra, amely számukra (a tulajdonos InterCom számára) nem is volt cél;

szerintük aránytalanul sok pénzbe került volna ahhoz képest, hogy a végén eldicsekedhessenek vele a mozirajongóknak.

Valószínűleg, ha igényelné a mozi a beméretést, fény derülne az általam hallott „slap-echo”-ra is. Így mielőtt megkapnák a certifikációt, bizonyára egy átépítési tervet kapnának kézhez, amely biztosan tartalmazná a jelenség csökkentésének lehetséges, THX-ajánlotta módjait.

A Lurdy-termék kialakítása azonban így sem volt minden szabályoktól mentes. Túl azon, hogy hozzá értő ember tervezte, és szereltette fel a termeket, gyakorlatilag a géppark minden elemét ajánlások kötik egymáshoz. A Dolby Laboratories ugyanis csakis úgy hajlandó a világon mindenhol eladni a gépeit, ha megfelelő kvalitású gépparkba kerül, így lett mindjárt előírás a JBL!-hangosítás használata. A minőségi láncolat folytatásaként pedig a JBL! szabványszerű ajánlásokat küldött termékei mellé, például hogy melyik hangdobozt hogyan és hova kell elhelyezni ahhoz, hogy a kialakuló hangtér minősége semelyik székben hallgatva se csorbítsa a cég hírnevét.

Kijelenthető tehát, hogy a Lurdy Ház termeinek gépei, és műszaki berendezései minden bizonnyal teljesítenék a THX szabványt, a teremről azonban más a véleményem. Magáról a belső tér kialakításáról nincs „hivatalos” hír. A székek minősége, elrendezése; a terem formája, és hangelnyelő anyagai, azok kiválasztása és elrendezése egytől egyig a tervező Berkes Zoltán munkája. Hogy ő mennyire és milyen ajánlásokat/szabványokat vett figyelembe a termék kialakításakor, arról nem kaptam információt.

### Szubjektív teszt

Tekintve, hogy átutazóban voltam Budapesten, sok választásom nem volt, beültem az első előadásra ami a körbevezetésem után kezdődött, annak pedig sajnos éppen „csak” Dolby Stereo hangja volt, és „csak” az egyik kisebb, 80 fős teremben játszották. Így a híres mélyeket, és a fantasztikus térhatású hangélményt nem tudtam meghallgatni, csupán „csak” 4 hangcsatornát kaptam, mono háttérhangokkal.

Ám sajnos kissé lelohasztotta a Lurdy-termekbe vetett hitemet, amikor még ebben a hangban is megtaláltam a hibát. Félhangos részeknél kivehetően hallatszott, hogy ez sajnos visszhangzik, mégpedig valahol elöl, a székek előtt üresen hagyott térben. Eleinte áthallásra gyanakodtam, de THX-et teljesítő berendezésekre ez durva sértés volna, aztán tovább hallgatóztam, és bebizonyosodott számomra az a kicsi de **hallható**, és bizony zavaró visszhangocska. (Lásd előzőekben a THX-elvek 3. pontját!)

Lám, az előzetes körülnézés során tapasztalt, még soha nem látott abszorpciós megoldásnak lehetnek hibái. Az első széksor és a vászon között elhelyezkedő tér falaira nagyobb hangelnyelőképes anyagok, vagy technológia volna szükséges.

De ne mondja dolgozatom olvasója, hogy csak kritizálni tudok, engedtesék meg egy lehetséges megoldás közlése is [6.] forrás alapján.

A meglévő technika a „No1” névre hallgató abszorpciós megoldás, amely nem jelent mást, minthogy függőleges csíkokban ragasztóanyaggal bekenik a falat, és ráhelyezik az akusztikai energiát elnyelő anyagot. Fontos része a konstrukciónak, hogy a ragasztócsíkok között „levegőcsíkok” maradjanak.

E helyett én a „No5” abszorpciót javasolnám arra a kritikus sávra, ahol a slap-echo-t hallottam, vagy még inkább a kifejezetten erre a visszhangot okozó hangsávra hangolt Helmholtz-rezonátor-lapot. Utóbbi elkészítése költségesebb és hosszadalmasabb viszont precízebb, előbbi olcsóbb és gyorsabb megoldás. A „No5” egy szendvicsszerű ragasztási technológia. A szilárd réteg, és a ráhelyezendő csillapítóanyag között ebben a megoldásban

fadeszka helyezendő el csíkokban; míg a fadeszka-csíkok között például üvegyapot (vagy esetleg csak levegő) helyezhető el.

A cél mindkét megoldásnál azonos: a relative nagy energiával érkező, elnyeletni kívánt spektrumú hanghullámok maradjanak az elnyelő anyagban, és ne jöjjenek ki a mögötte lévő szilárd felületről visszaverődve. Fontos különbség a két megoldás között, hogy a Helmholtz-rezonátor-lapok csak a jelenséget okozó frekvenciasáv energiáját nyelnék el, a No5 csillapítás-technológia viszont az adott térben előforduló minden frekvenciakomponens energiáját csillapítaná.

### Túl hangosak-e a mozik? [20]

A mozihang-szabványok és technológiák fejlődésével egyre csak nőtt a megjeleníthető dinamikartomány, és nőtt a mozifilmek átlagos hangossága is. Manapság már sokszor lehet olyan megállapításokat hallani a mozikból kifele jövet (kiváltképp hölgyektől), hogy „jó film volt, de rettenetesen hangos”. Mennyire van igazuk?

Subjektíve valószínűleg teljesen, hiszen a komfortérzet a cél, azaz hogy minden effekt érvényesüljön, miközben a néző kényelmesen szórakozik. Ha azonban valaki arra kénytelen koncentrálni, hogy „ez nagyon hangos”, annál sajnós felborult a kényelem érzete. Objektív szemmel tekintve mi a helyzet? Ki mondja meg, és milyen mérések és fizikai/anatómiai tulajdonságok alapján, hogy mit jelent a „túl hangos”?

Az ehhez a témához tartozó forrásdokumentumom [20./”Are movies too loud?”] hosszasan taglal érveket, és ellenérveket a kérdéssel kapcsolatban. Én csak a végső konklúziót szeretném mindenképpen megosztani olvasómmal, miszerint kutatások bizonyítják, hogy létezik egy relative egyszerű, empirikus úton kibogarászott törvény a hangosság és a halláskárosodás között, amelynek lényege az alábbi: három decibellel hangosabb hangfrekvenciás jelet a fül csak fele annyi ideig tud károsodás nélkül elviselni. Az ehhez tartozó tapasztalati táblázatot lásd alább:

Hangosság	90 dB	93 dB	96 dB	99 dB	102 dB	105 dB
Elviselhetőség	4 óra	2 óra	1 óra	30 perc	15 perc	7,5 perc

*Forrás: Moore (1989). An Introduction to the Psychology of Hearing. Academic Press Inc., a Dolby Internetes honlapján elérhető „Are movies too louds?”-ból*

#### 1. táblázat – Hangosság versus elviselhetőség

Végső megállapításként a forrásdokumentum kimondja, hogy a fenti táblázatban a megfelelő értékekre szerencsére vigyáznak a hangmérnökök, miközben bekeverik a filmszalagra szánt sokcsatornás hanganyagot. Számukra a cél-limit a táblázat értékei, mint átlagértékek a megadott időintervallumokra. Ők maguk azonban nem a már helyreállított anyagot hallgatják, így halláskárosodásuk elkerülhetetlen.

Kiderül továbbá az is, hogy a moziban a nézők fülére két típusú műsor nem vigyáz mindenkor biztosan: a reklámok, és a trailerek...

## **2, Digitális mozi**

Az előző fejezetben ismertettem a klasszikus mozi jelenét, és technikai részleteit. A legtöbb film manapság még mindig celluloid szalagra készül, és többnyire azon is kerül a moziba, jóllehet a filmet lejátszó mechanizmus már digitálisan vezérelt, sőt, mint láttuk,

szabályozott. A digitális jelfeldolgozás területe azonban mind jobb eredményekkel hozakodott elő, mára lehetővé téve a **teljesen, minden elemében digitális mozi** megvalósítását.

**1999. június 1.** – az első digitális, így teljesen mechanika-mentes mozirendszer kereskedelmi forgalomba hozatalának napja. Ez a nap a Starwars rajongóknak is jeles dátum: ezen a napon kezdték el vetíteni az USA-ban 6 darab teljesen digitálissá átalakított moziban a Csillagok háborúja – Baljós árnyak (Starwars – The phantom menace) című részét. Valójában ez volt az első film, amely a nagyvilágot megdöbbenve teljes mértékben digitális módszerekkel készült el, azaz forgatása közben egyetlen centiméternyi celluloidot sem használtak fel. Ha belegondolunk, ez nagyon nagy szó; lehet akár a mozizás egy új korszakának kezdete is (feltéve, hogy elterjed).

A digitális technológia új fogalmak megismerésére készíti a mérnököket, melyek közül a legfontosabbak a következők:

- **DLP, Digital Light Processor.** A Texas Instruments (a világ legnagyobb félvezetőgyártója) által fejlesztett digitális projektoregységek jelfeldolgozó processzorának neve. EZ az, amire már az Igazi mozi című fejezetben hivatkoztam (9. oldal), hogy a Lurdy-ház Cinemeccanica Victoria 5 típusú optikaegysége lecsatolható, és helyére digitális kivetítő (DLP-s moziprojektor) szerelhető. Az 17.-18.-19. ábrákon az Infocomm 2001-es szemináriumának vetítőfóliáiból származó képek láthatók, melyek az új DLP technológiát mutatják be. [26]



17. ábra - Mechanikus és digitális fejegységek Kintonon mozigépen



18. ábra – Egy DLP projektor képe, és néhány adata



19. ábra – A DLP eszköz maga

Hozzátenném még, hogy a moziprojektorok is „csak” akkora felbontásra képesek egyelőre, mint a „házi” változataik, nevezetesen 1280\*1024 pixel, színkezelésük viszont szinte hihetetlen: a gyártó szerint 35 billió színárnyalatot képes megkülönböztetni! Ez döbbenetes, 45 bites színmélységnek felel meg a feldolgozás szempontjából. Adódik a kérdés az emberben, hogy nem kevés-e az 1280\*1024 pixeles felbontás, hiszen ennyit a számítógépmonitor is tud, akár egy szokványos 15” képátlójú képcsőre. A válasz természetesen: nem. Igaz ugyan, hogy egy 160m<sup>2</sup>-es mozivásznonra vonatkoztatva egy pixel így 1,3 cm átmérőjű korongnak felel meg, de egyrészt lényegesen távolabbról is nézi a közönség a vásznat, mint egy monitort szokás, másrészt pedig bizonyított tény, hogy minél nagyobb a színmélység, annál kevésbé érzékeny a szem a kép felbontására. A színmélység tekintetében pedig összehasonlíthatatlan a különbség a legfeljebb 32 bites GPU (**G**raphics **P**rocessing **U**nit, a manapság elterjedt videokártyák DSP processzorának rövidítése), és a 45 bites DLP között.

- A következő fogalom a **multimédia szerver**. Ez egy nagyteljesítményű számítógépet takar (véletlenül sem azonos az asztali PC-vel!), amely kifejezetten erre a célra készült, nevezetesen hogy a digitális formátumban, többnyire DVD-R-eken beszállított filmeket egy közös háttértárolóban eltárolja, majd lejátszáskor megfelelően kikódolva visszaadja. A Jurassic Park III - természetesen a sokcsatornás DTS hangot is beleértve - tizenhárom darab DVD-n érkezett a digitális mozikba...

Érdeemes megfigyelni, hogy a digitális kép és a szintén digitális hang ebben a megoldásban teljesen különválnak. Fenti példánál maradva a Jurassic Park III 13 db DVD-jéből legalább egy minden bizonnyal csak a DTS hangot tartalmazta – tudván, hogy a DTS időkódos szinkronizálást alkalmaz, mely minden esetben fizikailag is különválnak a képanyagtól. Persze nem a DTS az egyetlen megoldás a fennálló helyzetre, tény azonban, hogy az ő technológiájuk kompatibilis azonnal a mind újabb technikai fejlesztésekkel.

A tökéletesedő kép mellé nyilvánvalóan tökéletes hang dukál, amiért a már ismerősen csengő három cég felel. Mivel eddig a hang vitte a pálmát fejlettségben, különösebb dolguk nincs a hármaknak, mint jelen lenni és harcolni a szabványosítási vitákon. Örömteli számomra, hogy eddig a DTS mutatta a legtöbb érdeklődést a digitális mozi iránt. A cég bekapcsolódott a fejlesztésbe, és már 2001-ben bemutatott egy saját technológiáján alapuló analóg ÉS digitális jeleket is kezelni tudó audioprocesszort, valamint egy közvetlenül a vászonra vetítő (külön projektorral vetítő) képfeliratozó rendszert.

A digitális mozi a tengerentúlon állítólag virágzó szakág – az első tapasztalatok azt mutatják, hogy az emberek (Amerikában) hajlandók több érdeklődést és több pénzt is áldozni az új, minden eddigénél precízebb élményt nyújtó mozikra. Nincs többé filmszakadás és káromkodó mozigépész, nincs többé „cigilyenyomat\*” a vastkos filmtekercsek elején és végén, nincs többé celluloidkopás, csak tökéletes, és mindenféle további feldolgozással (pl. DVD-n való kiadás) egyszerűen kompatibilis kép és hang...

### **3, Digitális házimoz**

Nézzük, mi újság odahaza – hogyan létezhet otthonunkban is teljesen digitális mozi? Nincs más dolgunk, mint beszerezni egy projektort, egy számítógépet, egy DVD-olvasót, és egy minden vonatkozó szabványt támogató, tökéletes hangreprodukcióval rendelkező digitális hangrendszert. Akkor hol is tartunk eddig árban?...

A helyzet persze ennyire azért nem súlyos. Sőt, kijelenthető, hogy manapság majdnemhogy pofonegyszerű kis otthonunkba hozni a digitális mozizás élményét. A hozzávalók a következők:

- Egy multimédiás képességekkel rendelkező számítógép. (Minimális konfiguráció: Intel Pentium-II 400 MHz processzor, 64MB memória, 16 bites PCI-os hangkártya, kompozit jelkimenettel is rendelkező legalább DirectX 7 kompatibilis videokártya, CD-ROM vagy DVD-ROM meghajtó)

- „Asztali” DVD lejátszó, vagy a számítógépbe épített DVD-ROM
- (sztereo) Televízió – SCART, vagy kompozit AV bemenettel
- Esetleg egy ízlés szerinti minőségű / tudású / típusú HiFi berendezés.

Ez az összeállítás árban töredéke a fenti „hivatalos” házimoziz-szetteknek, élményben azonban képes kiválóan megközelíteni azt. Ha még figyelembe vesszük azt is, hogy a magyar háztartások gyakorlatilag mindegyikében van valamilyen televízió, van valamilyen zeneberendezés, és körülbelül a lakosság harmada már számítógéppel is rendelkezik, a kívánt minőségű házimoziz némi ráfordítással igény szerint kialakítható.

Dolgozatom célja éppen ez: otthoni házimoziz-rendszert kialakítani, az adott feltételek mellett, a tőlem telhető legjobb kiépítésben. Az ehhez szükséges eszközök túlnyomó része már rendelkezésemre áll, a hangrendszert pedig magam tervezem.

#### **A rendelkezésemre álló eszközök**

Az otthoni számítógépem folyamatosan házimoziz-irányú fejlesztések alatt állt, egészen 1998 óta. A jelenlegi konfiguráció lényegi elemeit tekintve az alábbi: Chaintech 7VJDA alaplap, AMD Athlon XP 1700+ processzor, 384 MB DDR RAM, SoundBlaster Live! 1024 hangkártya, Inno3D GeForce2 MX400 kompozit videojel-kimenetes videokártya, LG DVD meghajtó, Windows XP Professional magyar nyelvű operációs rendszer. Az összeállítás magasan teljesíti a médialejátszáshoz szükséges követelményeket.

A számítógépre érkező digitális médiumok CD, és DVD lesznek, a rajtuk található műsorok típusai kódolásuk szerint lehetnek:

Video: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 (Xvid, DivX, stb).

---

\* „cigilyenyomat” – Ez a szakzsargon azokból az időkben származik, amikor még számos különálló celluloidtekercsen kerültek a filmek levetítésre. A vászon jobb felső sarkában felvillanó kör vagy ovális alakú, jól észrevehető méretű fekete pont a mozigépészt figyelmeztette arra, ha egy tekercs lejárt: a „cigilyenyomat” felvillanása pillanatában kellett indítania a másik filmtekercset annak érdekében, hogy a lejátszás folyamatos maradjon.

Hang: MP3, AC3, WAV, (CD-Audio, ill. 16 v. 24 bit mélységű Linear PCM).

Ezek lejátszásához többnyire kodek (**kóder/dekóder** szoftver) telepítése volt szükséges. Érdemes megjegyezni, hogy az így kialakítható rendszer rendkívül rugalmas, hiszen kodek telepítésével bármilyen műsorforrást képes lesz megjeleníteni. Ez nagy előny az asztali DVD-lejátszós megoldáshoz képest, azokba ugyanis bele van égetve néhány kodek, azaz általában nem bővíthető, avagy többnyire csak hardvercserével (bővítőmodul, vagy új lejátszó vásárlása).

A televízió esetében egy 72 cm képátlójú, sztereo, 2 SCART, és 1 kompozit AV bemenettel rendelkező JVC televízió. Ez hivatott tehát kiváltani az egyelőre nagyon drága projektor feladatát. A következő táblázat összesíti a két kijelző alkalmazása közötti lényegi különbségeket:

	JVC AV-28BD5	EPSON EMP-TW100 (2002/2003 EISA díjas terméke)
Effetív képátló	72 cm	kb 170 cm
Képpontok száma	625 sor/25Hz (720x576)*	1280 x 720
Színmélység	max 32 bit, a számítógép videokártyájától függően (4.3 mrd)	24 bit (16.7 millió)
Zajszint	Gyakorlatilag nulla	alacsony (aktív hűtés)
MTFF	kb 30.000 üzemóra	kb 3000 üzemóra (az UHP lámpára)
Kijelző	CRT	3x TFT LCD
Ár:	79.990 Ft	1.625.000 Ft

Források: [13. melléklete], és a televízió adatlapja. Az árak 2003. év eleji adatok

\* A felbontás fogalma televíziónél nehezen meghatározható. A zárójelben a legjobb átvitelhez tartozó, megjeleníthető képmínőség elvi adatai található(k)

## 2. táblázat – Házimozi-alkalmas kijelzők összehasonlító táblázata

Ha tehát az ár/teljesítmény viszonyt nézzük, kijelenthető, hogy a 72cm-es síkképcsöves televízió sokkal reálisabb eredményt ér el. Említést érdemel még a fenti táblázaton kívül a számítógépben lévő videokártya, nevezetesen annak kompozit kimenete. Ezen a kimeneten ez a videokártya „csak” 800\*600-as felbontásban, 32 bites színmélységgel tudja szolgáltatni a képet; amely felbontást a televízió a legjobb esetben is csak közelíteni tud. VGA kimenetén viszont összeköthető tetszőleges projektorral, ahol a maximális felbontás 1280x1024, azaz ez a videokártya nem lesz elrontója semmilyen élménynek.

Hasonlóan a képpel kapcsolatban elhangzottakkal, a hang is két eszköztől függ: egyik a számítógépben található hangkártya, a másik pedig az erősítő- és hangfalrendszer. Értelemszerűen a lánc itt is éppen olyan gyenge lesz, amilyen a leggyengébb tagja, ezért fontos, hogy jó minőségű hangkártya szolgáltatassa a hangot megfelelő kábelezéssel egy jó minőségű házimozi-erősítőnek, majd a lánc végét egy, a szobához megfelelően illesztett hangfal-szett zárja le. A lánc első tagjaként nézzük a hangkártyát!

### Hangkártyák

Amint az a számítástechnikából ismeretes tény, minden eszköz elavul, legkésőbb 2 év múlva. A helyét rend szerint olyan termék veszi át, amely az adott hangkártya megvásárlásakor már létezett, kapható volt, de akkor még csak nagyon borsos áron. A két év



elteltével azonban mintha az árlista azonos maradt volna, a régi hangkártya eltűnik, a nagyon drága kártya pedig lekerül a megfizethetők kategóriájába; ezzel egyidőben pedig az árlista csúcán újabb és sokkal nagyobb tudású termékek jelennek meg.

Nem untatom olvasómat, és nem is lenne értelme e dolgozat keretein belül bemutatni az elmúlt két év „híres” hangkártyáit, mégis úgy érzem, három kártya mindenképpen említést érdemel. Hangsúlyozom, véletlenül sem történelmi áttekintés célzattal!

Időrendileg az első kártya a Diamond Multimedia MonsterSound MX300-as. Fénykorában (2001) 25.000 Ft körüli áron volt beszerezhető. Azért került ebbe a dolgozatba, mert támogatja a HRTF-et (hamarosan lesz róla szó), és kimagasló technikai minőségi jellemzőkkel büszkélkedhet.

A második kártya a Creative Labs Sound Blaster LIVE! Value 1024. Nem hinném, hogy ebben a szakmában volna olyan, aki számára ismeretlenül csengene a neve. Technikailag kimagasló minőségű kártya, nagy hátránya azonban szememben, hogy nem támogatja a HRTF-et; a térbeli pozicionálás fogalmát a cég saját, hosszútávon fejleszthetetlennek bizonyult DS3D és EAX szabványain keresztül valósítja meg. Bemutatásának elsődleges oka az, hogy a számítógépemben – amelyből leendő erősítőm számára a hanganyag kikerül – ez a kártya foglal helyet.

A harmadik, és egyben jelenleg legújabb, a hazai kiskereskedelemben beszerezhető kártya a Creative Labs Sound Blaster Audigy2 ZS Platinum. Bemutatásának oka kizárólag a mai modern technika láttatása.

Részletes adat- és leírasháború helyett összehasonlító táblázatban közlöm a három kártya legfontosabb adatait, illetve a függelék 2-es számú mellékletében az összehasonlító mérési eredményeket:

	<i><b>ZS Platinum</b></i>	<i><b>Live! 1024</b></i>	<i><b>MonsterSound MX300</b></i>
<i><b>DSP</b></i>	EMU10K2	EMU10K1	Aureal Vortex 2
<i><b>3D Polifónia</b></i>	1024 db, ebből 64db hardveres, 8 pontos interpolációval	1024 db, ebből 64db hardveres, 8 pontos interpolációval	92 db DirectSound, 76db A3D 2.0 hardveres kezelése, ebből max 16 db hangforrás, és 60 reflexió.
<i><b>MIDI polifónia</b></i>	64db hardveres	48db hardveres	48db hardveres
<i><b>Csatornák száma</b></i>	2 – 7.1	2 – 5.1	2 – 4
<i><b>Dolby Digital komp.</b></i>	Igen	Igen, bővítővel	MX-50 bővítőkérdőívával
<i><b>DSP tulajdonságok</b></i>	- max 24 bites mintákat kezel - Fs= 8 kHz ... 192 kHz	- 4...16 bites mintákat 32 bites feldolgozással számít - Fs=5kHz...48kHz	- max 20 bites hangmintákat kezel - Fs=max. 48kHz
<i><b>S/PDIF</b></i>	Igen	Igen	MX-25 bővítőkérdőívával
<i><b>Támogatott szabványok</b></i>	MIDI, MPC-3, Plug&Play, EAX, DS3D, DirectSound, PCI2.1, AC'97, Dolby Digital EX, Firewire, DVD-Audio, THX, DTS-ES-Neo6, ASIO, CMSS, WMA9, MLP	MIDI, MPC-3, Plug&Play, EAX, DS3D, DirectSound, PCI2.1, AC'97, Dolby Digital	MIDI, Plug&Play, DS3D, DirectSound, PCI2.1, AC'97, A3D 2.0, illetve bővítőkérdőívával: Dolby Digital
<i><b>SNR (dbAI)</b></i>	108dB mind a 6 csatornán	100dB minden csatornán	97dB
<i><b>THD@1kHz (AI)</b></i>	0,004%	0,002%	0,005%
<i><b>Átvitel</b></i>	10 Hz ... 46 kHz (-3dB)	10 Hz ... 44kHz (-1dB)	10 Hz ... 22 kHz (-1dB)
<i><b>Processzor teljesítmény</b></i>	N.A.	1000 MFLOPS	600 MIPS
<i><b>Bruttó ár (2004.03)</b></i>	34.440 Ft	7.100 Ft	Már nem beszerezhető

Források: [http://www.soundblaster.com/products/Audigy2ZS\\_platinum\\_pro/specs.asp](http://www.soundblaster.com/products/Audigy2ZS_platinum_pro/specs.asp); <http://www.soundblaster.com/products/sblive/specs.asp>; Kovács Tibor Ferenc – A hangkártya – Panem, 2001

### 3. táblázat – Három hangkártya összehasonlító táblázata

A három kártyával kapcsolatos technikai részletek a függelék 2. mellékletében találhatóak.

A táblázatban szereplő szabványok és betűszavak kifejtése:

- **Plug and Play** – „Csatlakoztasd és játssz”. Ez a megjelölés azt takarja, hogy a frissen vásárolt hangkártyánkat az otthoni (Windows platformmal rendelkező) számítógép biztosan fel fogja ismerni, sőt, általában azonnal meg is tudja szólaltatni.
- **DirectX** – ez egy programfejlesztői környezet, amelyben különböző professzionális szintű képi és hanghatásokat lehet elhelyezni a szoftverekben (például játékokban), akár interaktívvá is téve a grafikát, és a hangot. (Utóbbira még visszatérek.) A DirectX felfogható úgy is, mint utasítás-bővítmény-csomag a Windowshoz. Hasonlatos a C-programnyelv-beli **.h** kiterjesztésű modulokhoz, amelyek azáltal, hogy új parancsokat értelmeznek a gép számára, kibővítik a programfejlesztő számára kínálkozó lehetőségek tárházát.
- **CMSS** – sajnos nem tudom, hogy pontosan mit rövidít, de egy a DTS-Neo:6-hoz hasonló, upmixinget létrehozó szoftverbővítmény. Segítségével 2.0-ás hangot akár 6.1csatornássá is kiterjeszthetünk.

Külön csoportba rendezném a 3D effekteket. Ebből kétféle változat létezik:

- ❖ Az első megjelölése általában az alábbiak közül valamelyik: **3D-sound**, **V-sound**, **Q-sound**. Nekik sajnos a térhatású hangokhoz csak a marketing önző szempontjából van közük – eladják a cégek a sztereót ezekkel a megjelölésekkel, azt sugallva, hogy ez valami surround-féle bővítmény. Pedig nem: valójában csak a sztereó hangteret módosítják, manipulálják, oly módon, hogy a fül számára érdekesebb (még azt sem mondom, hogy jobb) legyen. Ez a dili már szerencsére lefutott; ma már senki nem figyel oda ilyesmire, amikor hangkártyát megy venni; helyébe azonban újabb marketing-trükkök kerültek...
- ❖ A második kategóriába tartoznak azok a szabványok, amelyek segítségével a hangkártyák akár **interaktív** hangteret is képesek teremteni. Hangtér attól lesz interaktív, hogy az események térbeli változásával összhangban változik a hangzás is. Ha például egy autószimulátor programban behajtunk egy alagútba, az életszerűen fog visszhangzani, virtuálisan mögöttünk haladó játékosársaink dudálása pedig hozzánk képest a megfelelő irányból, megfelelő távolságból fog szólni. Ezt megvalósítani bonyolult feladat, és többféle megoldás is létezik rá. Lássuk a fontosabbakat:
  - **DS3D**, vagy **DirectSound3D** – A DirectX csomag kiegészítő bővítménye. Pozicionálása csak az intenzitációs elvet tudja követni; időkülönbségen alapuló modelljeit (chorus, reverb, echo) nem. A Creative Labs ún. „Property Set”-eket (=tulajdonság-csomagokat) írt hozzá, amellyel a DS3D már valamilyen szinten képessé válhat ismerni az időkülönbség fogalmát is.
  - Az összes Property Set összefoglaló neve **EAX**. (**E**nvironmental **A**udio **e**Xtension) Tevékenységét főképpen a reverbek (utóhangok) számítása jelenti. Beépített modelljei (tipikus környezetei) vannak, és azok tulajdonságaival (properties) fel tudja ruházni az aktuális modellezendő teret. A reverb paramétereit a programozótól kéri, amelyek az alábbiak: loudness (hangosság), decay (elhalás, lecsengés hossza), damping (a modellezendő tér falainak hangelnyelő képessége), és environment (a modellezendő tér környezeti paramétereit, mint hossz, szélesség, stb.).
  - Továbbá létezik még a teljesen profi megoldás is, amely **A3D** megjelöléssel fut. (**A**ureal **3D**) Ezt az Aureal Semiconductors, és a NASA együtt fejlesztették. DS3D kompatibilis (muszáj is annak lennie), de az időkülönbségeket, ÉS az intenzitást is HRTF függvényekből számítja, FFT algoritmusokkal\*. Az A3D

\* HRTF: Head Related Transfer Functions – lásd részletesen a II. fejezetben.

FFT: Fast Fourier Transform – közelítő matematikai algoritmus a végtelen integrálást alkalmazó Fourier-transzformációra

tehát egy különálló, nem is kicsi DSP. Sikerét mutatja, hogy az A3D szabvány manapság már a 3.0-ás változatát éli, míg a DS3D fejlesztése abbamaradt.

Mint ahogy mindebből kivehető, az akusztikai térélmény a PC számára sokkal nagyobb kihívás, mint a moziban és a házimoziban. A különbség pedig éppen az imént taglalt interaktív térhangzás. A mozik is tartanak ugyan DSP-t, de feladatuk a dekódolásban, a frekvencia- és fázisfenet korrekcióban, valamint késleltetésekben általában ki is merül. Ami mindent tud, az viszont a HRTF-es hangkártya. Érdekes tény, hogy a fent ismertetett Creative-hangkártyák nem támogatják, sőt: egyik Creative-gyártmányú hangkártya sem támogatja a HRTF-technológiát. Friss hír azonban, hogy a cég ráébredt, hogy saját kreációjuk, a DS3D és az EAX nem fejleszthető tovább a fogyasztók által megkívánt irányban, ezért nemrégiben megvették a Yamaha cég Sensaura3D-modelljét (2003.12.08, [www.soundblaster.com](http://www.soundblaster.com))

Mért fejtetem ki mindezt?... Fentiek átgondolásából az alábbiak következnek: Az általam összeállított házimoziz-hangrendszer a számítógéppel összekötve sokoldalúbb, mint amilyennek indult. Hasznossága nem merül ki a házimoziz-élmény tetszőleges minőségű megteremtésében, hanem a hangrendszer interaktív hanggal ellátott számítógépes játékok hangját is tudná közvetíteni. A tervezés szempontjából ez számomra nem jelent új feladatot, de még csak új szempontokat sem, hiszen ha a DVD Dolby Digital 5.1, vagy Dolby Surround hangját képes lesz a hangrendszer visszaadni, automatikusan alkalmassá válik az 5.1-es, és Surround-kódolt játékok hangját is azonos minőségben megjeleníteni. Megjegyzem azonban, hogy az elsődleges cél továbbra is a házi mozi-rendszer megteremtése; filmek hangja, és sztereo zenei műsorok lejátszása, erősítése.

### AC3 Filter

A hangkártyákon kívül egy szoftverre is feltétlenül ki szeretnék térni. Mégpedig az **AC3 filter** nevű kodekre. Ez Alexander Vigovsky munkája, szabadon terjeszthető, és hozzá értő programozók számára szabadon fejleszthető is (azaz forráskódja is elérhető). C-nyelven íródott, és rendkívül hasznos és szemléletes program – ezért is szeretném bemutatni. (A következőkben „látványosan” is érthető lesz az eddig oly sokat emlegetett mártixolt surround hang vázlatos elve.)

A program kicsi, ingyenes, és sokat tud. Valójában egy fél real-time moziprocesszor (!), egy szoftveres DSP. Lássuk részletesen, miket tud!

A következő hangformátumokat tudja kialakítani DirectSound, vagy WaveOut kimeneti porton, ha bemenetként arra alkalmas, downmixelhető AC3 kódban érkező hangot kap:

- 1.0 (mono), és 1.1 (mono + subwoofer)
- 2.0 (sztereo), és 2.1 (sztereo + subwoofer)
- 3.0 (sztereo + center csatorna)
- 2+1 (sztereo + mono surround csatorna)
- 3+1 (sztereo + center + mono surround csatorna)
- 2+2 (kvadró, azaz sztereo front + sztereo surround)
- 3+2 (5 független csatorna)
- 3.1 (sztereo + mono surround csatorna + subwoofer)
- 3.1 (sztereo + center csatorna)
- 4.1 (sztereo + center + mono surround csatorna + subwoofer)
- 4.1 (kvadró + subwoofer)

- 5.1 (5 független csatorna + subwoofer)
- Dolby Surround / ProLogic
- Dolby ProLogic II
- , illetve a kizárólag S/PDIF kimenet üzemmód

Ez már önmagában sem semmi, ám még korántsem minden! Hogy mire jó ennyiféle lejátszási mód? Mondhatnánk egyszerűen, hogy a kompatibilitás miatt. Ugyanakkor a kodekben benne rejlik a lehetőség, hogy akinek például 5.1-es hangrendszere van, kipróbálhassa, mit vesztené el a hangzás, ha mondjuk csak 2+1 módban hallgatná a DVD-jét.

Technológiai oldalról közelítve a kodek a mátrixos technológiát alkalmazza. A Dolby Laboratories sokáig alkalmazta kizárólag ezt az elvet, kisebb-nagyobb nehézségekkel, és mind precízebb megvalósítással. A Dolby Stereo mozihang otthoni változata lett a Dolby Surround, melyet először csak passzív, majd aktív mátrixszal vértettek fel a mind tökéletesebb surround-információk kinyerése érdekében. Maga az elv valójában azt takarja, hogy a bemenetek mátrixát megszorozva egy konstansokból álló mátrixszal, megkapjuk a kimenetek mátrixát.

Precízebben fogalmazva: Jelölje a bemenetre érkező, legfeljebb 5.1 csatornás AC3 hang csatornáinak vektorát  $\underline{G}=[L, C, R, SL, SR, LFE]$ . Továbbá jelölje a DirectSound vagy WaveOut kimenet csatornáinak vektorát  $\underline{V}=[L', C', R', SL', SR', SW']$ . Ha  $\underline{V}$ -t oszlopmátrixnak, és  $\underline{G}$ -t sormátrixnak tekintjük, a köztük lévő mátrixkapcsolatot írja le a  $\underline{V}=\underline{H}*\underline{G}$  képlet, ahol  $\underline{H}$  következésképpen egy 5\*5-ös mátrix. (A jelölésekkor használt betűk feloldása: Válasz=Hálózatfüggvény\*Gerjesztés) Itt a hálózatfüggvényt MIMO (Multi In, Multi Out) rendszerre írtuk fel, mátrixos alakban.  $\underline{H}$  mátrix egy eleme azt jelenti a rendszerben, hogy az oszlopához tartozó gerjesztés-jelet a vonatkozó elemének értékével (valós konstans) megszorozva, a választ a sorában található kimenetre adja ki.

Következésképpen a mátrix elemei erősítés-értékek! A nulla-erősítés teljes elnyomást; a pozitív erősítés hangerő-növekedést, a negatív érték kikeverést (180 fokos eltolással való, megfelelő arányú hozzákeverést) jelent. A passzív mátrixos dekóder tehát lényegében nem lesz más, mint egy súlyozott szorzóáramkörökkel megvalósított származtató.

A program automatikus számításokra is képes, azaz léteznek opciók, amiket bekapcsolva a program kimenetén megjelenő végeredmény realiztikusabb, szabványokhoz közelebb, stb. lesz. A mátrixszal kapcsolatos kiegészítő funkciók az alábbiak:

- **Automatikusan állított** (ajánlott érték), vagy **manuálisan állítható** a bejövő center- (dialóg-), és a surround- (effekt-) csatornák relatív hangereje, decibelben, pluszmínusz 20dB-s határok között. Az ajánlott érték mindkettőre -3dB.
- Ugyanez vonatkozik az LFE csatornára is. Ajánlott érték: 0dB relatív.
- **AGC (Auto Gain Control)** - a teljes hangzásra vonatkoztatva. Létezik „One pass normalize” funkciója is, ami hosszabb időtartamokra átlagol egy automatikusan alkalmazott AGC-szintet.
- „**Auto matrix**” üzemmódban a beépített (fent említett üzemmódok szerinti) elvek érvényesülnek mátrix formájában. De létezik manuális üzemmód is, ahol a felhasználó saját maga (!) határozhatja meg a H mátrix minden egyes cellaelemét.
- „**Normalize matrix**” – gondoskodik arról, hogy ha bekapcsoljuk ezt a funkciót, akkor minden kimeneti csatornából azonos hangteljesítményt kapjunk. (Matematikai megfogalmazásban: a mátrix minden sorának összege 1.) Ez hasznos dolog tud lenni a kisebb szobákhoz. Mozikban, és zenei anyagokhoz viszont egyértelműen NEM. És itt utalnék a DVD-vel kapcsolatos fejezetre, ahol írtam, hogy ez a funkció a DVD gyártás MPEG enkóderén is megvan, mint nyomógomb...

- „**Bass redirection**” – Ismeri az asztali DVD-k azon funkcióját, hogy ha nem rendelkezik a felhasználó subwooferrel, akkor ezt a funkciót kiválasztva a mélyhangok az arra alkalmas meglévő hangfalra irányíthatók (pl a front csatornákra)

#### Mátrix-alkalmazás példák

Hadd szemléltessem mindezt egy-két egyszerű példán keresztül! Feladatként derítsük ki mondjuk a Dolby Surround pontos matematikai alapjait!

(Emlékeztetőül: sor: gerjesztés (bemenet); oszlop: válasz (kimenet))

	L	C	R	SL	SR	SW
L'	1	1	0	-1	-1	1
C'	0	0	0	0	0	0
R'	0	1	1	1	1	1
SL'	0	0	0	0	0	0
SR'	0	0	0	0	0	0
LFE'	0	0	0	0	0	0

4. táblázat – Dolby Surround, kiemelések nélkül, normalizálás nélkül

Az ábráról leolvasható, hogy két bemeneti jel van jelen, és összesen 6 kimeneti jelet kapunk. A fenti táblázat az alábbiakat valósítja meg (oszlopokat figyelve):

- ❖ A kimeneti bal csatorna legyen azonos a bemeneti bal csatornával
  - ❖ A kimeneti center csatorna legyen azonos a bemeneti jobb és bal csatornák összegével
  - ❖ A kimeneti jobb csatorna legyen azonos a bemeneti jobb csatornával
  - ❖ A kimeneti bal hátsó csatorna tartalmazza a jobb és a bal bemeneti csatornák között éppen 180 fokos eltéréssel jelen lévő információkat
  - ❖ A kimeneti jobb hátsó csatorna szintűgy, mint előző esetben (mono surround)
  - ❖ A subwoofer pedig a centerhez hasonlóan kapja meg mindkét bemeneti csatorna jelét.
- (Megjegyzés: A Surround-elv szerint megkívánt LPF szűrésről a mátrix nem tartalmaz információt)

	L	C	R	SL	SR	SW
L'	0,2	0,2	0	-0,2	-0,2	0,2
C'	0	0	0	0	0	0
R'	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
SL'	0	0	0	0	0	0
SR'	0	0	0	0	0	0
LFE'	0	0	0	0	0	0

5. táblázat – Dolby Surround, kiemelések nélkül, normalizálással

Ugyan az, mint fenti esetben, de ügyelve arra, hogy a bemeneti csatornák jele azonos mértékben vegyen részt a kimeneti csatornák kialakításában. (Azaz matematikailag megfogalmazva: minden sor összege 1)

	L	C	R	SL	SR	SW
L'	1	0,7071	0	-0,7071	-0,7071	1
C'	0	0	0	0	0	0

R'	0	0,7071	1	0,7071	0,7071	1
SL'	0	0	0	0	0	0
SR'	0	0	0	0	0	0
LFE'	0	0	0	0	0	0

6. táblázat – Dolby Surround – center és surround csatornák jelei 3dB-vel elnyomva, normalizálatlanul

Előző eset finomítása. Nem az a megfelelő eset, ha minden bemeneti csatorna jele azonos mértékben vesz részt a kimeneti csatornák kialakításában, hiszen a surround csatornából kettő van, ezért a második megoldás (5. táblázat) szerint dupla hangerővel szólna. Hasonló okokból az 5. táblázatot követve a center szintén 3dB-lel hangosabb volna, mint a frontok.

	L	C	R	SL	SR	SW
L'	0,2426	0,1716	0	-0,1716	-0,1716	0,2426
C'	0	0	0	0	0	0
R'	0	0,1716	0,2426	0,1716	0,1716	0,2426
SL'	0	0	0	0	0	0
SR'	0	0	0	0	0	0
LFE'	0	0	0	0	0	0

7. táblázat – Dolby Surround – center és surround 3dB-vel elnyomva, normalizálással (azaz íme a Dolby Surround házimozira optimalizált elméleti mártixa!)

A 2. és 3. megoldás (5. és 6. táblázatok) közti optimális megoldás. Ezúttal a center és a surround 3dB-lel elnyomva, a sorok összege pedig 1.

Befejezésként íme a mátrix, amennyiben Dolby Digital 5.1-es műsor érkezik a bemenetére:

	L	C	R	SL	SR	SW
L'	1	0	0	0	0	0
C'	0	1	0	0	0	0
R'	0	0	1	0	0	0
SL'	0	0	0	1	0	0
SR'	0	0	0	0	1	0
LFE'	0	0	0	0	0	1

8. táblázat – Ha 5.1 csatornás AC3 hangot kell 5.1 csatornán megjeleníteni, akkor a mátrixnak tulajdonképpen nincs is dolga.

Mindezeket felül egyéb okos megoldások is találhatóak a programban. Tudja például képlettel a bemenő jeleket a kimenetéhez képest. A bemenő jel kimeneten való megjelenését meg lehet adni millisekundumban, méterben, centiméterben, lábban, és hüvelykben is. Mire jó ez? Virtuálisan kinyújtani a szobánkat! Ezzel a megoldással fülünk kis mértékben átverhető, ami a hangszóró fültől vett távolságát illeti.

Fontos megjegyezni, hogy a hangszóró fizikai távolságának növelése a fültől elvileg kis mértékű frekvenciaváltozással és fázistorzulással is járna. Ezeket sajnos nem, de az időképlettel modellezi a program.

Tartalmaz még a program egy kilenc sávós equalisert (hangfrekvenciás kiegyenlítő), amellyel a teljes hangrendszer amplitúdóspektrum-hibáit ki lehet korrigálni. (Annak előzetes precíz bemérése esetén.) A rezonanciafrekvenciák: 93Hz, 180 Hz, 375 Hz, 750 Hz, 1500 Hz, 3kHz, 6kHz, 12kHz, 24kHz.

Minden saját beállítás sablonokba (presetekbe) menthető.

Ez az alfejezet a számítógép-vezérelte digitális házimozzi megvalósításának lehetőségeit mutatta be, annak lehetőségeit és korlátait, a ma forgalomban kapható számítástechnikai multimédiás eszközök tükrében. Az eszközök megismerése után most foglalkozunk a forrásanyagokkal, azaz azokkal a médiumokkal, amelyek a digitális házimozzi alapjául szolgálnak a VHS-től a Video-CD-ken át egészen a SuperbitDVD-ig.

### Lehetséges házimozzi-források, médiumok

#### VHS

1976-ban jelent meg először a VHS-magnó. A betűszó kifejtése **V**ideo **H**ome **S**ystem, azaz házi video rendszer. A szabvány megszületése óta sok minőségi változtatáson ment keresztül, olcsósága miatt azonban a mai napig megtalálhatók a boltok polcain mind a lejátszók, mind a szükséges kellékanyagok. 1978-tól már a VHS is kétsatornás hangot kapott – elterjedtek a sztereó, majd a Dolby Surround-kódolt hanganyaggal ellátott filmek. Azért fontos ez számomra, mert bár a házimozzi „klasszikus” műsorforrása a DVD, a tervezendő erősítőmnek a VHS filmek kétsatornás hangsávjából is ki kell majd tudni szűrnie az esetleges surround-információkat.

A VHS képi minősége úgy ivódott be a köztudatba, mint felbontásában nem túl részletes, de élvezhető műsorforrás. Minőségi fejlesztésének gátat szabott azonban a mágneskazettás tárolási elv, és a képi anyagok által megkívánt magas sáv szélesség. Használatával szembeni további hátrány az élettartam, amely szintén a kopó, öregedő mechanikai alkatrészek, és a nyúlékony mágnesszalag közti kölcsönhatás produktuma. A fejlesztés a digitális technológiák forradalma során mind inkább a digitális megoldásokra, digitális jelfeldolgozásra összpontosítódott, létrehozva ezzel a digitális videokazetták sokféle megoldását, melyekkel itt terjedelmi okokból foglalkozni nem kívánok.

#### VCD

1982-ben gyökeresen új adathordozó látta meg a napvilágot, a CD, azaz a Compact Disc. Felhasználási köre már kezdetben is széles volt – audio, videó, és egyéb, eredetileg analóg elven rögzített műsorokat is digitális adathalmazként tárolt.

Fontosabb technikai adatok (az audioCD-re vonatkoztatva): 74-(80-99) perc műsoridő, 16 bites felbontás, 44100 Hz mintavételi frekvencia, kétsatornás felvétel. 90dB jel/zaj viszony, és 90 dB feletti áthallási ráta. A lejátszáshoz 780 nm hullámhosszúságú (ez vörös szint takar) lézert fényt használnak; a kiolvastatás elve a hulláminterferencián alapul.

Kapacitása azonban bár relatíve nagy, de véges; videóanyagokhoz kifejezetten kevésnek bizonyult. Ezzel az új szülemény további és újabb fejlesztési irányt adott meg a fejlesztőinek: olyan digitális jelfeldolgozó eljárás(oka)t kellett kidolgozniuk, amellyel akár videóanyag is rákerülhet a CD-hordozóra. A kulcsszó a tömörítés, azaz a sebességcsökkentés. Cégek alakultak meg, tevékenységüket kifejezetten erre a feladatra koncentrálnak, melyek közül mai napig kitűnik az MPEG csoport, azaz a **Motion Picture Experts Group**.

Nézzük időrendi sorrendben a VideoCD-k fejlődését, technikai adataikkal röviden jellemezve az egyes állomásait:

- VideoCD 1.0
- VideoCD 2.0
  - Kép: PAL: 352x288 @ 25fps; NTSC: 352x240 @ 30fps. Kódolás: MPEG-1 @ 1,15 Mbps konstans bitráta. (Azaz közel VHS minőség.)
  - Hang: MPEG-1 kódolt, legfeljebb sztereó. Max bitráta: 224 kbps.
- Egy CD max. kb. 75 perces filmet tudott rögzíteni.
- XVCD
  - Kép: PAL: 720x576 @ 25fps. Kódolás: MPEG-1 @ 2,25 Mbps konstans bitráta. Azaz lényegében mindent megdupláztak.
  - Hang: MPEG-1 kódolt, legfeljebb sztereó. Max bitráta: 224 kbps
- SVCD
  - Kép: PAL: 480x576 @ 25fps. Kódolás: MPEG-2 @ 2,376 Mbps konstans bitráta. Az MPEG-2 kódolás sokkal jobb képminőséget ad az elődjénél.
  - Hang: MPEG-1 kódolt, legfeljebb sztereó.

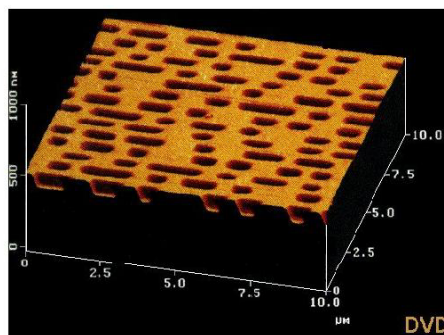
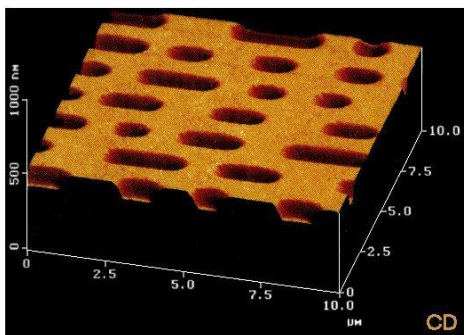
### DVD

1995-ben indult hódító útjára a DVD. Az eredetileg Digital Video Disc (digitális video lemez) néven bevezetni kívánt nagykapacitású lemez nevét még a piacra dobása előtt Digital Versatile Disc-re (digitális többcélű lemez) módosították, utalva ezzel arra a tényre, hogy bár a fejlesztés során kifejezetten a videóanyag tárolására alakították ki, annál sokkal több lehetőséget rejt magában az új szabvány.

**Maga a lemez** röviden fogalmazva egy szendvicsszerkezetű CD-nek feleltethető meg, ám valójában jóval több annál. Lehet egy vagy kétoldalas, ezen belül egy vagy két adatrétegű, 8, vagy 12 centiméter átmérőjű; fix, vagy írható CSS-sávós. Egy rétegen a pitméret negyedére csökkentett a CD-hez képest, (lásd 20. kép), a trackek pedig sűrűsödtek. Kapacitásra nézve mindezen újításokkal a CD 650 (680) megabájtja helyett immáron 1,4GB-tól 17GB-nyi hasznos adat férhet egyetlen, azonos méretű korongon.

	CD	DVD
Lemez átmérő	12 cm	12 cm
Lemez vastagság	1,2 mm	1,2 mm
Lézer hullámhossza	780nm (infravörös)	635-650nm (vörös)
Numerikus apertúra ( $\alpha$ )	0,45	0,60
Trackek távolsága	1,6 $\mu$ m	0,74 $\mu$ m
(minimális) Pit-méret	0,83 $\mu$ m	0,4 $\mu$ m
Elvi egyszeres adatsebesség	153,6 kBps	1108 kBps

9. táblázat – CD és DVD fontosabb adatainak összehasonlító táblázata



20. kép  
- CD, és DVD  
adathordozó-  
felületeinek  
azonos nagyítása



forrás: DVD-t  
népszerűsítő  
katalógus



### DVD-n alkalmazott kódolások

A **mozgóképek** lehet konstans bitrátájú MPEG-1, de általában pszichovizuális technikájú, csökkentett-, állandó vagy változó sebességű MPEG-2 kódolás. Mindkettő veszteséges tömörítést jelent. PAL-rendszerű műsor felbontása 720x576 @ 25fps, NTSC műsor felbontása 720x480 @ 30fps. Terjedelmi okokból nem szeretnék kitérni az MPEG tömörítés részletes ismertetésére, ehelyett inkább egy érdekességre térnek ki. Ami ugyanis az egyes képkockákat illeti, általában anamorf módon kerülnek a DVD-re, (csakúgy mint a legtöbb celluloidra). A megoldás oka, mint a moziban, itt is a függőleges felbontás megtartása. A 4:3 arányú kockába anamorf, azaz képtorzító módon helyezik bele a 16:9-es vagy még szélesebb vásznat igénylő képkockát. A torzítás tehát vízszintes összenyomást jelent; mégpedig szabvány szerinti 1.85:1, 2.35:1, vagy 2.39:1 arányban. Visszajátszásnál a mozigép optikájának, vagy a DVD lejátszó kodekének lesz feladata az anamorf képet eredeti méretű, torzítatlan képpé nyújtani. Technikailag a torzítást csak egyszer kell megoldani, ugyanis a DVD minden képkockája valójában a celluloid 1:1 szkennelése, majd e kockák folyamatának MPEG-bitfolyammá kódolt digitális változata. Ha tehát egy DVD-re rá van írva, hogy „anamorf 1:1.85 widescreen”, azon azt kell értenünk, hogy az eredeti 16:9-es képet 1:1.85 arányban vízszintes tengelyén összenyomva találjuk meg a DVD tömörítetlen képkockáin.

Később lesz szó róla, hogy a DVD összes szolgáltatása multiplexált módon kerül a lemezre. Az egyes szolgáltatásokhoz hexa-címeket rendeltek, valószínűleg a blokk-formátumnak megfelelően. Az elsődleges videóanyag címe minden esetben 0xE0.

A **hang** maximum 8 hangsávban kell elférjen, amelyek mindegyike tetszőlegesen kiosztható. Hangsávon értünk például egy komplett többcsatornás szinkron-nyelvet. Ezek mindegyike szintén hexa-címet kapott, amely itt is az adatblokkokba szervezést, és a multiplexálást hivatott segíteni. A számozás 0x80-tól 0x87-ig terjed (=8db cím).

Az egyes hangsávokban található hanganyag kódolása az alábbiak közül bármelyik lehet:

- **AC3**, azaz Dolby Digital Audio Coding-3. Ez tekintendő az első és legfontosabb szabványnak, ugyanis úgynevezett „megbízott formátum”, azaz azon formátumok egyike, melyek nélkül nem készülhet DVD. Maga az eljárás rendkívül komplex, terjedelmi okokból szintén nem szeretnék vele ezen dolgozat keretében foglalkozni. Az MPEG-hangtömörítéshez hasonlatos módon az AC-3 kódolásakor is lehet választani a kiváló minőség és a minél kisebb eredmény-fájl között, meghatározott szabványosított bitráták kiválasztásával. Ez a bitráta DVD-n általában 384 kbps, igényesebb produkciók esetén 448kbps (a korlátok: 32kbps(mono)...640kbps(5.1) ). Az elsődleges eredeti film-hangsáv általában többcsatornás, míg kísérő-hangsávoknál gyakran előfordul a csupán kétcsatornás (sztereo, vagy surround), 192kbps bitrátájú, eredetileg 20 bit felbontású, 48kHz-es hang is.

Ezen kívül előfordulhat még:

- **DTS** – Fentihez hasonló, de jobb minőségi tulajdonságokkal rendelkező, és gyökeresen más technológián alapuló 750kbps-1500kbps bitrátájú, veszteségesen tömörített hangsáv. Némi utánaszámolás révén kiderül, hogy egy kétórás film egy darab, legfeljebb 5.1-es hangsávval, 1500kbps-sel 1,26 GB-ra adódik... Sajnos csak mint „opcionális” hang-formátumot engedi a DVD-szabvány, azaz kizárt olyan DVD, amelyen kizárólag ilyen kódolású kísérőhang szerepel.
- **MPEG** – tipikusan MPEG-I layer3, 48kHz, 384kbps. Hátránya, hogy a nagy tömörítési ráta érdekében viszonylag nagy információvesztést is hordozhat. Hangja egy nem kielégítő bitráta esetén (mely lehet 56, 64, 96, 128, 144, 160, 192, 256, vagy 320 kbps) sajnos tud élvezhetetlen lenni. Általában MPEG-I képkódolás mellé használatos, tipikusan házi jellegű felhasználáskor (esküvők, születésnapok, stb. DVD-re írása).

- **Linear PCM** – Maximum 24 bit felbontásban, és 96kHz mintavételi frekvenciával. Hátránya, hogy csak kétsatornás lehet, és mint tömörítetlen hanganyag, nagyon sok helyet foglal. Előnye azonban a teljes, minimális információveszteségű minőség.

A tömörítések alapja minden esetben legfeljebb 6 csatornányi, legfeljebb 24 bites, 96kHz mintavételezésű PCM.

(Nem tartozik a DVD-hang lehetőségei közé, de megemlítem az SDDS-t is.– Érdekes módon a SONY nem tör egyéb DVD-s babérokra. Részt vett ugyan a DVD kifejlesztésében, a Sony **D**ynamic **D**igital **S**ound-ot mégsem szándékozták szabványos hangjává tenni, épe ezért nem készítették el annak mozi-beli, SDDS adathordozókra alkalmas bitstream változatát. Az SDDS így csakis a mozié maradt. Némileg kár érte, mert maga a technológia kompatibilis volna akár a 8.1 csatornás hanggal is...)

### DVD-extrák

A VideoCD óta gyűlnek és finomodnak a videolemezeknek azon szolgáltatásai, amelyek ugyan nem volnának feltétlenül szükségesek a megvásárolt/kikölcsönzött film mellé, mégis szépek, intelligens benyomást keltenek, és esetenként olyan pluszokat kínálnak, amelyekre az előd, a VHS képtelen volt. Lássuk melyek ezek; milyen „extrákat” kínál a mai Video-DVD.

- **GUI** – **G**raphics **U**ser **I**nterface – grafikus felhasználói felület, amely interaktív menürendszert takar. A lemez behelyezése után a „film életre kel”, először felkínálja minden beállítási lehetőségét, majd miután a néző kiválasztotta azokat, ezen opciók szerint játszódik le maga a mozi.
- Legfeljebb **32db felirat-lehetőség** – amelynek érdekessége, hogy mint „subpicture” (=alkép, ráfényképezett kép) kerül a képanyagra, nem pedig mint feliratfájl (textfájl). Ennek oka abban rejlik, hogy a lemezeknek a számunkra „grafikus írást” alkalmazó nyelveket is támogatnia kell, mint például arab, vagy kínai. A kínai nyelv tudomásom szerint több mint 15000 írásjelet alkalmaz. Ez nagyon jó példa arra, amit egyszerűbb grafikus megjeleníteni, mint 15000 írásjelet megismertetni a szabvánnyal. A feliratokhoz szintén hexa-címeket rendeltek, 0x20-tól indítva.
- „**Multiangle**”-funkció – jellemző a gyakorlatilag az összes filmprodukciónak, hogy a fontosabb jeleneteket több kameraállás egyszerre veszi fel, és ezen felül ugyanazt a jelenetet többféle verzióban is filmre rögzítik. Ennek alapvető célja, hogy a forgatás befejeztével, az utómunkálatok során a vágószobában legyen miből válogatni, de olyan filmet is láttunk már, amelyben a vágó szándékosan nem választott a verziók közül, hanem ugyan azt a pár másodpercnyi jelenetet egymás után minden kameraállásból beletette a filmbe. A DVD multiangle funkciója ezt a lehetőséget menti meg a vágószobából, egyenesen az otthonunkba: a néző választhat az egyes kameraállások közül (legfeljebb 5 db), ha lemeze támogatja ezt a funkciót.
- **Gyerekvédelem** – korhatáros filmekre kell gondolni. A felhasználó beállíthatja lejátszóján, hogy mely korhatár feletti filmeket kösse a lejátszó külön kód beviteléhez. A kód elnevezése **PGC** – **P**arental **G**uide **C**ode, melyet a filmet forgalomba hozó ország rendel a filmekhez.
- **Régió kód** – célja többszörös: egyfelől az üzleti érdekeket hivatott védeni, illetve helyet spórol a lemezen (a nyelvek és feliratok szempontjából). Hat darab régió kódra osztották fel a világot: 1 – USA és Kanada; 2 – Európa, Dél-Afrika, Közép-Kelet, Izland, és Grönland; 3 – Kelet- és Délkelet-Ázsia; 4 – Dél-Amerika, Karib-szigetek, Csendes óceán, Ausztrália; 5 – Észak-Afrika, Észak-Korea, India, Oroszország, Kelet-Európa; 6- Kína. Ezekon felül létezik a nullás régió kód is, amellyel ellátott lemezünk minden országban lejátszható.

**Hibavédelem:** Reed-Solomon szorzat-kód a véletlenszerű hibák (pl. karc, ugrás) jelzése és javítása érdekében. Szó-szervezésű, szisztematikus kód (azaz szó és hozzárendelt kódja kölcsönösen egyértelmű). Redundanciája a DVD-n átlagosan 13% (Ez érthető akár úgy is, hogy a 4.7GB-os DVD-n majd' 600MB-nyi redundáns adat gondoskodik a hibajavításról)

**Másolásvédelem:** Sok fejtörést okozott a kutatóknak, hiszen okulniuk kellett a CD-s másolásvédelem kudarcából. 1996 – Az elektronikai mamutcégek bejelentették, hogy hamarosan piacra dobják első asztali DVD-lejátszóikat. Ahogy az ilyenkor szokásos, kitették a DVD másolásvédelmét a „kirakatba”, azaz borsos jutalmat ígértek annak, aki megfejti. Egy japán számítástechnikai cég jelentkezett is hamarosan, és hozzátették, hogy szerintük gyerekjáték volt. A gyártók azonnal leállították piacra dobási szándékukat, és a NASA-hoz fordultak segítségért, amelytől meg is érkeztek a kívánt megoldások. Így egy évet csúszott ugyan a DVD-technológia piacra kerülése, de legalább elmondható, hogy digitális és analóg másolás ellen is védett a lemez.

➤ **Digitális másolásvédelem** alatt érthető a multiplexálás is. Korábban már utaltam arra, hogy kép, hang, feliratok, extrák, menük, trailerek és werkfilmek meghatározott hexadecimális címek sorrendjében adatblokkokba vannak szervezve; egybe vannak multiplexálva. Az egybefésült hatalmas digitális „masszát” ez után 5-6 részre szedik; ezek lesznek a VOB fájlok. Ez máris másolásvédelemnek tekinthető, de inkább feltörésvédelemnek, hiszen ember nem mondja meg, hogy a VOBokon belül melyik adat-sor sáv hol kezdődik.

...Megmondják viszont az IFO fájlok. Minden műsorhoz tartozik ugyanis egy IFO fájl, amely az ember számára érthetetlen kódban tartalmazza azokat az információkat, hogy a hangokhoz, képhez, feliratokhoz, stb. melyik VOB fájlokban és hol található az adat-sorok.

Tételezzük fel, hogy a lemezen éppen valamelyik IFO-fájltra esik egy olyan karcolás, amelyet a Reed-Solomon kód már nem tud javítani. Tekintve, hogy az IFO fájl párszor tíz kilobájt, elég jó az esély arra, hogy egy átlagos karc egy IFO nagy százalékát olvashatatlanná tegye. Bosszantó volna a jelenség, hiszen ettől függetlenül valójában minden adat megvan a lemezen, még hozzá épen és egészségesen, csak éppen nem fogja tudni megállapítani a lejátszó, hogy mit hol kell keresen a DVD-n. Éppen ezért a lemezen fentiekén túl egy BUP kiterjesztésű fájl is megtalálható, ez pedig az IFO-val teljesen azonos biztonsági másolat, annak fizikai helyétől mindig jól elkülönítve felírva.

➤ Digitális másolásvédelem még, hogy **az adatblokkok 160 bites kóddal** lehetnek ellátva, akármilyen sorrendben, és százalékarányban (például előfordulhat, hogy csak minden harmadik adatblokk kódolt, a többi kódolatlan).

➤ További digitális másolásvédelem még a **CSS (Content Scrambling System)**, amely egy 40 bites azonosítót tartalmaz. Tegyük fel, hogy kikölcsönzünk egy DVD-t, és „teljes lemez másolása funkcióval” át szeretnénk másolni otthoni DVD-írónkkal. Mi történik? Először is: CSS szempontjából IS kétféle céllemez vehetünk: 4.7 GB-os DVD+/-R-ből létezik „general”, és „authoring” rendszerű. Mindkettő tartalmaz egy autorizációs sávot. Gyári DVD-knél ez nyomott; írható „general” típusúaknál üres és írhatatlan; „authoring” típusoknál írható, de otthoni készülékünk (hamarosan) képtelen lesz rá. Ez volna viszont az a hely, ahova a CSS kódnak kerülnie kellene...

A védelem kikerülése sajnos (?) egyszerű: A Windows98 még „csak hírből” ismeri a CSS fogalmát, átmásolja úgy, mintha hagyományos adat volna egy UDF fájlrendszerű lemezen. A CSS tehát csak Windows98 feletti operációs rendszerekben jelent digitális másolásvédelmet.

- **Analóg másolásvédelem** ellen a VHS kazettákon már jól bevált Macrovision kód 7-es változata került a lemezekre. Ez egy gyors modulációt alkalmaz a színvívőre, ezzel garantálva, hogy egy bármely fajtájú DVD lejátszót egy mai VHS videorekorderrel összekötve élvezhetetlen csíkos képet kapjunk a kópián.
- Ebbe a sorba tehető még a **régiókód** is, hiszen az Amerikában esetleg olcsón beszerzett DVD-nk itthon Európában hibáüzenettel fog elindulni. Ha mindenképpen meg akarjuk nézni a filmet Európában, akkor megvehetjük ugyanazt itthon, hazai árán, a helyi reklámokkal, szerzői jogokkal, PGC-korhatárral, szinkronhangokkal és feltételekkel.

### Superbit DVD

2003-ban elkezdtek az úgynevezett **Superbit DVD**-k készítését. Ez egy újonnan terjedő „minőségmániás örület”. Volt már szó arról, hogy a kódolást végző személy és/vagy szoftver dönti el a kompromisszumot a kép minősége és digitális változatának terjedelme között. A probléma is ismert: jobb minőség, nagyobb fájl.

A Superbit DVD a hang- és képminőséget egyaránt preferáló vásárlók számára indult útjára éppúgy, mint ahogyan az audiofilek számára a mind jobb minőségű audioCD-k, majd az SACD, és a DVD-Audio. A Superbit DVD-n ugyanis abszolúte másodlagos minden ami extra, csakúgy mint a sok nyelv támogatása. Elsődleges a film kiváló kép-, és hangminőségének biztosítása! A képnél a bitrátát tartják magas szinten, a hangnál pedig „leszögezték” a DTS szabvány használatát (ezzel komoly voksot letéve a Dolby Digital vs DTS presztízsharcban), továbbá kimondták, hogy Superbit DVD alapja mindig 9,4GB-os DVD9 szabványú, egyoldalas, kétrétegű lemez.

### Broadcasting

Azért kell megemlíteni, mert a kábeltelevíziós hálózat is folyamatos technikai fejlesztéseken megy keresztül, kissé hasonlatos módon, mint ahogyan a VHS rendszer is tette. Eleinte csak a műholdas műsorszórás követelte meg az MPEG-tömörített videóanyagot, ma már egyre inkább terjed a földi digitális műsorszórás is. Bizonyára nem árulok el nagy titkot azzal, hogy a hazai két legnagyobb nézettségű kereskedelmi televíziónk digitális elvű műsorszórással jut el a kábeltelevízió-szolgáltatókhoz, ahol aztán ismét analóg jellé alakulva jut el lakásunkba az adásuk. Ami pedig a hangot illeti, manapság már a mono adásokat tartjuk elkeserítőnek, nem pedig a sztereo adásokat kivételesnek. Osztrák és német szomszédaink azonban már ennél is tovább tartanak. Elsőként a világon az osztrák ORF1, majd másodikként a német Pro7 is megvásárolta a Dolby Laboratories legújabb fejlesztésű műsorszórási elvét, a Dolby-E-t, melynek segítségével földi műsorszórással is lehetővé válik a rendelkezésre álló két hangcsatornában akár ötöt (!) is átvinni. Ez nagy szó, hiszen ezzel immáron ismét kibővíthetjük a házimozsi fogalmát: digitális műsorszórás, Dolby Digital 5.1 hang, nagyképernyős, kábeltuneres televízió, valamint a megfelelő hangrendszer – mi ez kérem, ha nem házimozsi?!

Szomorú tény, hogy hazánkba az ORF1, és a Pro7 is „csak” sztereóban jut el. Ez jó esetben azt jelenti, hogy 5.1 → Surround lekeverést alkalmaznak, rossz esetben pedig valami teljesen mást... A kérdés azonban nem sokáig marad kérdés, hiszen dolgozatom végére ki fog derülni – az új erősítő, és dekóderáramkör segítségével!

### A jövő

A fejlődés nem áll meg, és ez így is van rendjén. Külön öröm számomra, hogy a fejlesztés mindjárt többirányú:

2002.08.26 - A japán Toshiba és a NEC bejelentették, hogy olyan új DVD szabvány kifejlesztésén munkálkodnak, amely kék lézeres technológiát használ, az eddigieknél nagyobb tárkapacitást biztosít, de támogatja a jelenlegi lemezeket is. Ez a kezdeményezés azonban nem azonos a hallásból már ismert Blu-ray (Sony, Matsushita, Philips és Samsung) eljárással. A Toshiba-NEC páros által kidolgozott technológiát használó lemezek a jelenlegi DVD-k legfeljebb 17 gigabájtos kapacitásához képest - két rétegen - 40 gigabájt adatot, vagy 5 órányi nagyfelbontású videóanyagot képesek tárolni. Ezzel szemben a konkurens Blu-ray 27 gigabájt adatot, vagy 2 órányi digitális videót lesz képes raktározni.

A másik irányzat az Internet felől közelít. Talán szintén nem titok, hogy a globalizáció jegyében az Internet minél szélesebb körű-, és sávú elterjesztése a cél, itt Magyarországon is. Kis hazánk talán egyelőre távol áll a következő technológiától, de a tengerentúlon már próbaműködésén is túl van a VOD, azaz a **V**ideo **O**n **D**emand legújabb változata. A fejlesztés célja a körülményes videotékák Internetes broadcastinggal való kiváltása: az ember otthoni számítógépén befizeti a „kölcsonzési díjat”, és az előzetesen közzétett időpontban, pénzért kapott kódjával real-time módon nézheti meg a kért filmet az Interneten. Technikailag a jelenlegi megoldás úgy néz ki, hogy a film részletekben töltődik le a számítógépre, annak különféle könyvtáraiba (melynek célja a követhetlenség), ráadásul lekódolt (titkosított) formában. Lejátszáskor az egyes film-szeletek logikailag összefűződnek, a befizetésért kapott kód segítségével pedig kikódolja őket a videolejátszó program. Ami pedig igazán új: a lejátszás befejeztével a videófilm „megöngyilkolja” magát a merevlemezen, lehetlenné téve ezzel manuális kikódolását, összefűzését, újra megtekintését, vagy esetleges másolását, terjesztését.

Érdeemes tehát elgondolkodni azon, hogy valójában milyen távú jövője lehet a videotékáknak, a VHS-nek, az asztali DVD-nek, vagy akár a klasszikus moziknak. Lehetséges lenne, hogy mindezen funkciókat átveszi egy mindent tudó set-top-box?...

Az első fejezetben láthattuk a mozi és a házimozis mechanikus és digitális lehetőségeinek múltját, jelenét, és jövőjét, mindet a dolgozatom szempontjából szükséges mértékben. A jövőre vonatkozó megállapítások elfogadását, vagy elvetését olvasómra bízom – e tekintetben hasonlóan lehetetlen hosszútávra bármit is jóslani, mint a számítástechnikában volna.

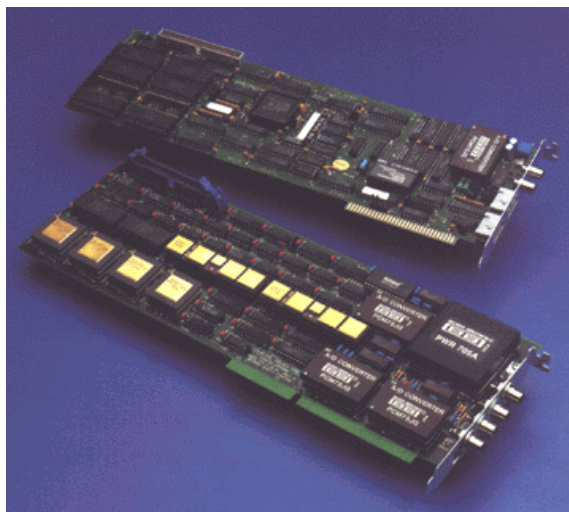
## II. fejezet – A hallásérzetet befolyásoló tényezők bemutatása

A második fejezetben a hallásérzetet befolyásoló tényezőket fogom bemutatni. Ezen rész célja a tervezendő rendszer megkívánt specifikációjának lefektetése előtt megvizsgálni, hogy milyen fizikai/fiziológiai korlátokba ütközik az ember térbeli hallás-érzékelése. Először az emberi hallás bonyolult folyamatát, majd pedig a rendelkezésre álló leendő hallgatószoba fizikai alkalmasságát vizsgálom.

### A térbeli hallás ([1.] alapján)

Mondhatni hiánypótló dokumentum volt számomra Dr. Wersényi György – A térbeli hallás című munkája, valamint az általa tartott „Műszaki akusztika” című előadássorozat (akusztikai rezgő rendszerek egymásra hatása), ugyanis egész eddig csak azt lehetett olvasni a legtöbb szakmai folyóirat újságíróitól, hogy „ezek a témák még kutatás alatt állnak”, vagy ami még rosszabb, „fizikai és matematikai leírásuk ismeretlen”.

Ehhez képest mára úgy tudom, hogy a NASA az Aural Semiconductors-szal együtt folytatott kutatása során teljesen le is zárta a témát – sikerült tökéletesen leírniuk az emberi hallást mind fizikai, mind matematikai összefüggésekkel. Együtműködésük keretében elkészült a minden jelenlegi mozis és házimozi rendszereink képességei fölött álló, tökéletes térbeli pozicionálást létrehozó „Convolutron” nevű szerkezet, melynek terében az egyes hangforrásokat (mint zenészeket) „fogd és vidd” módszerrel, egy számítógéphez kapcsolt kesztyűvel áttehetjük a tér bármely más pontjára.



21. ábra – A convolutron

Térjünk vissza azonban a hagyományos megoldásokhoz, és vizsgáljuk meg először az emberi hallás tulajdonságait – lényegi vonalaiban.

A hallásérzet kialakulása sok tényezőtől függ, és az egyes tényezők általában véve kihatnak egymásra. Hogy valahogyan mégis „megfogható”, kezelhető legyen a rendszer – különösen matematikailag – bevezettek egy fejközpontú, gömbcentrikus koordinátarendszert. Ebben a koordinátarendszerben az origó a hallgató feje. Ez a fej sosem mozog, fixen igazodik az origóra, mindig egy irányba néz, így mindig egyértelmű lesz a jobb, a bal, az elöl, a hátul, a fent, és a lent fogalma.

Rögzítsük a próbafejet úgy, hogy az orr mutassa az elöl irányát. Ha egy pontforrást teszünk képzeletben erre a tengelyre, azt az origóban ülő alany ebből az irányból fogja

hallani, de füle nem csak a forrás irányát, hanem annak távolságát is kiértékeli. Helyesebb tehát, ha a koordináta-rendszerbe nem pontokat, vagy irányokat, hanem vektorokat rajzolunk. A pontforrás helyét (irányát, és hangosságát) a koordináta-rendszer origójából kiinduló, és a pontforrás helyén végződő vektor szemlélteti. Két paraméter tehát a **szög, és a távolság**. De mivel nem síkon, hanem térben kell gondolkodnunk, az irányt kénytelenek vagyunk **két** szöggel leírni.  $\delta$  jelölje az elevációs szöveget (a horizontális síkkal bezárt szöveget),  $\varphi$  pedig az oldalszöveget (a szaggitális síkkal bezárt szöveget). Hétköznapi szavakkal magyarázva:  $\delta$ -szöggel mozdul el a fej, amikor bólint, és  $\varphi$ -vel, ha oldalra néz.

A fül, a fej köré tett pontforrást tehát három paraméterével jellemzi: Honnan jött ( $\varphi$ , és  $\delta$ ), és milyen messziről ( $|\mathbf{r}|$ ). A három információ együtt kiad egy térvektort, melyet jelöljön  $\mathbf{r}$ . Ezek az adatok matematikai leírásra tökéletesek, de a fül valójában sem szöveget nem mér, sem pedig távolságot, csak hangerőt (relatív teljesítményt), és frekvenciát. Mi köze e paramétereknek egymáshoz? Nyilvánvaló, hogy mindkét paraméterrendszernek ugyan azt a jelenséget, és ugyan úgy kell leírnia – következésképpen összefüggés van közöttük.

### Terjedés levegőben

Vizsgáljuk először a távolság problémáját, azaz azt, hogy hogyan állapítja meg a fül az  $\mathbf{r}$  vektor hosszát? Távközlésből ismerős képlet a szabad tér csillapítására vonatkozó  $a_{\text{levegő}} = \frac{4\pi R}{\lambda}$  képlet, amely kimondja, hogy ha az adó teljesítménye állandó, az adó és vevő közötti távolság növelésével egyenes arányban nő a szabad tér csillapítása.

A hallásérzet kialakulásánál ugyan ez a helyzet, hiszen ráhúzható a távközlési modell: ha az akusztikai pontforrás kibocsátott teljesítménye állandó, akkor a fül és a pontforrás közötti távolság növelésével négyzetes arányban csökken a vevő oldalon tapasztalható teljesítménysűrűség. ( $S_0 = \frac{P_{\text{adó}}}{16r^2\pi^2} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ )

Megjegyzendő azonban, hogy a fül távolságérzet-becslése sohasem tökéletesen pontos. Sőt: a távolság növelésével nő a becslés bizonytalansága. Kiegészíthetjük tehát autósiskolai biztonságtechnikai tanulmányainkat az alábbi megállapítással: a távolról közeledő mentőautónak nem csak fényei, hanem hangja alapján becsült távolságát is hibásan mérnénk fel. A tévedés ráadásul ugyanolyan előjelű: mindkét érzékszervünkre támaszkodva távolabbinak hinnénk a mentőautót!

Ezen rész összegzéseként lejegyezhető tehát, hogy  $a \sim |\mathbf{r}|$ ,  $a \sim 1/\lambda$ , és  $S \sim |\mathbf{r}|^2$

### A Doppler effektus

A Doppler törvény kimondja, hogy mozgó forrás és mozgó nyelő esetén, a vételi oldalon a forrás által kibocsátott frekvencia torzulást szenved, mégpedig az alábbi összefüggés szerint:

$$f_{\text{vett}} = \frac{c - v_{\text{vevő}}}{c - v_{\text{forrás}}} * f_{\text{forrás}}, \text{ ahol } c \text{ a hang terjedési sebessége az adott közegben.}$$

Ezek szerint a fül, ha folyamatosan változó frekvenciájú, ÉS folyamatosan halkuló hullámokat kell kiértékeljen, az agynak közeledő vagy távolodó (mozgó) forrásra kell következtetnie. Szükség van tehát memóriára és logikára is ahhoz, hogy a mozgó pontforrás egyes fázisai között a kapcsolatot, és a konvergenciát meg tudjuk állapítani. Ebben a megfigyelésben a haladó pontforrás előző helyzetéhez képesti vett frekvencia, és relatív teljesítmény változása az információ értékű.

### A fej

Bután hangzik, de ha nem volna fejünk, vagy annak csak egy pontján volna fülünk, nem beszélhetnénk térhallásról. A fej ugyanis árnyékoló hatásával térinformációt ad a két fülön át

az agynak. Gondoljunk arra az esetre, ha például a fejtől jobbra szól a pontforrás. Ekkor a bal fül frekvenciában és intenzitásában is más jelet kap, egyfelől a forrástól vett távolság miatt, másfelől pedig a fej árnyékoló hatása miatt is.

Továbbá igaz, hogy ha  $R < 3$  méter, (ahol  $R$  továbbra is a forrástól vett távolságot jelöli), akkor nem tekinthetjük síkhullámnak azokat a hullámokat, amelyek a fülünkhöz érkeznek. Ilyen esetekben a fej körül létrejön a hullámelhajlás jelensége is, amely a fej méretéből és az előforduló  $\lambda$  hullámhosszokból következően 500 Hz alatt válik jelentőssé.

### A csonthallás

Ha a fülünket tökéletesen bedugaszolnánk, a hallásküszöb 40 dB-lel megemelkedne. Ekkor is hallanánk azonban valamilyen mértékben a környezet zajait, de a megszokottól eltérő frekvenciatorzítással, és intenzitással (koponyacsont, szövetek, hajjas fejbőr). Ha kivesszük fülünkbe a dugaszt, az azt jelenti, hogy (idővel) hallásküszöbünk visszaáll eredeti helyére (0dB), és 40dB-es csillapítással működik tovább a csonthallás. 40dB azonban nagyon nagy csillapítás ahhoz, hogy bármilyen szerepe is legyen a fülön keresztül vett jelnek a csontokon áthatolt jelhez képest. A csonthallás tehát elhanyagolható.

Ebből a részből összegzésképpen egy dolog igazán fontos: a fej egy irány és távolságfüggő, kettős hatású csillapító, azaz  $a_{\text{bal}} \sim \lambda, \delta, \varphi$ , és  $a_{\text{jobb}} \sim \lambda, \delta, \varphi$

### A fülkagyló

Mi történne, ha nem volna? – teszem fel ismét a fájdalmas elvi kérdést. A fül ez esetben is elvesztene sok értékes térinformációt. A fülkagyló ugyanis egy olyan lineáris (!) szűrő, amelynek csillapítása irány, és távolságfüggő. Mitől irányfüggő? Ha ránézünk egy fülre, feltűnik, hogy különféle domborulatok, és mélyedések, vajatok alkotják. Ezek a beérkező hullámokat a beesés helye alapján vagy a hallójárat felé, vagy pedig valahova máshova reflektálják. A fülkagylónak, mint szűrőrendszernek 5 db jellemző rezonáns pontja van: 3, 5, 9, 11, és 13 kHz-en. Ezek a frekvenciák a fülkagyló kiemelését okoz a többi frekvenciakomponensekhez képest. Ha belegondolunk, ez a sáv éppen az emberi hang sávja. Kijelenthető ezek alapján, hogy fülünk „a többi ember által sugárzott műsorra van kihegyezve”. Megállapították továbbá, hogy a fülkagyló szűrőhatása 1500 Hz-től felfelé kezd a kialakuló érzetben igazán dominánssá válni.

Ha tehát képletet kéne felírni a fülkagylóra, valami hasonló paraméterekkel kellene rendelkeznie:  $a_{\text{bal}} \sim f, \delta, \varphi, R$ , és  $a_{\text{jobb}} \sim f, \delta, \varphi, R$

### A hallójárat

A fülkagyló és a hallójárat együtt rezonátort alkotnak, amelynek gerjeszthetősége – a fülkagyló révén – függeni fog az iránytól (árnyékolás, szórás, gyűjtés), és a távolságtól (intenzitás). Maga a hallójárat egy kb. 2,4 cm hosszú, egyenletlen falú cső. Egyenetlensége, átmérője, és hossza szintén szűrő jelleget ad neki, amelynek hatása 3000 Hz fölött válik dominánssá.

### A dobhártya

Dobhártya gondoskodik az akusztikai rendszer lezárásáról. Ha ekvivalenst kellene rajzolni, a dobhártya lenne a lezáróimpedancia. Reflexiók tényezője körülbelül 1.

A mechanizmus itt azonban nem ér véget. A dobhártya csatolja a külső „szűrőrendszer” a belsőhöz, a külső fület a középfülhöz. Hozzá kapcsolódik ugyanis a három nevezetes csontocska, amelyek végül a Corti-féle csiga-alakú szervbe juttatják az immáron mechanikai rezgést. A csiga bazilláris (hosszanti) membránja a szervben található sós folyadék rezgésének hatására ingereket kelt, melyeket idegszövet visz az agyba.



A bazilláris membrán, ha ki tudnánk egyenesíteni, kiváló frekvenciatengely volna. Ha a képzavart tetéztve függőleges tengelyként felvennénk az intenzitást, megállapíthatnánk, hogy a Corti-szerv mérés technikailag egy precíz spektrumanalizátor!

### Az agy

Az idegek az agyban végződnek. Az agynak azonban rögtön két „spektrumanalizátor” jeleit kell elemeznie, tárolnia, pillanatról pillanatra összevetnie, és abból következtetéseket levonnia.

Nézzünk pár további (egyszerűbb) elvet, amik alapján dönteni tud az agy:

- Ha az egyik füljel 15-20 dB-lel hangosabb mint a másik, az dominanciát takar, ezért kialakul az agy tulajdonosa számára a „tökéletesen oldalt” érzete.
  - Ha a két füljel között kevesebb, mint 15-20 dB a különbség, akkor fázis és frekvenciakülönbségi adatok, és a gyermekkorból származó tapasztalatok alapján meg kell becsülni a forrás irányát.
  - Ha Doppler effektust érzékelne az agy, akkor a forrás mozog. Ha csökken a frekvencia, akkor közeledik a hangforrás, ha nő, akkor távolodik. Ha a jobb füljel intenzitása nagyobb, mint a balé, akkor a forrás a fejhez képest jobbról balra mozog, ha fordítva, akkor balról jobbra.
  - Ha valami halk, az valószínűleg messze van. Hogy milyen messze, azt megmondja a füljelek intenzitása, továbbá azok fázis-, és frekvenciaviszonyai.
  - Ha két frekvenciaspektrum-komponens egymás mellett helyezkedik el, és egyik jelentősen halkabb, mint a másik, annak nagyon kevés szerepe lesz a hallásérzet kialakulásában (Ez az elfedődés, maszkolódás jelensége)
- ...stb.

A két füljel hasonló módon történő, agy általi kiértékelése TANULT, de készség-alapúvá vált folyamat. Ugyanakkor, mint érezhető volt a fentiekből, meglehetősen számításigényes munka. Kutatók végeztek egy olyan kísérletet, amelyben megmérték az agy működési gyorsaságának határát. A tesztalanyt leültették egy székre, fejét rögzítették, és környezetébe sok, egyforma hangsugárzót helyeztek el, szabályos kör alakban. A körben álló források jelei valamely irányba virtuálisan körbe haladtak, átúszás-szerűen. Az átúsztatások sebességét változtatva folyamatosan kérdezték a tesztalanyt, hogy mit hall – milyen érzet alakult ki benne?

Az eredmény nagyon érdekes. (Jelölje T a jel körülforgási sebességének periódusidejét.) Ha  $200\text{ms} > T > 100\text{ms}$  volt, akkor az alany kezdett elbizonytalanodni. Először azt mondta, hogy csak az egyik szól, majd később, hogy ugrál a forrás ide-oda. Tovább csökkentve T-t,  $3.5\text{ms} > T > 1.5\text{ms}$  közé, az ugráló forrásból diffúz hangtér érzete alakult ki a személyben, holott a forrás virtuális forgásának továbbra is csak a sebessége változott.

Ha visszatérünk matematikai síkra, elmondhatjuk, hogy fülünk a fentebb említett  $\underline{r}$  vektort próbálja meg „felrajzolni”, intenzitás-, frekvencia-, és fázisviszonyok alapján. A változók közti kapcsolatokat, mint a fülekre vonatkozó átviteli hálózatfüggvényeket a fentiekhez hasonlatos fejtegetéssel, valamint precíz mérésekkel leírták – ezek lettek a HRTF-függvények. (Itt utalnék vissza dolgozatom számítógépes multimédiával foglalkozó részeire, melyekből kiderült, hogy léteznek hangkártyák beépített HRTF-függvényeken alapuló térhatás-számítással!) A függvények pontosítása, és kiszámítási algoritmusuk minél jobb közelítésekkel való egyszerűsítése manapság is folyamatban van.

Láthattuk: NEM igaz, hogy nincs kikutatva az emberi hallás!

### A látás szerepe a hallásban

Az agy bonyolult szerkezet, és nagy előnye, hogy sok része (főleg a gyermekkori) tanulás során kapcsolatokat hoz létre egymással, ezáltal egy rendkívül szövevényes, ám különféle asszociációkra képes rendszert megteremtve.

Ami a hallást illeti, fentiek alapján már nem is olyan meglepő, hogy nem csak hogy a látás, de hangulatunk, pszichés állapotunk is kihatással van rá. A látásra, adoptált példám a pontosan a TV-ből beszélő bemondó. Előfordul, hogy a közelében sincs a hangszóró, mégis a képernyőből érezzük beszélni. Tegyük még hozzá mindehhez, hogy a látás is tanult folyamat, sőt, amint a hallást is, a látási folyamatot is be lehet csapni bizonyos mértékben (Pl. két hétig hordott képfordító szemüveg hatására az agy visszafordítja az érzeti képet a „megszokott” irányba. Másik példám legyen mondjuk a Virtual Reality szemüveg, mely azáltal, hogy megfelelő sebességgel villogtatja a kijelző képét, valamint ezzel pontos szinkronban sötétíti-világosítja a szemüveg-lencsét, háromdimenziós hatást ad a valójában síkbeli képnek.)

Összesítve a leírtakat belátható, hogy a hallás nagyon bonyolult folyamat, a feldolgozásban résztvevő összes szerv érzete kihat a másikkra; valamint hogy a hallás alapvetően irány, távolság, frekvencia, és fázisfüggő. Megismertünk korlátokat is, mint például feldolgozási sebesség, maszkolás, stb., amelyeket szívesen ki is használnak egyes szórakoztatóelektronikai termékeink a kívánt „speciális effektusok” kialakítása érdekében.

### Körülmények

Ezek voltak a hallás fiziológiai jellemzői. Látható volt, hogy a már maga a „vevő” jelfeldolgozása is igen bonyolult, ez azonban csak az utolsó állomás a hallás folyamatában.

Nem esett még szó ugyanis arról, hogy hogyan jut el az érzetet kiváltó hullám a fülbe. Nem kívánok foglalkozni az átviteli láncolatnak azzal a mindenki által ismert részével, amely a felvételt készítő stúdió, és a lejátszó oldali hangfalak között található; ehelyett inkább onnan vizsgálom tovább a láncolatot, ahonnan az elektromos jel a hangfalba bekerül.

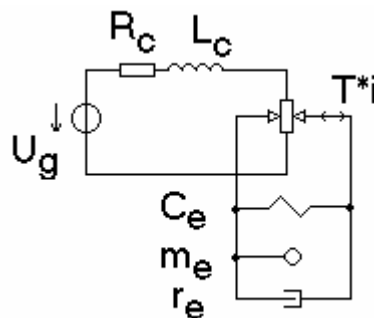
A hangfal feladata a bemenetére érkező elektromos jelet (harmonikus komponensekből felépülő, sávkorlátolt jel) mechanikai harmonikus hullámmá alakítani. Ez azonban több okból sem egy egyszerű konverzió, mert:

- A beérkező jel relatíve széles spektrumú (akár DC...22kHz (192kHz)). Mechanikai okokból viszont fizikai képtelenség volna olyan hangszórót (köznapi szóhasználat: „hangszórót”) gyártani, amely ezt a széles spektrumot egyforma intenzitással, a kívánt 3dB-es eséssel képes volna lesugározni, azaz teljes egészében, linearitás-hiba nélkül hanghullámmá alakítani. Ezért egy helyett kettő, három, vagy akár négy hangszórót, „hang-utat” is alkalmazhatnak egy hangfalban, amely a részsávok számát jelenti.
- Ez esetben azonban adódik a probléma: a szélessávú jelet megfelelő szűrőkkel részsávokra kell osztani, mégpedig az alkalmazott hangszórók képességeinek megfelelő frekvenciatartományokra. Ez újabb nehézséget szül: meg kell oldani, hogy a hangszórók közötti „váltás” egyenletes legyen, azaz hogy a részsávokból összeálló eredő frekvencia-átviteli függvény visszanyerje egyenletes menetét. További tervezési nehézséget okozhat a nem azonos érzékenységű hangszórók alkalmazása, ekkor ugyanis azok érzékenységét is egymáshoz kell illeszteni. Az eredő érzékenység nyilvánvalóan mindig a leggyengébb hangszóró adata lesz. Ezzel azonban még mindig nem ér véget a tervezési nehézségek sora: az egyes hangszórók önálló mechanikai

rezgőrendszerek, és mint ilyenek léteznek sajátfrekvenciája, amellyel gerjesztve kellemetlen és nehezen kontrollálható rezonanciajelenség alakul ki mind elektromos, mind mechanikai szempontból tekintve.

Amiket ebben a pontban leírtam, az mind a keresztváltó feladatai közé fog tartozni. Keresztváltó (crossover) pedig lehet aktív vagy passzív. Aktív rendszerrel jellemzően a mozikban, illetve a drága otthoni high end berendezésekben találkozhatunk. Dolgozatomban passzív keresztváltókat fogok tervezni; ennek részleteit lásd a VII-VIII. fejezetben.

- Esett szó arról, hogy a hangsugárzók önmagukban tekintve is önálló, komplex rezgő rendszerek. Modell-szinten létezik egy tisztán elektromos-, és egy tisztán mechanikus oldaluk; a kettőt pedig ideális átalakító köti egymásba - logikailag. A 22. ábrán látható a dinamikus hangszóró egyszerűsített helyettesítőképe [8]. A szokványos jelölésekből kivehető, hogy mint rendszer, legalább 6 paraméterrel rendelkezik, melyek a következők:
  - $U_g$  – a dinamikus hangszórót meghajtó generátor pillanatnyi feszültsége
  - $R_c$  – a dinamikus hangszóró csévéjének egyenáramú ellenállása
  - $L_c$  – a dinamikus hangszóró csévéjének inuktivitása
  - $T$  – az áttételre vonatkozó konstans
  - $i$  – a hangszóró csévéjén áthaladó áramerősség  
 $T \cdot i = F$ , ahol  $F$  a membránt nyugalmi helyzetéből kitéríteni igyekvő erő.
  - $m_e$  – összes mozgó tömeg
  - $r_e$  – összes mechanikai veszteség
  - $C_e$  – a hangszóró membránjának a kosárhoz viszonyított engedékenysége (compliance). Szintén eredő jelegű paraméter.



22. ábra – A dinamikus hangszóró mechanikai helyettesítő képe

Hangfalak tervezésére, számítására azonban nem ez a paraméterrendszer terjedt el, hanem a fentiekből levezethető, „felhasználásra készebb” Thiele-Small paraméterrendszer. Mivel azonban ennek részletes kifejtésével meghaladnám a dolgozat maximális terjedelmét, engedjék meg, hogy a későbbi tervezéskor csak alkalmazásának eredményeire hivatkozzam. Segítségével számítható a (mélyfrekvenciás hangszóróhoz illő) optimális doboz, valamint függvényei elvi számításokat tesznek lehetővé a produktum átviteli jellemzőit illetően.

A hangdoboz lényege tehát az akusztikai rövidzár megszüntetésén felül az egyes hangsugárzók egy azon rendszerbe illesztése. Az eddigi leírásokat tekintve megállapítható, hogy következésképpen a hangdoboz is egy rezgő rendszer...

Tételezzük fel, hogy az eddigi alapján sikerülne megvalósítani az optimális hangfalat, az optimális doboz, és keresztváltó kivitelezésével. Ez már legalábbis „háromnegyed siker” – mondhatnánk –, de az átviteli út még mindig nem teljes. Az adók (hangfalak) és a vevő (fül)

közötti átviteli közeg ugyanis levegő, amely rugalmassága révén szintén nem elhanyagolható része a hangrendszernek.

A levegő normál nyomása 1013 hPa körüli, de egy mozifilmnyi időszakra mindenképpen konstansnak tekinthető adat. Átvitelkor ehhez adódik hozzá a ráültetett harmonikus hangfrekvenciás hullám, mint információ. A legkisebb „jel”, amelyet a fül érzékelni képes, az a 20 $\mu$ Pa ingadozású harmonikus hullám. Ezt a nyomásingadozás-értéket nevezték el a 0dB-es szintek, azaz hallásküszöbnek. Az ehhez képesti 11 nagyságrenddel nagyobb 130dB-es nyomásingadozás pedig a fájdalomküszöb – ennek érzékelése a vevőre (a fülre) nézve fizikai fájdalommal, és hatásának időtartamától függően akár visszafordíthatatlan halláskárosodással is járhat.

A levegőről ismeretes, hogy bizonyos mértékig összenyomható. Valós rugóként viselkedik, azaz rugóegyütthatója (itt inkább annak reciproka: engedékenysége) az összenyomás függvényében nem lineáris. Ez az átvitel során, mint torzítás jelentkezik. Általánosságában elmondható, hogy annál jelentősebb a légrugó okozta torzítás, minél nagyobb a levegő áramlási sebessége, vagy minél nagyobb a kompresszió mértéke.

### A szoba

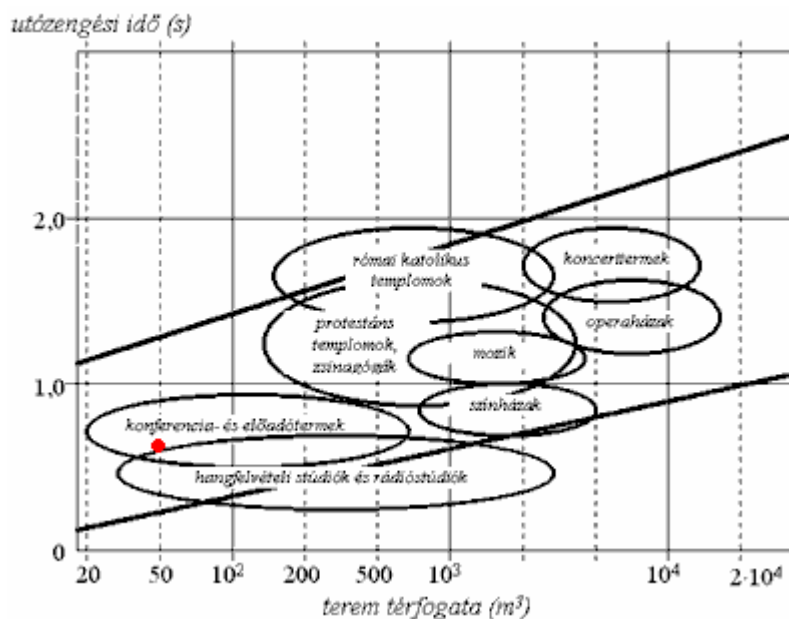
A mechanikai rezgőrendszer következő eleme a szoba. A szoba a hangdobozhoz hasonlatosan szintén rendelkezik rezonanciafrekvenciával, és fizikai paraméterekkel. Ezek közül azonban számomra csak öt érték fontos: az élek arányai (3db), a térfogat, és az utózungési idő.

Fontos, hogy az élek arányai ne legyenek egymás egész számú többszörösei, ez ugyanis (különösen a szoba éleivel összemérhető hullámhosszú) állóhullámok kialakulásának lenne kedvező feltétel. Az állóhullám pedig azért kedvezőtlen, mert „nem mozog”; a dobhártyát csak minimális mértékben hozza rezgésbe, így bár fizikailag teljes nagyságában megjelenik, a fül keveset érzékel belőle – alacsonyfrekvenciás elnyomás jön létre a kialakuló érzetben.

Az utózungési idő ( $T_{60}$ ) az az időtartam, amely alatt az adott szobában pillanatszerűen kibocsátott zajimpulzus intenzitásintéje 60dB-t esik. Ez az adat a gyakorlatban tág határok között ( $T_{60}=0...8,5$  másodperc) mozog, mely érték a szoba/terem/csarnok térfogatával arányban nő. 0 másodperc az ideális süketszoba esete, amikor a vevőbe (fül, mérőmikrofon) érkező jel kizárólag közvetlen hullámokat vesz. A 8.5 másodpercet önkényesen választottam felső határértéknek – tudtommal ugyanis ez a létező maximális, fizikailag létező auditorium, a Notre Dame adata. Az a hanghullám, amelynek intenzitása csak pillanatszerű kibocsátása után 8.5 másodperc elteltével esik 60 dB-t, gyakorlatilag kizárólag visszavert hullámokból áll. Ez az adat nagyon fontos, hiszen meghatározza az adott szoba/terem/csarnok akusztikai szempontból felhasználási lehetőségeit. A 23. ábra gyakorlati értékhatárokkal ismerteti az utózungési idő, az auditorium térfogata és felhasználhatósága közötti viszonyt.

Ami dolgozatomat illeti, a 23. ábra szerint az 50m<sup>2</sup>-es hallgatósobám utózungési idejét 0,3-0,9 másodperc közötti értékre kell beállítani.

Valójában egy jó közelítésekkel 345 x 520 x 264 centiméteres, vasbeton-panel falú szobáról van szó. Nyersen, azaz berendezési tárgyak nélkül (a beton glettelve és festve), meglehetősen jó zengőszobát eredményezne, jó közelítéssel 4,7 másodperces utózungési idővel. Ehhez az állapothoz képest egy „belakott szobáról” van szó; tapéta van a falakon, függönyök, és egyéb, a szobában található berendezési tárgyak csökkentik a szoba utózungési idejét. A kérdés csupán az, hogy vajon a megfelelő mértékűre, vagy esetleg beavatkozás lesz szükséges az adat további csökkentése érdekében. Ha a következő számítások úgy adnák, hangelnyelő felületeket kell majd elhelyeznem a szobában az optimális mozi-hangzás érdekében.

23. ábra –  $T_{60}$  és a terem felhasználhatósága

A számítások előtt azonban vizsgáljuk meg a szoba egyéb adatait:

- Esett szó arról, hogy kerülendők az olyan szobák, amelyeknél az alapterület élének aránya egymás egész számú többszöröse. Esetemben ez a kritérium sajnos csak részben teljesül:  $520:345=1,507$ ;  $345:264=1,307$ ;  **$520:264=1,969$** . Ez azt jelentené, hogy a szobához képest hosszanti irányú, megfelelő abszorpció nélkül létrejönne a fent kifejtett jelenség. Az egyik oldalfal viszont teljes szélességében dupla függönnyel takarható; a függönyök mögött pedig még 20 centiméter távolságban van a fal, azaz a csillapítóanyag mögött még levegőréteg is maradt. A függönyök – különösen a vastagabbik – jelentős abszorpciós tényezővel rendelkezik, valamint kiterjedése is jelentős. Összességében elmondható tehát, hogy állóhullámokra valószínűleg nem kell számítanom.
- A betonpanel merev, masszív anyag. Ez jó abból a szempontból, hogy nem fog deformálódni, ha hanghullámok érkeznek rá, azaz nem kell újabb rugó-jellegű taggal bővítenem a mechanikai modellt; ugyanakkor rossz is, mert tömörsége és sűrűsége révén nagyon jól vezeti a hangot. Ez az én szempontomból annyit jelent, hogy ha éppen fúrják a falat bárhol a háztömbben, annak hangélményéből én is részesedni fogok, mégpedig esetleg éppen egy 5.1 csatornás magyar szinkronnal rendelkező film nézése közben.
- A betonfalakon érdes tapéta található, amely önmagában meglehetősen sovány csillapítóanyag, de így is jobb, mintha egy egyszerű festékréteg volna. Ez No1-hez hasonlatos (ragasztott csillapítóanyag) technikának felel meg, de a hátsó falon ez esetleg kevés lehet...
- Saját zaj. Áll egyszer a zárt térben lévő számítógép ventillációiból, a házimozi-erősítő leendő automatikus hűtéséből, illetve a nyílászárók által a környezetből származó zajokból. Ezek közül valójában csak a számítógép hűtése lesz hallható, bár abban is minden melegedő alkatrész a leghalkabb, de megfelelő mértékű hűtést kapta.

#### Az utözengési idő számítása

Az ideális megoldás a mérés volna, de műszer hiányában kénytelen vagyok számítani az utözengési időt. Az utözengési idő a 10. táblázat közelítő adatai alapján került kiszámításra, Sabine és Eyring formulák szerint egyaránt.

No	Megnevezés	Domináns anyag	Abszorpcióban résztvevő felület (S)	Dom. anyag csillapítási tényezője (1kHz) ( $\alpha$ )
1	Nappali függöny	ritka szövésű textil	15,600 m <sup>2</sup>	0,05
2	Sötétítő függöny #1	sűrű szövésű textil	3,600 m <sup>2</sup>	0,32
3	Sötétítő függöny #2	sűrű szövésű textil	4,950 m <sup>2</sup>	0,32
4	Hátsó fali tapéta	Nehéz tapéta	6,865 m <sup>2</sup>	0,07
5	Elülső fali tapéta	Nehéz tapéta	5,492 m <sup>2</sup>	0,07
6	Fotelek (2db összesen)	Kárpit	1,998 m <sup>2</sup>	0,7
7	Kanapé	Kárpit	2,223 m <sup>2</sup>	0,7
8	Plafon	Festett	17,940 m <sup>2</sup>	0,02
9	Szőnyeg absz. r.v.fel.	sűrű textil, gumihab hát.	10,764 m <sup>2</sup>	0,29
11	Oldalsó fali tapéta	Nehéz tapéta	5,000 m <sup>2</sup>	0,07
12	Üveglapos, függönyözött ajtó	Üveg	1,184 m <sup>2</sup>	0,08
13	Bútor#1	Fa	2,041 m <sup>2</sup>	0,04
14	Bútor#2 - 3 elemű	Fa	5,380 m <sup>2</sup>	0,04
16	Számítógépasztal (mindennel berendezve)	fa, műanyag	1,000 m <sup>2</sup>	0,09
17	Nagyasztal	Fa	0,960 m <sup>2</sup>	0,04
18	Dohányzóasztal	Fa	0,600 m <sup>2</sup>	0,04

10. táblázat – Az utózengési idő számításához használt adatsorok

A végeredmény az alábbi: Sabine formula szerint számítva  $T_{60}=0,66$  sec; Eyring formula szerint számítva:  $T_{60}=0,44$  sec. (23. ábrán piros ponttal jelölve.) Fontos megjegyezni, hogy mindkét számítási elv empirikus, és elvi hibák is mindkettővel kapcsolatban előfordulnak; nem tekinthető tehát kirívónak a két formula eredményei közötti eltérés. Mindkét érték a célul kitűzött 0,3-0,9 másodperces határok közé esik. Elfogadottnak azonban egyiket sem tekinthetem, mivel a fenti táblázat adatai – mind S, mind  $\alpha$  – széles határok között szórnak. A valós érték valahol a két számított érték között helyezkedik el, annyi azonban kijelenthető, hogy a szoba utózengési ideje megfelelő.

Diszkusszióként megemlíthető, hogy a 0,3-0,9 másodperces szélső értékek hangzásbeli eredménye az alábbi volna:

$T_{60}=0,3$  másodperc alatt kényelmetlenül eseménytelennek tűnik a szoba. A hallgatóhoz képest hátulról érkező beszéd érthetősége rossz; a hátulról érkező zene mélyfrekvenciákban erősen csillapítottan tűnik.

$T_{60}=0,3$  másodperchez közeledve javul a beszédérthetőség, de továbbra is „steril, süket” hatású a zenei anyag.

...

$T_{60}=0,9$  másodperchez közeledve ismét romlani kezd a beszédérthetőség, érezhető visszhangosodás jelenik meg mind a zenében, mind a beszédben.

$T_{60}=0,9$  másodpercet egyre elhagyva tovább romlik a beszédérthetőség; a zene pedig saját ritmusához képest is kezd szétesni.

Házimozihoz éppen a kettő közötti optimum kell, hiszen a film körülbelül egyenlő arányban tartalmaz dialógokat, és háttérzenét.

### III. fejezet – Ki- és bemeneti fokozatok megtervezése

#### Követelmények a tervezendő rendszeremmel kapcsolatban

Az eddigiek során olvasóm szükséges mélységében megismerhette azokat az elveket, elméleteket, amelyek betartása kötelező vagy legalább ajánlott egy házimozsi-szobára, és egy házimozsi hangrendszerre vonatkozóan. Mindezen információk felhasználásával most megfogalmazom a tervezendő rendszeremmel szemben támasztott alapvető kívánalmakat, mint cél-specifikációt:

- Rendszerem legyen alkalmas sztereo vagy surround-kódolt kétcsatornás zenei-, valamint legfeljebb 5.1 csatornás (film) hanganyag lejátszására is. Ehhez két üzemmódot vezetek be: a „Zene”, és a „Kiterjesztett/Film” üzemmódot.
- Kiterjesztett üzemmódban a rendszer sztereo bemenő jelből is teremtsen valamiféle térélményt, valamint kezelje a megfelelő módon, ha a beérkező hanganyag surround-kódolt.
- Surround dekódere nélkülözze a bonyolult és drága digitális jelfeldolgozást, implementációja legyen minél egyszerűbb, lehetőség szerint teljesen analóg. A dekóder csatornaszeparációja legyen minél jobb.
- Kétcsatornás aszimmetrikus bemenetek legyenek az alábbiak:
  - CD/MD line in
  - Kazettás deck line in
  - Számítógép line in
  - VCR (illetve sztereo televízió-tuner) line in
  - Phono
  - Mikrofon
  - Illetve fentiekben felül egy line in szintű vendégcsatorna
- 6 csatornás hangforráson alapvetően kétféle lesz: DVD-ről a már megismert multiccsatornás szabványú hangok, illetve a számítógépről származó DivX tömörített filmek AC3 kódolt, sokcsatornás hanggal. (6 csatornás hangkártyán keresztül, vonal-szintű kimeneten). Szükségem lesz ezért egy 6 független csatornát fogadni képes bemenetre is.

Ez összesen nyolcféle bemenet, melyből 7db sztereo, és 1db 5+1 csatornás. Legyen a bemeneti fokozat feladata a megfelelő műsorforrás kiválasztása, a választott bemenet mindig legyen egyetlenként kiválasztott. 8 választási lehetőség 3 bittel tökéletesen leírható lesz.

Minden egyes típusú bemenethez a megfelelő fogadófokozat szükséges, mint például egy mikrofonerősítő, egy phono fokozat, vagy csak egyszerű szint-illesztő hálózatok.

- A rendszer előlapja legyen átlátható, kezelése legyen egyszerű, és minél nagyobb mértékben digitális. (=Legyen távvezérlés-kompatibilis – nem képezi jelen dolgozat részét)
- A rendszer torzítása és saját zaja legyen minimális, valamint frekvenciamenete essen minél közelebb a lineárishoz – ahol szükséges, akár korrekortfokozatok árán is.
- Kimenete legyen 1x6 csatorna, melynek szintjei – mint egyszeri beállítás – egymáshoz képest legyenek egyenként balanszírozhatók, ugyanakkor közös vezérlésük is legyen megoldott, és digitális.

A folytatásban ezeknek először blokkvázlati, majd áramköri megoldásával foglalkozom.

## 1, Bemeneti fokozatok

### Anti RIAA-fokozat

1953-ban a **Recording Industry Association of America** korrekciós eljárást vezetett be a kor felkapott médiumának, a bakelitlemezek felvételéhez. Az eljárás lényege röviden: a mélyfrekvenciás tartományt elnyomni, a magasfrekvenciás tartományt pedig kiemelni. Mindkettőre a mechanikai lejátszási elv miatt volt szükség: a mélyfrekvenciás elnyomás kisebb barázdamélységet tett elégséggé, a magasfrekvenciás kiemelés pedig csökkentette a kényszerűen létrejövő tú-zajt. A korrekció során (azaz a felvételi oldalon) elkövetett korrekció pontos függvénye az alábbi:

$$dB = 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 t_1^2} \right) - 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 t_2^2} \right) - 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 t_3^2} \right) - 10 \log_{10} (1 + 4\pi^2 f^2 t_4^2)$$

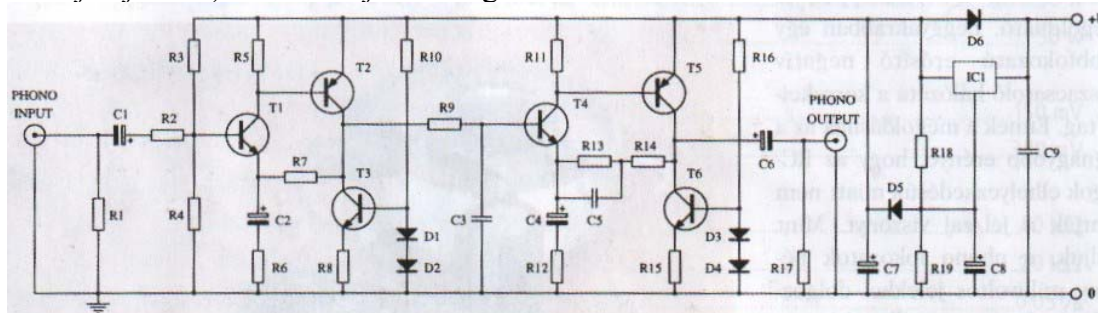
24. ábra – RIAA korrekciós függvény

forrás: [25]

, ahol  $t_1=75\mu\text{s}$ ;  $t_2=318\mu\text{s}$ ;  $t_3=3180\mu\text{s}$ . 1976-ben a görbe IEC szabványosításakor a hivatal egy újabb taggal toldotta meg a függvényt még egy,  $t_4=7950\mu\text{s}$  időállandót bevezetve.

Mint látható, a függvény meglehetősen bonyolult, így igencsak nehézkes annak minél precízebb követését áramkörökkel megvalósítani. Annak inverzét pedig legalább ilyen bonyolult megvalósítani, bemeneti fokozatomba pedig éppen ez lesz szükséges, amennyiben megfelelő minőségben szeretném élvezni a bakelitlemezek hanganyagát. A bakelitlemez támogatása alapvetően csak mint érdekesség került a rendszerbe; azért, mert kíváncsi vagyok arra, hogy kinyerhető-e valamiféle térélmény a bakelitlemezek műsorából a következő fejezetben megtervezésre kerülő származtató-áramkörrel. További oka a bemeneti fokozatok közé kerülésének, hogy a *Hang&Technika* c. folyóirat 3. (1999 május-júniusi) számában megjelent egy anti-RIAA áramkör, amely kiváló adataival és egyszerű de nagyon megfontolt felépítésével felkeltette a figyelmemet; olyannyira, hogy következő hónapban meg is épült. Korábban is foglalkoztam már a hanglemez-korrektor megépítésével, mégpedig egy ismerősöm felkérésére, de az eddig megépült áramkörök egyike sem aratott osztatlan sikert – a kívánt frekvenciamenetet többnyire egyiknek sem sikerült eltalálnia, amelyiknek pedig igen, az dinamika-, és áthallás-problémákkal küszködött. Az újságban bemutatott áramkör azonban azt kell mondjam, maximálisan beváltotta a hozzá fűzött reményeket – gyönyörű, tiszta, és erőteljes hangjával megválasztottam AZ egyetlen korrektorerősítőnek, amelynél érdemlegesen jobbat készíteni valószínűleg egyelőre nem volnék képes.

Fenti okok miatt kérem nézze el nekem dolgozatom olvasója, hogy ezúttal nem saját tervezésű anti-RIAA-korrektort alkalmazok a konstrukcióban! A 25. ábrán látható áramkör elvi kapcsolási rajza Borbély Ernő munkája. A kapcsolás a *Hang&Technika* c. folyóirat 3. (1999 május-júniusi) számában jelent meg.



25. ábra – A Borbély Ernő-féle RIAA-korrektorerősítő



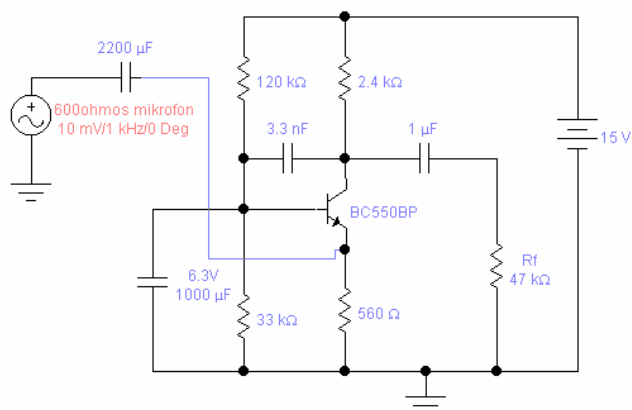
A tervező által kivitelezett kapcsolás publikált műszaki adatai:

- $Z_{in}=47k\Omega$ ;  $Z_{out}=150\Omega$ ;  $A_u=37dB$ ;  $THD=0,002\%$ ;  $S/N=78dB$ , áthallási csillapítás:  $68dB$ . (Minden adat  $U_T=30V$ ;  $I_0=12mA$ ;  $f=1kHz$ ,  $U_{be}=4mV$  feltételek mellett mérve.)
- $U_{bemax}=80mV$ ; ekkor  $THD=0,05\%$
- Átviteli karakterisztikájának eltérése a névleges RIAA függvényétől:  $\pm 0,2dB$ , a  $2Hz\dots 200kHz$  tartományon,  $4mV$  bemeneti feszültség mellett.

### Mikrofonerősítő

A 26. ábrán látható mikrofonerősítő egy egyszerű földelt bázisú alapkapcsolás. Tranzisztora egy BC550C típusú NPN, epitaxiális, szilícium, kiszajú típus. A típusmegjelölés utáni „C” megkülönböztetés a  $h_{21}$  paraméter osztályozására utal, mely ez esetben 420 és 800 között szór.

A közös bázisú fokozat bemenete a tranzisztor emittora, kimenete pedig a kollektorpont. A munkapont az alábbi:  $I_0=100\mu A$ ,  $h_{21}\approx 400$ ,  $I_E=4mA$ ,  $I_B=10\mu A$ , a bázisosztó 4:1 arányban osztja a feszültséget. Az ezen paraméterek beállításához szükséges ellenállásértékek az ábráról leolvashatók. Ilyen feltételek mellett, vezérlés nélkül, a bemeneti pont  $2,4V_{DC}$  egyenfeszültségen, a kimenet pedig  $5,4V_{DC}$  egyenfeszültségen van.



26. ábra – A mikrofonerősítő elvi kapcsolási rajza

A bemenet munkaponti egyenfeszültsége károsítaná a mikrofont, ezért azt egyenáramúlag le kell választani. A becsatoló kondenzátor értéke  $2200\mu F$ , amely a kapcsolásnak egy  $11Hz$ -es alsó határfrekvenciát ad, alatta pedig  $20dB/dekád$  meredekséggel esik a feszültségerősítés. A szokatlanul magas értékű kondenzátorra a kis bemeneti ellenállás miatt van szükség. ( $R_{be}\approx r_e=U_T/I_E=26mV/4mA=6,5\Omega @20^\circ C$ )

A kimenetet is célszerű leválasztani a következő fokozatokkal való kompatibilitás érdekében: a kicsatoló kondenzátor választott értéke  $1\mu F$  – ez egy újabb,  $3,4Hz$ -es alacsonyfrekvenciás töréspontot ad. ( $R_{ki}\approx R_C \times R_f=2.4k\Omega \times 47k\Omega \approx 2.4k\Omega$ ) Elmondható tehát, hogy  $3Hz$  alatt már  $40dB/dekád$  meredekséggel esik a feszültségerősítés mértéke.

Az átvitelnek felső határt szab a tranzisztor kollektora és bázisa között alkalmazott  $3.3nF$  kondenzátor, mely a Miller-elv értelmében a feszültségerősítés függvényében áttételesen tükröződik a tranzisztorra, mint  $C_{BE}$ , és  $C_{CE}$ . A kapcsolás elvi felső határfrekvenciája ezzel az elemmel együtt  $23kHz$  lesz. A HPF-jelegű szűrés azért fontos, mert a BC550C tranzisztor  $300MHz$ -en még üzemszerűen működik, a mikrofonerősítő pedig a leírt feltételekkel nagy, körülbelül  $49dB$ -es feszültségerősítéssel bír. Ha nem kerülne a bemenetere jel (nincs rákötve mikrofon, vagy az le van kapcsolva), akkor a környezet zavarait erősítené, ez pedig nemkívánatos jelenség – a sávzélességet tehát alapvetően ezért korlátoztam le.

További zavarvédelem céljából a kivitelezés során a mikrofonerősítő fokozat külön, stabilizált, szűrt tápfeszültséget, és fémdoboz-árnyékolást fog kapni.

A kapcsolás legfeljebb  $10\text{mV}_{\text{eff}}$  bemeneti jelet képes jelentősebb torzítás nélkül feldolgozni – kimenetén ekkor  $2,82\text{V}_{\text{eff}}$  jelenik meg. Megjegyzendő, hogy  $10\text{mV}_{\text{eff}}$  bemeneti jelet csak nagyon kivételes esetekben fog kapni a mikrofon. A bemeneti jel jobbára a párszor száz  $\mu\text{V}_{\text{eff}}$ -os tartományban fog mozogni.

#### A többi bemenet

➤ CD/MD bemenet – Compact Disc, és Mini Disc lejátszók vonalszintű kimenetének fogadására fenntartott csatorna. Tekintve, hogy a vonal-szint szabályozhatóság nélküli, 2V-ot peak-to-peak feszültség szintet jelent, a bemeneti fokozatban muszáj lecsökkenteni ezt a feszültség szintet azért, mert előfordulhat, hogy a további fokozatok (IC-k és tranzisztoros fokozatok) nem lesznek képesek ekkora jelszintet kezelni. A 28. ábrán látható módon egy egyszerű, ohmos feszültségosztó fogadja ezt a bemenetet. A két ellenállás értékei az ilyen típusú jelekhez megszokott  $R_1=10\text{k}\Omega$  és  $R_2=12\text{k}\Omega$ . Eredő ellenállásuk  $22\text{k}\Omega$  csatornánként, azaz ekkora bemeneti impedanciát fog „láttni” az erősítő bemenetén a CD- vagy MD-lejátszó.

➤ Kazettás deck bemenet – Kiválasztásakor az erősítő külső forrásként egy kazettás deck jelét fogadja. A deckek kimenete szinte minden esetben szint-szabályozott, ami a gyakorlatban azt jelenti, hogy a szalag korrigált frekvenciamenetű, felerősített jele egy potenciométeren át kerül a kimenetre; jobb deckeken kivezérlés-monitorozással segítve a kívánt kimeneti szint beállítását. Az én erősítőmbe óvatossági szempontból a jelútba kerül egy  $560\Omega$ -os ellenállás, mely – ha a későbbiek folyamán ennek hátrányát látnám –, jumperrel rövidre zárható.

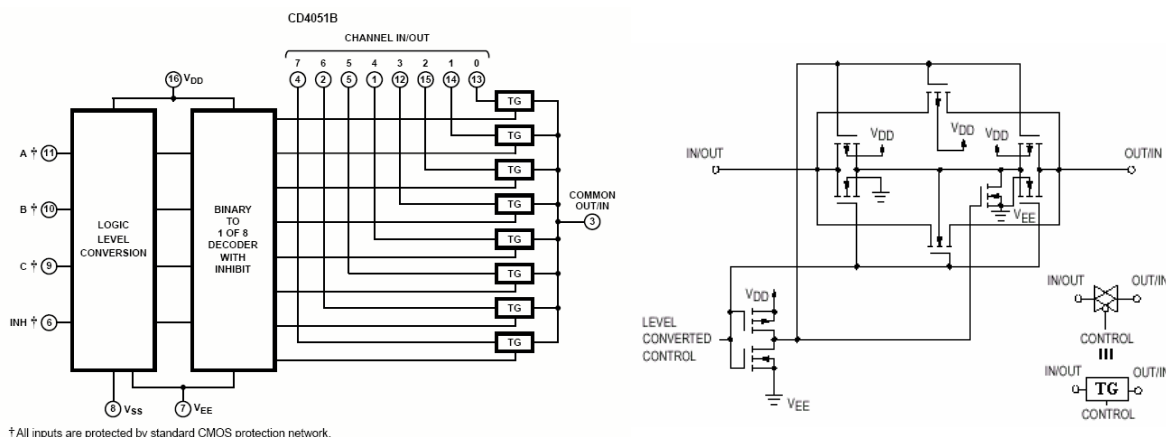
➤ Számítógép-bemenet – Tekintve, hogy a hangkártyákon gyakorlatilag minden állítható, nem látom értelmét védőellenállásnak – ez a bemenet tehát csillapítatlan becsatolású.

➤ VCR bemenet – a különféle videóknak tapasztalataim szerint megvan az a nagy hátrányuk, hogy ki- és bekapcsoláskor pillanatszerű áramimpulzust adhatnak ki a kimeneteiken. E megfontolásból egy impulzuskisütő RC-tag, valamint egy soros védőellenállás fogadja a VCR-ek audiojelét.  $R_1=2.2\Omega$ ,  $C_1=10\mu\text{F}$ , és  $R_2=560\Omega$ . Ezek olyan értékek, amelyek hatékonyak az impulzusszerű áramlökésekre, de a szinuszos jelátvitelt érdemben nem módosítják.

#### Analóg MPX/DMPX fokozatok

A következő egység a kapcsolófokozat. Kapcsolók helyett CMOS transzmisszió gate-ekből felépülő analóg multiplexer/demultiplexer áramköröket alkalmazok. Ennek két oka van. Egyfelől sajnos rossz tapasztalataim vannak a kereskedelemben kapható hagyományos, mechanikus elven működő kapcsolókról. Nem elég, hogy az ide esetlegesen megfelelő kétáramkörös, nyolcállású forgókapcsoló meglehetősen nehezen beszerezhető, annak minősége (F.I.T. értéke) egyszerűen kritikán aluli. (Tapasztalatból szóltam...) Másfelől kikötés volt a rendszerrel kapcsolatban, hogy legyen (későbbi) távvezérléssel kompatibilis; ez pedig úgy valósítható meg legegyszerűbben, ha a kapcsolófokozat digitális jelekkel vezérelhető. Ideális megoldás ennek megvalósítására a 4051-es integrált áramkör alkalmazása.

A komplementer MOS tranzisztorokra épülő integrált áramkör egy analóg multiplexer/demultiplexer megvalósítása. Logikai diagramját és kapcsolóelemét mutatja a 27. ábra.

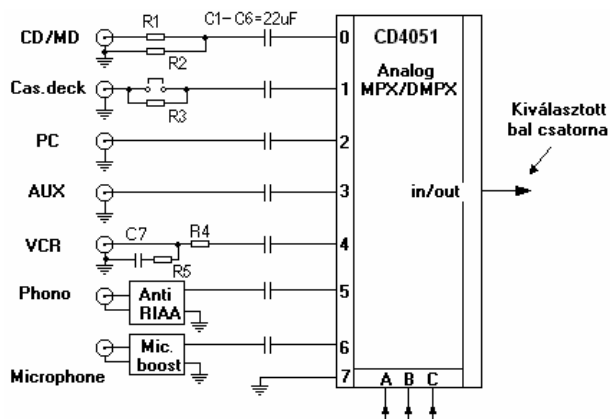


27. ábra – A CD4051 integrált áramkör logikai diagramja, és egy kiragadott kapcsolóeleme forrás: Natinoal Semiconductors katalógus (PDF-fájl)

A 4051 áramkör három címző-, és egy inhibit (beavatkozás, letiltás) bemenettel rendelkezik. Bemenetei logikai konverziót tartalmaznak további fokozatainak vezérléséhez. Ez azért szükséges, mert a kapcsolófeszültség logikai „magas” értéke az alkalmazott IC gyártójától és a gyártmány aktuális tápfeszültségeitől függően tág határok, 3VDC...15VDC között lehetséges. Esetemben stabilizált, zavarszűrt ±15VDC-ről fogom üzemeltetni az integrált áramkört. Az ehhez tartozó specifikáció az alábbi:

- Maximális kapcsolható analóg jel: 15Vp-p
- $R_{on} =$  ~80 Ω
- $I_{off} =$  ~10pA (szivárgási áram)
- Logikai alacsony szint: 0V... 4V
- Logikai magas szint: 11V...20V
- THD: ezen feltételek mellett tip. 0,04%
- Sávszélesség: 40MHz

A bemeneti fokozat az eddig leírtak alapján logikailag a 28. ábra szerint néz ki (csak a bal-  
oldal mutatva):



28. ábra – A bemeneti fokozat logikai diagramja

A bemeneti fokozat vezérlése

A CD4051 logikai vezérlőjébe befutó inhibit-bit (aktív: logikai magas szintre) letiltja, kikapcsolt állapotba helyezi az összes kimenetet. A szintén e fokozatba beérkező digitális **A**, **B**, és **C** jel hárombites kódszót alkotnak, az említett sorrendben  $2^0$ ,  $2^1$ ,  $2^2$  súlyozás szerint. A kódszó BCD kódú, és mint decimális sorszámhoz tartozó kimenetet aktivizálja.

11. táblázat – A 4051 igazságtáblázata  
(X: don't care érték)



A sorszámozott kimenetekhez sorra rendeljük hozzá a bemenetről érkezett (intenzitás szintben helyreállított) jeleket:

0 := CD/MD;                      4 := VCR;  
1 := Kazettás deck;            5 := Phono;  
2 := PC;                            6 := Mikr. bem.;  
3 := Vendégcsatorna;

Bemenetek				Bekapcsolt kimenet sorszáma
inhibit	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	x	x	x	Egyik sem

az IC 7-es számú bemenete pedig legyen földelve – ennek jelentőségét a későbbiek során ismertetni fogom.

Alapvetően tehát ezt a vezérlést kell megvalósítanom, BDC kódban kell „megküldenem” az IC számára az egyetlen aktiválendő, bekapcsolandó bemenet sorszáma. Az előlapon kapjon helyet nyolc darab pillanatkapcsoló, ezekhez rendeljük hozzá a lehetséges jel-bemeneteket, és azok sorszáma. A cél az, hogy ha megnyomjuk például a 4-es számú nyomógombot, a CD4051 kapcsolja a kimenetére a VCR-ből beérkező jobb és bal csatorna jeleit, de csakis azokat, azaz a kapcsolással egyidőben deaktiválja az összes többi bemenetet, függetlenül attól, hogy mi volt az előző állapot. (Egyszerűen fogalmazva egy izosztát-kapcsoló-jellegű működést kell megvalósítanom digitális eszközökből.)

Ha a nyolc pillanatkapcsoló egyikét megnyomják...

→ a kapcsolt állapot tárolódjon el. Ez nyolc darab tárolót jelent az áramköri megoldáshoz.

→ A kapcsoló megnyomásával a megnyomott gombhoz tartozó tároló kivételével az összes többi tároló reseteljen, a megnyomott gombhoz tartozó tároló pedig álljon logikai magas szintre.

→ Mindezekon felül a „történekről” a felhasználó kapjon visszajelzést – választását jelezze világítódiodó az előlapon.

→ Később kifejtett célokból ez a vezérlőfokozat állítson elő egy **D** jelet, melyre logikailag legyen igaz, hogy  $D=A \& B \& C$ .

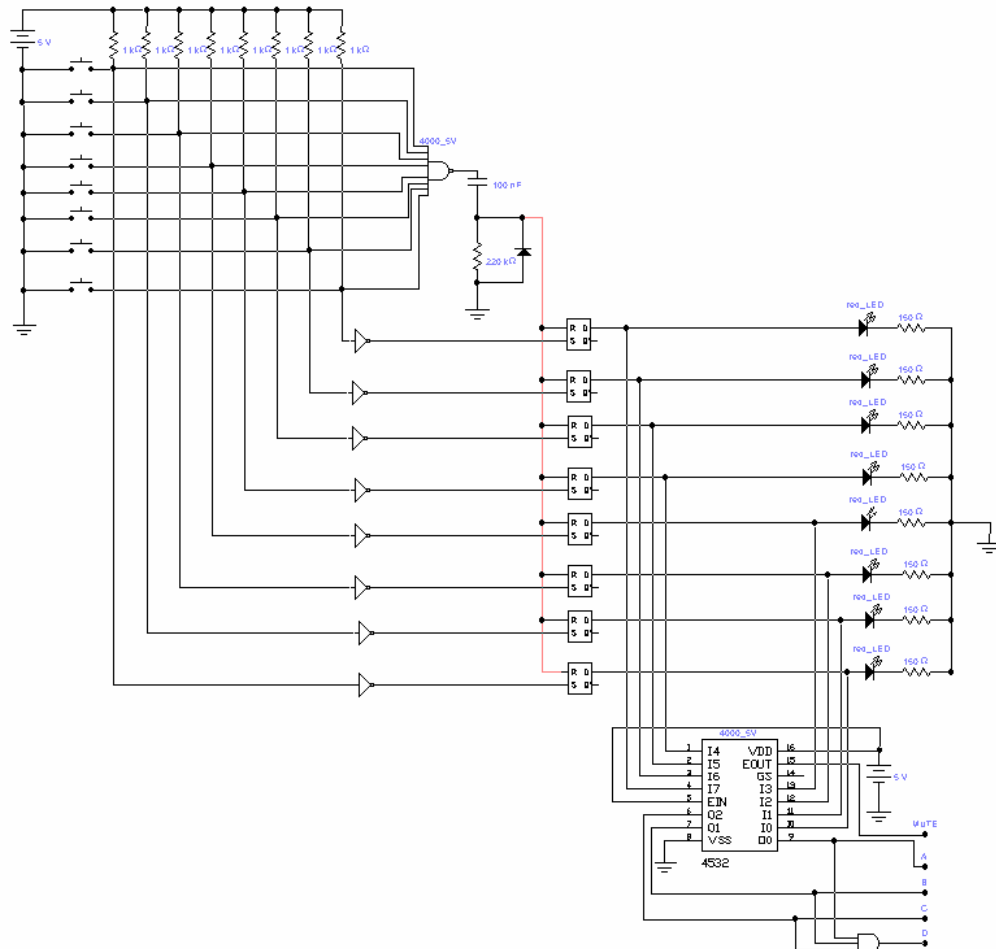
Ezeket a követelményeket valósítja meg a 29. ábrán látható kapcsolás.

### Az áramkör működése:

A fent leírt logikát a könnyebb és célszerűbb gyakorlati megvalósítás szempontjából kétszer negáltam. Ez a működést semmiben sem befolyásolja, viszont lehetővé teszi, hogy – az egyébként nem létező 8 bemenetű, CMOS rendszerű OR kapu helyett – negált bemeneti logikával működő NAND kaput alkalmazzak.

A tápfeszültség bekapcsolásakor az 1kΩ-os felhúzóellenállás hatása miatt a CD4000 (8 bemenetű CMOS NAND kapu) minden bemenetére logikai magas szint kerül. Kimenete ekkor logikai alacsony szinten tartózkodik, csakúgy, mint az összes RS-tároló set-bemenete, az inverterek révén. A tárolók reset bemenete is alacsony logikai szinten van, hiszen a NAND kapu kimenetét a közös reset bemenettől egy sztatikusan szakadásként viselkedő kondenzátor választja el, illetve 220kΩ-os ellenállás „húzza” a földre. Elmondható tehát, hogy az összes tároló RS=00 állapotban tartózkodik, azaz tárol; mégpedig előző állapot híján logikai

alacsony szintet. Ekkor a tárolók Q kimenetére kötött LED-ek egyike sem világít; az 4532 jelű prioritásenkóder kimenetein az  $ABC=000$  állapot jelenik meg.



29. ábra – A bemeneti fokozat digitális logikai vezérlője

Aktív azonban az EOUT jelű kimenete, amely akkor hivatott jelezni, ha (a 0-7-ig számozott) egyik bemenetére sem érkezik logikai magas szint. Az EOUT kimenetet épp ezért a CD4051 engedélyező bemenetére kötöm, mint elnémító (MUTE) funkciót. Mindez azt jelenti, hogy a bekapcsolás után felhasználói beavatkozásra fog várni a bemeneti fokozat logikai áramköre; arra, hogy a felhasználó eldöntse, melyik bemenetet szeretné aktívvá tenni, azaz melyik forrás műsorát kívánja hallgatni.

A manapság kereskedelemben kapható készülékek nem így gondolkodnak, hanem kikapcsoláskor megjegyzik, hogy a felhasználó melyik bemenet műsorát hallgatta legutóbb, majd újbóli bekapcsoláskor ugyan azt a forrást teszik aktívvá. Mi történik azonban, ha a felhasználó korábban mondjuk a videócsatorna hangját hallgatta az erősítőjén, és következő bekapcsoláskor inkább a lemezjátszóját szeretné? Ha kellően figyelmetlen, akkor bizony hangorkán lesz az eredmény... A VCR-en induló erősítő ugyanis mit sem sejtve figyelmetlen felhasználója szándékáról, nem a jellemzően kis jelszintű phono bemenetet, hanem az előző állapotot, azaz a nagy jelszintű videót állította be forrásnak. Még egy baleseti lehetőség: vegyük fenti esetet fordítva: előző állapot a phono bemenet, a hallgatni kívánt csatorna a videó műsora; a lemezjátszó pedig legyen kikapcsolva. Ez esetben figyelmetlen bekapcsoláskor a phono-fokozat korrektorerősítője nem a pick-up jelét, hanem mindenféle környezetből érkező zavarokat fog jelentősen felerősíteni... Megoldásom tehát ezeket a hibákat küszöböli ki, erősítve a készülék robusztusságát.

Visszatérve a fenti áramkör működésére, nyomjunk meg egy gombot; legyen mondjuk a 0-ás sorszámú. A nyomvatartás ideje legyen kb. 300ms, melyet elengedés követ. A NAND kapu kimenetén ez a folyamat egy  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 0$  logikai szint-ugrást, illetve az alkalmazott  $\pm 15$  voltos tápfeszültségnek megfelelően  $0V \rightarrow 15V \rightarrow 0V$ -os feszültségugrást jelent. A kapu kimenetén jelformáló tag található, mely egy kis időállandójú differenciáló RC-tagból, és egy vágódiódából áll. A jelformáló tag differenciáló része a két feszültségugrás időpillanataiban egy pozitív és egy negatív tüske-jelalakot hoz létre, melyből a dióda a negatív tüskét levágja. Elmondható tehát, hogy a gombnyomás pillanatában a jelformáló tag kimenetéről egy kis ideig tartó 15 voltos impulzus kerül az összes RS-tároló reset bemenetére. A tüske lecsengése körülbelül 20ms – ez éppen elég idő arra, hogy a resetelés végbemenjen. Tekintve azonban, hogy a 20 ms leteltével a gomb (a példa szerint) még 280ms időtartamig nyomva van, a nullás sorszámhoz tartozó RS-tároló set bemenete logikai magas szintet kap, és a reset-jel végeztével ebben az állapotában is marad. Ezek hatására a nullás sorszámú LED-en áram folyik; világítani kezd. Mivel a prioritáskóder bemenetére ezúttal érvényes kódszó érkezett, EOUT kimenete inaktívvá válik, ezzel megszüntetve az elnémitás funkciót, valamint ezzel egyidőben aktívvá válik a 7-es sorszámú kimenete. Erről még nem esett szó, de a 4532-es prioritáskóder igazságtáblázata alapján a sorszámozás logikailag éppen fordított: a 0-ás kódszó esetén a 7. kimenete, 1-es kódszó esetén a 6. kimenete, és így tovább aktivizálódnak. Ez azonban semmi egyebet nem fog jelenteni, mint némi NY.Á.K.-tervezési nehézséget, és egy kis plusz odafigyelést kivitelezéskor.

Megjegyzendő továbbá, hogy ebben a megoldásban a 4532 prioritáskóder-mivoltát nem használom ki. Prioritásnak két, vagy több aktív bemenet esetén volna értelme, itt azonban nem fordulhat elő olyan helyzet, amikor egynél több bemenet volna kiválasztva.

A komplett rendszerhez a fent bemutatott logikai vezérlőből egy darab, míg a bemenetválasztó kapcsolófokozatból értelemszerűen két darab szükségeltetik (a jobb, és bal csatornák jeleinek kapcsolásához). A két kapcsolófokozat vezérlése közös.

A megoldás további előnye, hogy a kívülről csatlakozó eszközök, a rendszer bemenetein MOSFET-es fokozatot „látnak”, melyek zárt állapotban nagy impedanciát képviselnek.

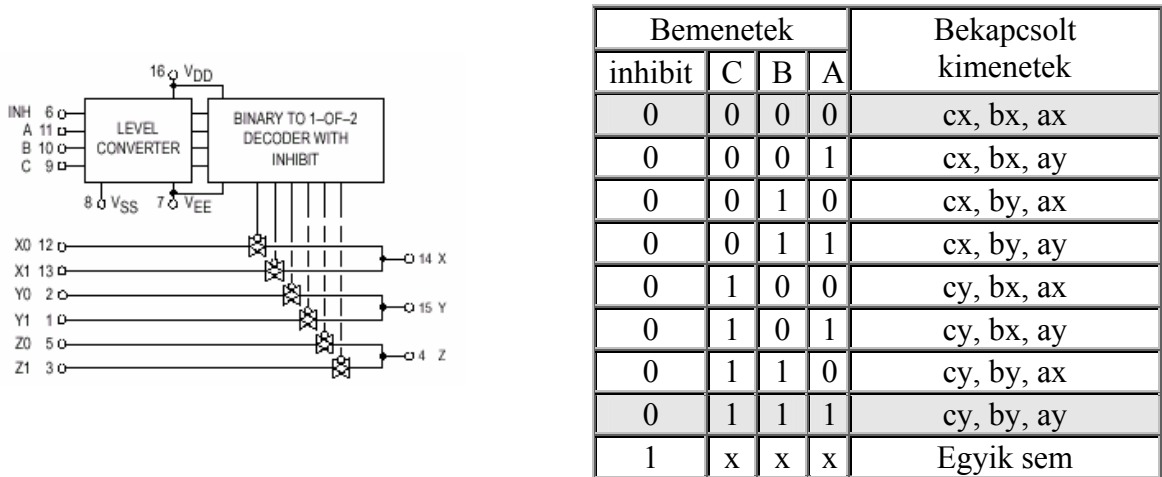
Az eddig leírtak csak a kétsatornás bemenetekkel foglalkoztak; rendszerem azonban tartalmaz egy szintén kiválasztható, hat független csatornát fogadni képes bemenetet is. A továbbiakban erről lesz szó.

A függelék 1. számú mellékletében nyomon követhető a teljes rendszer logikai kapcsolási diagramja. Mint látható rajta, a fent leírt bemenetválasztó áramkör kimenete, a kétáramkörös relével bypassolható MyLogic dekóderre kerül. A dekóder két bemenettel és öt kimenettel fog rendelkezni, a későbbiek során leírt működési elv szerint. A következő, bemenetválasztó fokozat felé tehát abban az esetben is öt jelág halad tovább, ha a bypass funkció a dekóder körül aktív, és valójában csak kétsatornás műsor került kiválasztásra. Az öt jelágból ekkor kettőn a kiválasztott forrás jobb és bal csatornája található meg, a többi három (C, S, és LFE) pedig néma, azaz műsort nem közvetít. Amennyiben azonban a MyLogic dekóder aktív, akkor mind az öt kimenet aktív, amelyeket a végerősítők felé ki kell kapuzni.

A következő kapcsolófokozat feladata tehát ez lesz, nevezetesen kapcsolni az erősítők felé vagy a MyLogic kimeneteket, vagy pedig a rendszerbe kívülről érkező hatsatornás forrást. Ez utóbbi lehet „asztali DVD-lejátszó” Dolby-dekódolt, analóg, vonal-szintű

kimenete, vagy például hasonló jellemzőkkel rendelkező hatcsatornás hangkártya vonalkimenete.

Az ebben a fokozatban alkalmazott kapcsolóelem teljesen hasonló az előzőhöz – ugyanannak a szériának a tagja. A 4053-as integrált áramkör három darab, egyetlen DIL16 tokban megvalósított 2-ből 1 multiplexer/demultiplexer, közös BCD kódú digitális vezérléssel. Szintén három digitális címző-bevezetéssel rendelkeznek, illetve egy inhibit (beavatkozás, letiltás) bemenettel. Az analóg be/kimenetek száma 3x2 db, a ki/bemenetek száma pedig 3. A kiválasztást CMOS technológiájú transmission gate kapcsolások végzik, ugyanúgy, mint a 4051-ben.



30. ábra – A CD4053 (MC14053) logikai kapcsolási rajza, és igazságtáblázata  
(X: don't care érték)

Mint látható, minden kapcsolási variáció lehetséges. Ehhez képest én csak két állapotot fogok kihasználni, mégpedig a fenti ábra két szürkített sorához tartozó állapotokat. Elmondható, hogy az „x”-es bemenetekhez rendeltem a MyLogic dekóder kimeneteit, az „y”-os bemenetekhez pedig a hat független csatornás forrás megfelelő bemeneteit. Ebben a megoldásban tehát egyszerre kell átkapcsolnom az x-es és az y-os bemeneteket, ami azt jelenti, hogy az **A**, **B**, és **C** bitekkel jelölt vezérlés rendkívül leegyszerűsödik.

Térjünk vissza az 53. oldalon ismertetett kapcsolásra; annak kialakított **D** kimeneti jelére. A kapulogika alapján elmondható, hogy  $D=1$ , ha  $A=B=C=1$ , minden egyéb esetben 0. A **D**-bit tehát logikai magas értéket vesz fel a 7-es sorszámú nyomógomb megnyomásától a következő reset-jelig, ez pedig a kapcsoló-forrás hozzárendelést tekintve a DVD bemenet kiválasztását jelzi.

Ha tehát  $D=1$ , akkor a CD4051-gyel felépített kapcsolófokozat a 7. sorszámú bemenetére kötött jelet fogja kimenetre adni, ami – mint már esett róla szó – **föld**. Ekkor lényegtelen, hogy a MyLogic dekóder aktív, vagy bypass módban van, a jobb és bal csatornák jele egyaránt 0V. Ha ez így van, akkor pedig értelmetlen aktivizálni a MyLogic dekódert, hiszen a kimeneti öt csatornáját a bemeneti kettőből származtatná – 0Voltból pedig nem kerülne ki más a többi kimenetre sem, mint 0V. Az ebben a fokozatban szereplő 4053-as integrált áramkör számára ez annyit jelent, hogy MyLogic bemeneteit el kell némítania, helyettük a DVD forrást kell a végerősítők felé továbbítani. Mindezt összesítve, ha  $D=1$ , legyenek a 4053 áramkör „y-os” bemenetei kiválasztva, azaz az IC vezérlőbemeneteit egyszerűen csak össze kell kötni egymással, és **D**-vel.

Hasonlóképpen levezethető, hogy ha  $D=0$ , azaz nem a DVD forrás aktív, akkor a 4053 IC vezérlésére használt kódszó „000”; azaz igazságtáblázata alapján ekkor az „x-es” bemenetei lesznek kiválasztva.

Ezidáig nem esett róla szó, de a 4053 IC-ből természetesen kettő van. Darabja három (lényegét tekintve) kétáramkörös kapcsolót valósít meg, esetemben pedig hat csatorna létezik. Így az első IC kapcsolja az L, R, C csatornák jeleit, míg a második az SR, SL, LFE jeleket. A MyLogic dekóder kimenetén azonban csak egy surround szerepel, ez pedig mono. Az IC „x-es” bemenetei esetében tehát  $SL=SR=S$  a MyLogic bemenetekre vonatkozóan. A két IC vezérlése közös.

Ha  $D=1$ , akkor  $A_1=B_1=C_1 := D$ , és  $A_2=B_2=C_2 := D$ . Mi történik, ha  $D=0$ ?  $A_1=A_2=B_1=B_2=C_1=C_2=0$ , azaz a két kódszó mindegyike 000, vagyis az x-es bemenetekhez tartozó MyLogic forrás lesz aktív.  $D$ -t tehát közvetlenül rá lehet kötni a 4053 mind a hat BCD kódú vezérlőbemenetére.

A bemeneti fokozat ezzel teljes – minden típusú műsorforrást megfelelően kapuz tovább a kimeneti fokozatok felé, mégpedig digitális vezérlés hatására.

(A kivitelezéssel kapcsolatban megjegyezném, hogy a 405x áramkört többféle gyártótól is be lehet szerezni, az egyes gyártmányok – bár feszültségszintekre és lábkiosztásra nézve kompatibilisak egymással –, specifikációjuk eltérő lehet. Az Internetről letöltött specifikációk szerint a legjobb tulajdonságokkal rendelkező gyártmány a Motorola MC1405x sorozat, míg a legkevésbé kedvező tulajdonságok a Texas Instruments termékétől várhatók. Hogy csak két példát említsek, a két gyártmány teljes harmonikus torzítás-adatai között jelentős eltérés mutatkozik; a Motorola pedig különféle védőáramkörökkel erősítette terméke robusztusságát.)

## 2. Kimeneti fokozat

### A kimeneti fokozat feladatai

A bemeneti fokozatok két alapvető feladata volt a különféle források bejövő szintjének vonali-szintre hozása, frekvenciamenet-korrekcója, és maga a kapcsolástechnika megvalósítása.

A kimeneti fokozatnak ehhez képest két, látszólag egyszerűbb feladatot szánok: a közös hangerőszabályozás lehetőségének megteremtését, illetve az (egyszeri) balansz-beállítást.

A legegyszerűbb, ám csak nagy nehézségek árán kivitelezhető ötlet volna egy – tán nem is létező – hatcsatornás, sztereo,  $47k\Omega$ -os, logaritmikus forgópotenciométert alkalmazni. Ezzel a megoldással kapcsolatban azonban több probléma is adódhat:

1, Nem hordoz magában digitális vezérelhetőséget. Eszembe jutottak ugyan azok a potenciométerek, amelyeket kézzel, és léptetőmotorral egyaránt lehetséges állítani, de ezek gyakorlatilag beszerezhetetlenek, áruk nagyon magas, és hordozzák a hagyományos potenciométerek „átkát”...

2, ... Az imént hagyományosnak nevezett mechanikus potenciométerek – legyen az forgó-, vagy toló-kivitel – ugyanis felgőzölt, vagy rákent-ráégetett ellenállásréteggel készülnek; a kívánt ellenállásértéket pedig az erre a rétegre helyezett fém kontaktus állítja



be. A megoldás nagy hátránya, hogy gyakori használat során a csúszka fémkontaktja viszonylag hamar elkoptatja az ellenállásréteget, azon előbb-utóbb lyukakat marva. Így készülné a „recsegős hangerőszabályozó”...

3, Tételezzük fel, hogy létezik az egy azon tengelyre kapcsolt hat darab mono potenciométer. Még ha így is van, kivitelezhetetlennek tűnő feladat azok együttfutásának megteremtése még gyári körülmények között is, azaz hogy egy azon szögelforduláshoz minden egyes potenciométeren pontosan ugyanakkora ellenállásértéket mérhessen a felhasználó. Ez a feltétel csak akkor teljesülne, HA a mechanikai illesztés tökéletes volna a hat külön elem között, ÉS HA tökéletesen ugyanolyanra sikerülne a minden egyes elem logaritmikus skálát megvalósító ellenállásrétege. Ha az együttfutás csak egyetlen elemre, vagy csak egyetlen említett szempontból nem igaz, hangerő-szabályozóként alkalmazva az eszközt elúszik a balansz.

Mindkét szempontból kiváló megoldást jelenthet azonban egy digitálisan vezérelt potenciométer-áramkör, ami valójában egy analóg multiplexer/demultiplexer, egy precíz ellenálláslétra, és némi digitális vezérlés elegye. Eldöntöttem tehát, hogy a mechanikus alkatrész helyett inkább egy ilyen áramkört fogok alkalmazni.

Engedtessek meg, hogy ezegyszer eltérjek legfőbb elvemtől, és mint kész integrált áramkört használjam fel az említett digitális vezérlésű potenciométert! Ennek két célszerű oka van: a helyigény, és a specifikáció. Az alkalmazandó integrált áramkör ugyanis áramköri tulajdonságaiban lényegesen jobb; fizikai kiterjedésében pedig lényegesen kisebb, mint amit áramköri alapkapcsolásokból össze tudnék állítani. A választott „mindent tudó IC-m” a Dallas Semiconductors DS1802 jelű integrált áramköre.

### A DS1802

A DS1802 egy duál kialakítású, hangtechnikai célokra kifejlesztett,  $47k\Omega$ -os, logaritmikus karakterisztikájú, digitálisan vezérelhető potenciométer. Az áramkör 20 lábú **Dual In Line** tokozásban kapott helyet (bár kapható felületszerelt verziója is).

Kétféle üzemmódja miatt beszélhetünk potenciométer párról (azonos eszközök közös vezérlése), vagy két darab független  $47k\Omega$ -os potenciométerről – én utóbbit fogom használni. Az egyes ellenállások 65 (64+1) lépésben vezérelhetők. A 64 lépés mindegyike 1dB-es léptéknek felel meg úgy, hogy bemenet-kimenet viszonylatában a 0-ás sorszámú lépcsőhöz a 0dB-es kimeneti szint, a 63-as sorszámúhoz pedig a -63dB-es kimeneti szint tartozik. Ez azért fontos, mert a továbbiakban ebben a logaritmikus skálázásban kell gondolkodni. A 65. lépés a MUTE (elnémítás) funkció, mely a katalógus szerint nagyobb, mint 90dB-es elnyomást eredményez a bemeneti és a kimeneti jelek között.

Az áramkör vezérelhető nyomógombokkal, vagy digitális IIR buszon is – én a nyomógombos, „dual push-button” vezérlést fogom alkalmazni. Az eszköz induláskor (a tápfeszültség megérkezésekor) a vezérlőáramkör soros portja 10ms után; nyomógombos vezérlő egysége pedig 50ms után válik elérhetővé. Kezdeti alapértelmezésként a beállítás mindig -63dB, azaz a legnagyobb csillapítású beállítás lép életbe. Ez megintcsak jó a robusztusság szempontjából, hiszen bekapcsolás után a rendszer a hangerő tekintetében is a felhasználó beavatkozására fog várni, amelynek segítségével nem fordulhat elő például az előző zenehallgatásnál túl nagy hangerőn felejtett berendezés kínos esete.

A digitális vezérlés tehát kétféle módon történhet. Az egyik megoldásban 3 vezetékes szabványos soros porton (RST, D, CLK) fut a vezérlő adat; a másik megoldásban pedig pillanatkapcsolók végzik a beállítást. Én az utóbbit fogom alkalmazni, mind az előlapról történő nyomógombos vezérléshez, mind pedig a későbbi infravörös távvezérléshez. Ezen opció beállításához az szükséges, hogy a bekapcsolás pillanatában a MODE kivezetés logikai „magas” szintet kapjon. A kétféle üzemmód ugyanis megosztott vezérlő-kivezetésekkel

készült el – MODE=1 beállítása esetén a megfelelő kivezetések jelentése UC0, UC1, DC0, és DC1 lesz, ahol:

UC0= Up Count for pot. 0 – a nullás számú potenciométer virtuális csúszkájának felfelé léptetése

UC1= Up Count for pot. 1 – az egyes számú potenciométer virtuális csúszkájának felfelé léptetése

DC0= Down Count for pot. 0 – a nullás számú potenciométer virtuális csúszkájának lefelé léptetése

DC1= Down Count for pot. 1 – az egyes számú potenciométer virtuális csúszkájának lefelé léptetése

A léptetés esetében záró típusú nyomógombokkal fog történni. Ezzel kapcsolatban a DS1802 vezérlője tartalmaz még egy hasznos funkciót: egy gombnyomásnak veszi azokat az impulzusokat, amelyek körülbelül 1ms-ig tartanak, és utánuk legalább újabb 1ms szünet következik (azaz elengedésre kapcsol). Ha azonban a felhasználó folyamatosan nyomva tartja valamelyik léptetőgombot, azt a vezérlő a következőképpen értékeli: a felfutó él utáni egy milliszekundum egy léptetés értékű, majd a következő egy másodperc szünet után minden további 100ms nyomvatartás újabb egy léptetésnek fog megfelelni. Kiszámítható tehát, hogy e funkció segítségével 7.3 másodperc alatt lehet teljes hangerőre szabályozni a rendszert.

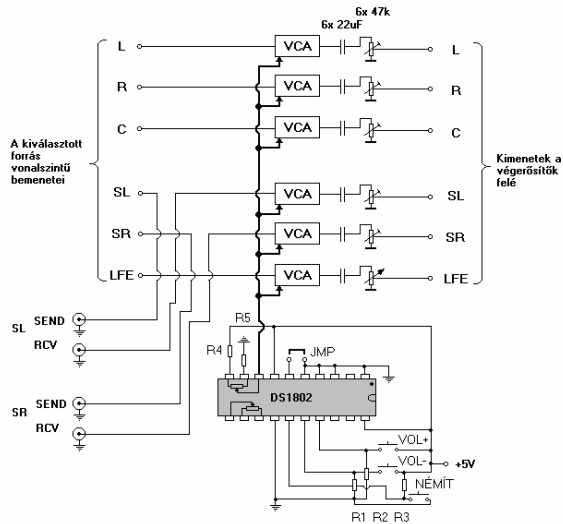
További nagyon hasznos és szimpatikus funkciója az áramkörnek, hogy nullátmenet-detektorral rendelkezik; ez a virtuális csúszka átállítása által keltett koppanás-zaj hatását hivatott minimalizálni. A funkció ki-be kapcsolható a ZCEN kivezetés segítségével – nálam ez belső, egyszeri, jumperes állítási lehetőség lesz. Mivel ez egy negált kimenet, a funkció logikai alacsony szintre aktív. Működéséről elmondható, hogy aktív állapotában, ha felfelé vagy lefelé léptetés érkezett a vezérlőbe, a csúszkát a jelben észlelt első nullátmenetnél fogja a kívánt irányba léptetni. Várakozás, azaz az alkalmas nullátmenet keresése legfeljebb 50ms-ig tart. Ha addig a figyelő áramkör nem tapasztal a kapcsolásra alkalmas időpillanatot, akkor az 50ms letelte után azonnal fog váltani a kimeneti szint.

A MUTE funkciót már említettem, nagyobb, mint 90dB elnyomást ad, ha aktív. A MUTE gomb is pillanatkapcsoló, mely a föld felé zár. A gomb általi némítás-kérésére az L és W kivezetések között elméletileg rövidzár teremtődik. A némítás előtti hangerő-szint a következő beérkező léptetés-jelre visszaáll némítás előtti előző állapotába.

A DS1802 fontosabb műszaki adatai:

Tápfeszültséghatárok:	+2,7V – +5,5V
Áramfelvétel:	maximálisan 2mA (max 42 $\mu$ A standby módban)
Logikai magas szint:	+2V-tól ... +U <sub>t</sub> +0,5V-ig
Logikai alacsony szint:	-0,5V-tól ... +0,8V-ig
Sávszélesség:	DC – 700kHz (700kHz-n -3dB)
THD:	tipikusan 0,002% (!)
Kimeneten mérhető zaj:	tip. 2,2 $\mu$ VRMS (@20Hz...20kHz)
Csatornaszeparáció:	tip. 100dB

Adódna az ötlet, hogy mivel egy DS1802 két potenciométert valósít meg, három darab, azonos vezérléseket kapó IC-t kellene alkalmazni a hat csatorna hangerő-szabályozására. Ez azonban nem volna sem elegáns, sem gazdaságos megoldás, tekintve, hogy egy ilyen IC végfelhasználói ára manapság bruttó 2800Ft körül mozog (HT-Eurep Kft., Budapest). E helyett kellene valami, ami egyetlen digitálisan vezérelt potenciométert alkalmazva lehetővé teszi hat, vagy inkább akárhány fokozat hangerejét AZONOS mértékben vezérelni. Ilyen megoldást mutat a 31. ábra:



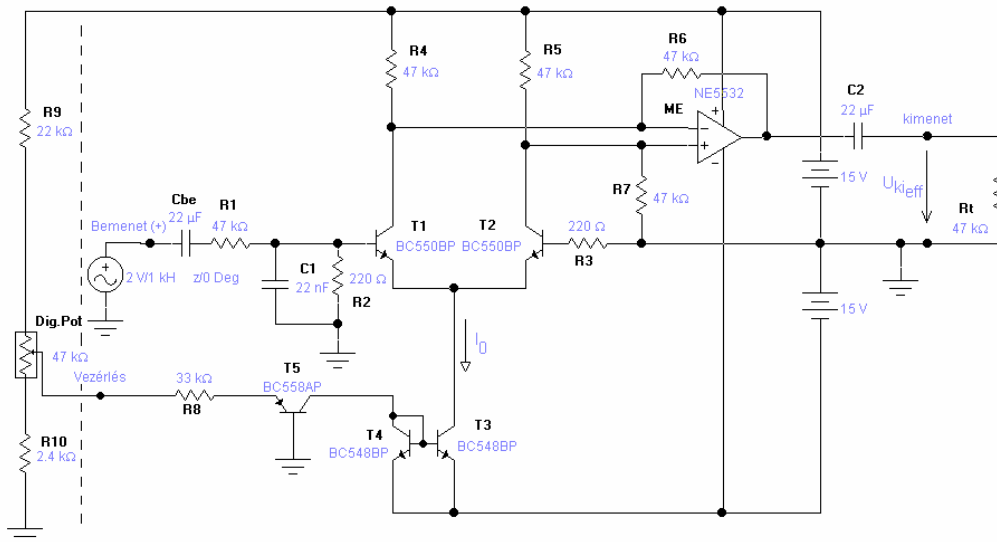
31. ábra – A kimeneti fokozat logikai diagramja



Az ábrán a DS1802 egyetlen digitálisan vezérelt potenciómétere állít elő valamilyen  $0.4V < U \leq U_t$  határok közé eső egyenfeszültséget. A felső határ beállítása az  $R_4$  ( $22k\Omega$ ) ellenállással lehetséges, mely a digitálisan vezérelt potencióméterrel és  $R_5$ -tel együtt egyszerű feszültségosztót alkot.  $R_5$  ( $2.4k\Omega$ ) az alsó feszültség-határ beállítására ad lehetőséget. Az előálló feszültség szélső értékei között pontosan a 64 léptékben változtatható az IC-t vezérlő léptető-bemenetek segítségével.

Ezt a feszültséget pedig mint vezérlést használom fel a hat darab feszültségvezérelt erősítő vezérlő-bemenetén. A VCA-k a jelbemenetükre érkező jelet a vezérlőfeszültség arányában erősítve adják a kimenetükre, így lehetővé válik a hat jelbemenet azonos, digitális vezérléssel történő beállítása.

A VCA-fokozat végső megvalósítása a 32. ábrán látható.



32. ábra – A VCA áramköri megvalósítása

(Megjegyzés: C2 kondenzátort a blokkvázlat szerinti módon látható felhasználásban nem kell beépíteni.)

Az áramkör működése:

$T_1$  és  $T_2$  földelt emitteres beállításban dolgoznak, együtt differenciálerősítőt valósítanak meg. A differenciálerősítő bemenetei  $T_1$  és  $T_2$  bázisai, melyek közül  $T_2$  bázisa  $R_3$ -mal földpotenciálra csatlakozik; ezen a bemeneten vezérlés nem érkezik. Mivel a kapcsolás az erősítő jelet csak  $T_1$  bázisáról kapja, a differenciálerősítő aszimmetrikus vezérléséről beszélhetünk.  $T_1$  bázisán látható egy  $C_{be}$ - $R_1$  becsatoló tag, amely a beérkező jel DC-

leválasztásáról és alsó határfrekvencia-határolásról gondoskodik. Látható még egy  $C_1$ - $R_2$  szűrőtag is, amelynek feladata HPF-jellegű szűrés. A megadott értékekkel a kapcsolás az 1Hz...31kHz (@-3dB) tartományban dolgozik. A szűrés oka egyfelől a beérkező egyenfeszültség leválasztása, másfelől pedig a kapcsolás stabilitásának biztosítása; az alkalmazott tranzisztorok és műveleti erősítő ugyanis kb. 300MHz-ig még működnek; a nemkívánatos zajokat, vagy gerjedést pedig szeretném elkerülni.

A VCA megvalósításának ötlete a [2] forrás 330. oldaláról való, miszerint analóg szorzó létrehozható a bipoláris tranzisztor munkaponti meredekségének változtatásával. Mivel  $S=I_{c0}/U_T$ , a meredekség a fenti megoldásban  $I_{c0}$  változtatásával jön létre.  $I_{c0}$  a fenti differenciálerősítő kollektorainak munkaponti árama. A két kollektoráram, ha a tranzisztorok nyitva vannak, az emitterkörben összegződik – éppezért itt kiváló lehetőség nyílik ezt az áramot változtatni, például egy feszültségvezérelt áramgenerátor segítségével. Az összegzett áramot jelölje ezentúl az ábrán jelölt  $I_0$ .

$T_3$  áramgenerátorként működik. Bázisa és emittere, valamint bázisa és a föld (vagy valamilyen egyéb, pozitív feszültség közé eredetileg ellenállások kerültek volna. Ennek a klasszikus áramgenerátoros megoldásnak azonban az a problémája, hogy nehezen vezérlehető, nehezen illeszthető bele a 47k $\Omega$ -os potenciométer. Ennek volna ugyanis a feladata a vezérlés megvalósítása,  $0\mu A \leq I_0 < \text{kb. } 500\mu A$  határok között.

A következő ötlet a  $T_3$ - $T_4$  áramtükör. Ennek lényege, hogy mivel  $T_3$  és  $T_4$  bázisa közös, az azonos tranzisztorok miatt (azonos BE-dióda, illetve azonos áramerősítési tényező)  $T_4$  kollektorán folyó áram is azonos lesz  $I_0$ -lal. Innentől kezdve a feltétel  $T_4$ -re érvényes, feszültséggel vezérelni, egy 47k $\Omega$ -os potenciométer segítségével.

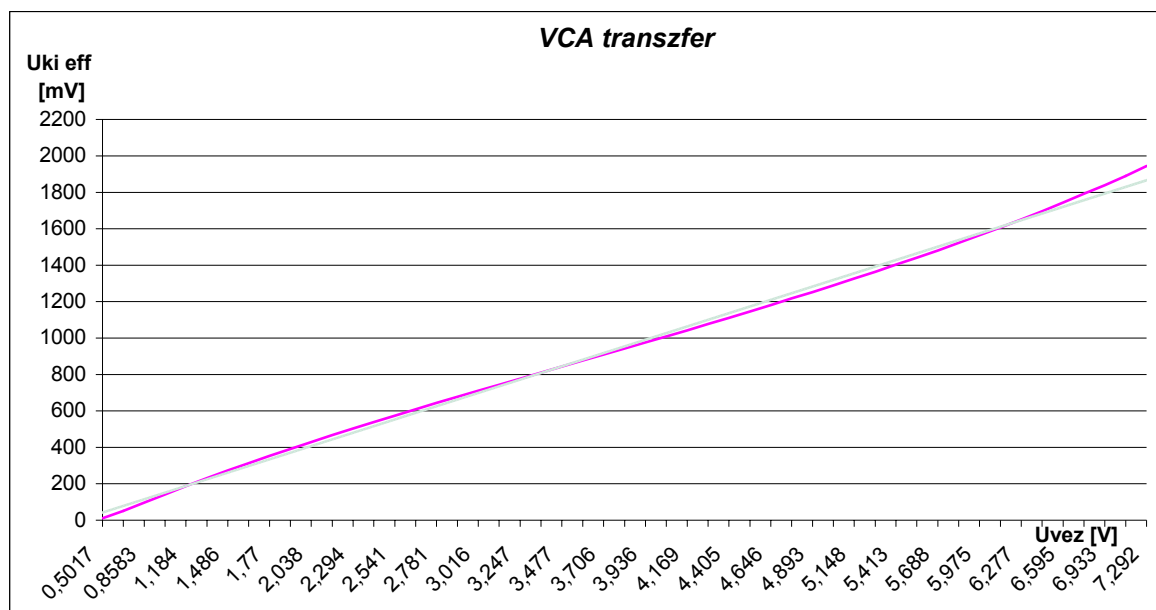
Az áramvezérelt áramtükör egy további tranzisztor és egy ellenállás ( $T_5$  és  $R_8$ ) beiktatásával lehetséges.  $R_8$  ellenálláson a „vezérlés” feliratú pontra adott pozitív feszültség mínusz  $T_5$   $U_{BE}$  feszültsége adódik. A rajta átfolyó áram pedig már csak egy arányos tényezőtől, az  $R_8$  ellenállástól függ. Gyakorlatilag ez az áram fog átfolyni  $T_5$ -ön, majd  $T_4$ -en, így  $T_3$ -on is, vagyis mondható, hogy  $I_{R8}$  jó közelítéssel valójában  $I_0$ -lal lesz azonos.

A fenti ábrán látható, szaggatott vonallal leválasztott feszültségosztó nem képezi a kapcsolás részét, csak a 47k $\Omega$ -os potenciométer kapcsolásba kerülését szimbolizálja. A szaggatott vonaltól balra eső rész megegyezik a 31. ábra  $R_4$ - $DS1802$ - $R_5$  feszültségosztójával.

A jélbemenet – mint már említettem –  $T_1$  bázisa.  $R_1$ -nek azonban több feladata is van, mint a már szintén említett  $C_{be}$ - $R_1$  LPF szűrés, a bemenő jel szempontjából ugyanis  $R_1$  és  $R_2$  feszültségosztót alkot. Erre azért van szükség, mert mint a [4/II.] forrás 80. oldalán levezetve látható, a differenciálerősítő átviteli karakterisztikája eredetileg csak körülbelül  $\pm U_T$ -ig, azaz 26mV-ig (@20°C) tekinthető torzításmentesnek. E feszültség felett a kapcsolás egyre jelentősebb torzításba kezd, majd  $\pm U_T$ -től határolni fog. Ennek a hatásnak minimalizálása érdekében került a bázisra a meglehetősen nagy áttételű  $R_1$ - $R_2$  feszültségosztó. A leosztás  $U_{be}/U_{ki}$  [dB]= $20 \cdot \log [220/(220+47000)]$ =46,63dB, mértéke későbbi korrekció esetén  $R_1$  változtatásával lehetséges.

A kimenet szimmetrikus, ezt pedig aszimmetrikussá, földfüggővé kell tennem, mivel a logikai láncban következő végerősítők bemeneti fokozatai mind aszimmetrikusak lesznek. A kimeneti jel  $T_1$  és  $T_2$  kollektorairól egy másik differenciálerősítőre kerül: a műveleti erősítő bemeneti fokozatára. Az NE5534 egy bipoláris tranzisztorokból felépülő, kiszajú műveleti erősítő, amely ebben a bekötésben differenciaerősítőként működik.

Végül a teljes feszültségvezérelt erősítő eredő átvitelét mutatja az alábbi grafikon:



33. ábra – A 32. ábra szerinti VCA erősítése a vezérlőfeszültség függvényében

A működési leírásban látottak követhetők a grafikonon. Lila vonal jelzi a mért adatokat a kimeneti és a bemeneti változó kapcsolatában, a zöld pontvonal pedig az adatok lineáris regressziós egyenese, mely az ideális átviteli egyenest jelzi. Mint megfigyelhető, némi (jelentéktelen) linearitáshibával még így is küszködik a kapcsolat vezérlése. Leolvasható a grafikonról, hogy a két görbe  $U_{vez}=3,5$  Voltnál metszi egymást. Ez az a feszültség, amelyet a vezérlő bemenetre adva az  $I_c/I_0=0.5$ , illetve ebben a pontban maximális a differenciálerősítő meredeksége. Ezt a pontot origónak, illetve  $U_{vezmin}=0,5V$ -ot választva, a szimmetrikus átviteli függvényhez  $U_{vezmax}=6,5V$  tartozik. Legyen tehát ez a két korlát a vezérlőfeszültségre vonatkozóan, melyeket a 31. ábrán  $R_4$  és  $R_5$ ; a 32. ábrán pedig  $R_9$  és  $R_{10}$  állít be.

Megemlítendő továbbá, hogy a vezérlés valójában logaritmikus folyamatú lesz, a digitálisan vezérelt potenciométer skálázása miatt. Éppen ehhez volt szükséges a VCA átvitelét minél inkább a lineárishoz közelíteni! Ha tehát a VCA és a DS1802 átviteli karakterisztikáit pontról pontra összegezzük, kijelenthető, hogy a digitális vezérlés lépéseinek függvényében a VCA szinuszos kimeneti feszültsége logaritmikus jelleggel fog változni. És éppen ez volt a kezdeti cél...

Térjünk vissza a kimeneti fokozat logikai diagramjára. A VCA-k kimenete, és a végerősítők bemenete között helyet kapott öt darab logaritmikus trimmer-, és egy – az ábra szerinti – forgópotenciométer. Az öt darab trimmer a rendszer telepítésekor kapnak szerepet azáltal, hogy egyszeri balansz-szabályozásnak adnak lehetőséget. Egyedül az LFE csatorna jelét állítja az ábra jelölése szerint forgópotenciométer. Ezt a tapasztalataim alapján célszerűbb kivezetni az előlapra, így mindig az aktuális műsorhoz és igényekhez mérten lehet beállítani. Ennek oka abban keresendő, hogy nem mindig Dolby Digital (gyárilag szabályozott hangerejű) műsorforrást használok, MyLogic üzemmódban pedig az LFE csatorna jele is származtatott lesz, arról pedig nem lehet előre megmondani, hogy pontosan mekkora szintet fog képviselni. Tekintve, hogy ez a potenciométer is viszonylag sűrű használatnak volna kitéve, természetesen nem az ábrán jelölt forgópotenciométert fogom alkalmazni, hanem a DS1802 szabadon maradt digitálisan vezérelhető ellenállását. (A 31.

ábra forgópotenciómétere a könnyebb áttekinthetőség érdekében csak az elvet hivatott jelölni!)

A logikai ábrán látható egy, a vonalszintű surround jelek útjának megszakítására és hátlapi kivezetésére szolgáló csatlakozó-pár, „Send” és „Receive” (küld és fogad) felirattal. Ezek azért kerültek a jelútba, mert rendszerem (egyelőre) nem fogja tartalmazni a Dolby-elvek szerint szükséges surround-jelkésleltetőt. A jelkésleltetés ezért egy ideig külső eszközzel fog történni, vagy pedig szoftveresen lesz megoldva. A szoftveres megoldásról már esett szó a PC multimédiával foglalkozó részben – az AC3Filter nevű programban tetszőleges mértékben és mértékegységben megadható a kívánt késleltetés.

A hardveres késleltetőm idejét múlt darab révén csak ideiglenes megoldás maradhat. Ez egy IBANEZ gyártmányú, HD-1000 típusjelű effektező/késleltető egység. Alapvető problémáim vele kapcsolatban, hogy bár nagyon sokoldalú és könnyen kezelhető, sajnos **csak 8 bites** felbontású (az ADC, a DAC, és a DSP is), és **csak mono**. Hadd fogalmazzak úgy, hogy egy amolyan „több, mint a semmi” megoldás. Terveimben szerepel egy megfelelő minőségű, legalább 12 bites, sztereo késleltető megvalósítása is, de ez szintén nem képezi jelen dolgozat részét, annak várható anyagi vonzatáról egyelőre nem is beszélve.

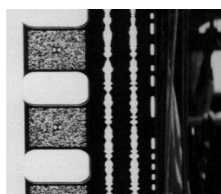
Szoftveres késleltetés esetén a SEND és a RECEIVE feliratú csatlakozókat össze kell kötni; míg az IBANEZ beiktatásakor a SEND jelzi a késleltető számára a bemenő jelet, a RECEIVE pedig a kimenetének jelét.

A kimeneti fokozat ezzel komplett; teljesíti az alfejezet elején kikötött követelményeket.

## IV. fejezet – Térhangzást előállító áramkör tervezése

Dolgozatom alapelemének, a térhatású hangot előállító áramkör működési elvének megértéséhez szükséges megismerni a Dolby cég fontosabb elterjedt hangszabványait. Elméletem ugyanis jelentős módosításokkal ugyan, de a Dolby-s elvekre alapul. A következőkben a Dolby-alapelveket fogom ismertetni, mindegyiket a saját származtató-erősítőm elkészítéséhez szükséges mértékben.

### Dolby a moziban



**Dolby Stereo** – A cég első komoly, a mozikba szánt terméke. (1975) Ray Dolby megvásárolta a kor nagy sikert aratott elméletét, a kvadrofónia szabványát, majd annak továbbfejlesztését ajánlotta fel a filmszínházaknak. A Dolby Stereo osztatlan sikert aratott; mátrixos eljárással keverték 4 csatornát 2-be, amelyeket pedig eleinte mágnesszalagos, majd később optikai módon tárolták a filmszalagon. A négy bekevert irány a jobb (R), a bal (L), a center (C), és a surround (S). Kezdetben a mágnes-csíkok hanganyagát a Dolby NR-A zajredukációs eljárással látták el, ...



- **Dolby SR** – ...majd később a véglegessé vált, optikai tárolási elvnek megfelelő Spectral Recording eljárással. A Dolby Stereo SR eljárással készült változata ma is megtalálható a celluloidon, de már csak mint mindig megbízható és kevésbé sérülékeny biztonsági sáv.



- **Dolby Digital** – Öt teljes sáv szélességű (R, L, C, SR, SL), plusz egy sávkorlátolt hangcsatorna (LFE), digitálisan rögzített, mátrixba szervezett formátuma. Lényegében hat független csatornát tárol, kizárólag optikai elven, a filmszalag traktorlyukai között, az Audio Coding-3 nevű új, digitális tömörítési eljárást alkalmazva. 2002-es adat szerint az újonnan nyíló mozik 87%-a rendelt Dolby Digital sáv olvasására alkalmas egységeket, kijelenthető tehát, hogy a DD fölényesen piacvezető formátum a mozikban.



- **Dolby Digital Surround EX** – Az előzővel teljesen azonos rögzítési eljárás, egy hetedik, center surround (SC) csatornával kibővítve. Mivel azonban a Dolby Digital csak 5.1 csatornára ad lehetőséget, visszanyúlta a régi technológiához, és az új hangcsatorna jelét a jobb és bal surround anyagába keverték bele. Így hát (Dolby SA10 típusú) EX adapter kell ahhoz, hogy lejátszáskor megjelenjen, elkülönüljön a többtől a center surround csatorna jele.

### Dolby a házimoziban

Tekintve, hogy a cég fontos és ötletes hangszabványokat, és rögzítési eljárásokat dolgozott ki, mind a mozik, mind az otthoni felhasználók számára, szerettem volna részletesen ismertetni a Dolby Labs. jelentősebb „termékeit”, szabvánnyá vált eljárásait. Ezt azonban sajnos terjedelmi okokból megintcsak nem tehetem.

Az otthoni felhasználásra szánt hangtechnikai eljárások közül azonban egyet feltétlenül ismertetnem kell részletesen is, az ugyanis szorosan kapcsolódik a későbbi tervező munkámhoz, ez pedig a surround-technológia. A Dolby Surround a mozis Dolby Stereo otthoni környezetbe szánt megvalósítása. Az elv valójában ugyan az, a megvalósítás precízsege, és bonyolultsága pedig a vásárlók igényeihez alakítottan négyféle lehet. Kapható (volt) a szimpla surround-dekóder, majd a ProLogic következett, végül a ProLogicII és a ProLogicIIx zárta a sort.

### Dolby Surround

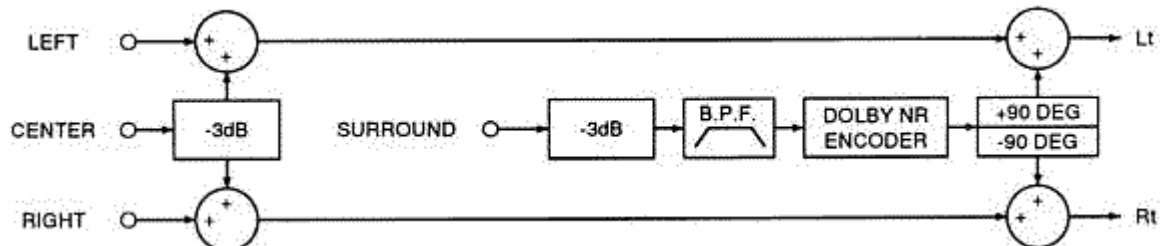
Az elv tehát 4 hangcsatornát (Left, Right, Center, és mono Surround) belekeverni kettőbe úgy, hogy a produktum sztereó rendszerekkel kompatibilis maradjon. A kimeneti két csatornát itt Left Total-nak, és Right Total-nak nevezik, a továbbiakban  $L_T$ , és  $R_T$ -vel fogok hivatkozni rájuk.

### Hogyan készül?

A feladat megoldásának kulcsszava a fázis. A jobb és a bal csatorna jelei ugyanis – a már ismertett korlátok között – lehetnek bármilyen amplitúdójúak, bármilyen frekvenciájúak, és érkehetnek egymáshoz képest elviekben tetszőleges fázisban. A surround-technológia a megvalósítása érdekében kitüntet két fáziskülönbséget: a  $0^\circ$ -ot, és a  $180^\circ$ -ot. Az elmélet szerint a centercsatorna jele a két átvívó hangcsatornába kerüljön azonos amplitúdóban, és egymáshoz képest azonos fázisban; míg a surround csatorna jele kerüljön bele azonos amplitúdóban, és egymáshoz viszonyított  $180^\circ$ -os fázisban. A módszer tehát az elkészítés oldalán valójában nem más, mint egy relatíve egyszerű analóg keverés.

A 34. ábrán a Dolby Surround-keverő gyakorlati megvalósítási elve.

A surround kódoló:



34. ábra – Dolby Surround kódolás elve  
forrás: [20]

A 34. ábrán követhető, hogy az elvnek megfelelően a center csatorna jele 3dB-lel csillapítva, egyszerűen hozzá van keverve mind a jobb, mind a bal csatornához. A csillapítás oka a balansz, és a visszafelé kompatibilitás megtartása. A surround-információ szintén 3dB csillapítás után egy sáváteresztő jellegű szűrőre kerül (100Hz...7kHz), majd egy módosított Dolby-NR B zajredukciós eljárásán áthaladva  $+90$  fokos fázistolással keveredik hozzá a bal csatornához, valamint  $-90$  fokos fáziskésleltetéssel a jobb csatornához. (Ennek technikai megoldása, hogy  $+90$  fokos késleltetést alkalmaznak, majd a kapott jelet invertálják.)

Mi történik a fenti kódolást nem ismerő, egyszerű sztereó lejátszó készüléken? A centercsatorna jele a jobb és a bal hangfalból azonos intenzitással, azonos fázisban fog érkezni, így a hulláminterferencia elvnek megfelelően elméletileg létre fog jönni egy virtuális centerhangfal. (Olyan, mintha a két fizikai hangfal közötti síkon, pontosan középen, egy harmadik forrás is sugározna.) A surround információ azonban szintén a hulláminterferencia elvnek megfelelően elvileg kioltódik, elvész.



Aki azonban szeretné élvezni a surround csatornát is, annak dekódert kell vásárolnia. A következőkben vizsgáljuk részletesen, hogy milyen lehetőségek kínálóznak a dekódolásra (inkább: származtatásra, deriválásra), és milyen technikai feltételek találkozása mellett.

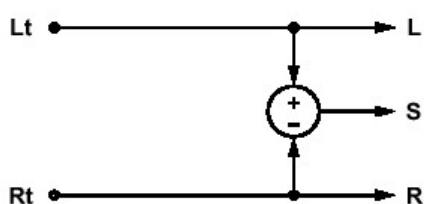
### A legegyszerűbb Dolby Surround dekóder



Ha ilyen logóval ellátott terméket vesz a felhasználó, biztos lehet benne, hogy készüléke valódi térélményt fog biztosítani számára, kettő bemenő, és négy kimenő csatornával, melyből azonban csak három fizikailag kiépített hang-út.

Ebben a megoldásban az L, és R hangsugárzók teljes (szüretlen, módosítatlan) Right total, és Left total műsort sugároznak. A centercsatorna „fantom” avagy virtuális, azaz nem fizikai hangfal, hanem csak egy az imént leírt kialakuló érzet lesz. A surround csatorna azonban már fizikailag kiépített hangcsatorna; hangsugárzóit a hallgatóhoz képest oldalt/hátul helyezkednek el, jobb és baloldalt egyaránt. Azonban mindkettő ugyanazt a műsort sugározza, tehát valójában két hangfalból érkező mono surroundról beszélünk.

Ami a jelfeldolgozást illeti, az az úgynevezett „passzív mátrixos” megoldás, melyről már esett szó. Ez a hangzatosan és misztikusan csengő megjelölés könnyen megfejthető, ha a korábbiakban részletesen ismertetett AC3Filter nevű programmal foglalkozó részre gondolunk. A 4.-5.-6.-7. táblázatok pontosan ennek a passzív mátrixnak a lépésről lépésre történt levezetése. A 7. táblázat már a végleges, alkalmas passzív mátrixot takarja. Mátrix mivoltát tehát már ismerjük: tudjuk, hogy az egyes mátrix-elemek a soruk és oszlopuk közötti konstansszoros viszonyt mutatják, azaz ez az egész nem más, mint táblázat a lejátszó-oldali megkívánt keverés erősítés-együtthatóiról. Mitől passzív? Attól, hogy az együtthatók nem változnak; a táblázat egyes cellaértékei semminek sem függvényei. Egy-egy cella eleme ugyanis függhet elvileg akármitől – a digitális jelfeldolgozás ugyanis pillanatok alatt lehetőséget adna erre. Az értékek alapvetően egymástól függhetnek, és itt ismét visszautalnék az AC3Filter „AGC”, „Normalize matrix”, és „Bass redirection” funkcióira, melyek aktiválásakor a mátrix „életre kél”, aktívvá válik, a táblázat cellaértékei időben folyamatosan változnak a kialakult viszonyoknak, és a kívánt követelményeket leíró függvényeknek megfelelően.



35. ábra – A legegyszerűbb surround-dekóder működési elve  
forrás: [20]

A dolby.com-ról származó 35. ábra nem jelzi, de a surround jelet már az első megvalósításban is késleltették. A késleltetés oka a korábbi, az ember hallásával foglalkozó részből, illetve a későbbi teremakusztikával foglalkozó részből lesz hiánytalanul megérthető. 15-30ms-nyi időbeli késleltetéssel „a fül átverhető” – az agy által származtatott érzet szerint a surround hangfalak helye bizonytalanává válik, a szobában kialakul egy olyasféle térérzet, mint amilyen egy fizikailag sokkal nagyobb szobától/teremtől volna elvárható. A cél a felvételnek teret adni – stúdiószobákban, keverőasztalokon virtuális koncerttermet, sportcsarnokot, vagy egy „LIVE” koncert felvételi helyét modellezni. Az egész dekóderben ez a késleltetővonal szokott a legbonyolultabb elem lenni azért, hogy elengedhetetlenül digitális jelfeldolgozást

kíván. Valószínűleg árának túlnyomó részét is ez a szerkezet teszi ki, habár a késleltetővonal bonyolultsága és ára szempontjából bizonyos könnyebbséget és megtakarítást jelent, hogy a Dolby Surround logóval rendelkező termékekben a késleltetés ideje fix 20 milliszekundum.

Ami a centercsatornát illeti, a már említett (erősítés-jellegű) interferencia-elvvel alakul ki, szintben pedig igazodik a többi hangfal által sugárzott anyag szintjéhez: mivel -3dB szinteltolással szerepel a jobb-, és a bal csatornában is; így közepén  $-3-3\text{dB}=0\text{dB}$  fog kialakulni, a többi csatorna jelszintjéhez viszonyítva.

A DS (Dolby Surround) megoldás több komoly kompromisszummal jár:

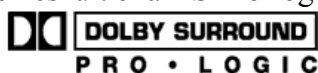
1, Surround kódolt anyagok visszajátszásakor az immáron két hangtengely ellentétes iránya (C és S) egymásba erősen áthall. Gondoljunk arra az esetre, amikor a center hangja eltolódik egyik oldalra, akár csak kis mértékben is. Ezt az eltolódást a surround csatorna származtatója mint különbségi jelet érzékeli, és kiszűri a hátsó irány felé, holott az eseménynek éppenhogy elől kellene zajlódnia.

2, Levezethető, hogy bármely két hangcsatorna közötti áthallás pontosan 3dB. Ez pedig pocsék adat – kétszeres teljesítményviszony – jóformán semmi. Az első két hibapontot összegezve: nem elég, hogy valójában sosem tudni, hogy melyik esemény hol játszódik pontosan a térben, ráadásul elmosódott is marad a térhangzás.

3, A bemeneti balanszkiegyenlítés nem megoldott. Tétélezzük fel, hogy a műsorforrást a DS dekóderrel összekötő kábel sérült, vagy például egyik csatlakozója kissé oxidálódott. Ilyen és hasonló gyakorlati esetekben a DS dekóder bemenetére érkező balansz máris elcsúszott, ez pedig azonnal felrúg minden elvet, hiszen a surround-jel származtatása a bemeneti jelek különbségén alapul, a center pedig nem, vagy nem ott fog virtuálisan létrejönni, ahova azt bekeveréskor szánták.

### Dolby Surround ProLogic

Fenti problémák enyhítésére készült el a DS ProLogic dekóder. Logója alább látható:



Műsorforrása értelemszerűen ugyan az a Dolby Surround kódolt anyag, de jellemzőin javítottak, így például a csatornaszeparáció megvalósítása is sokkal precízebb elődjénél.

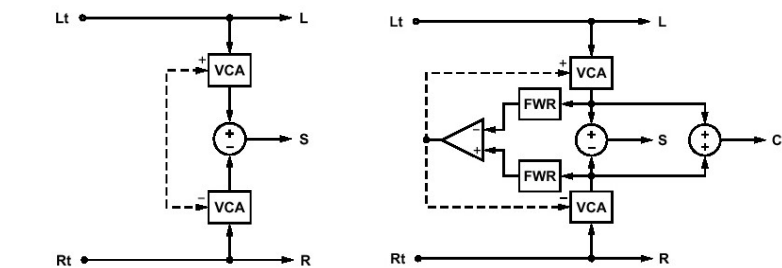
A centercsatorna – „máskálásának” elkerülése érdekében – ezúttal fizikai jelutal kapott. A dekóder kimenetén tehát már center feliratú csatlakozó is látható, amelyet egy, az elülső síkban középre telepített hangfalra lehet kötni. Sőt, rögtön háromféle üzemmódban is működtethető a center, biztosítva ezzel ismét a visszafelé kompatibilitást, és a fogyasztók speciális, egyéni igényeit. A center-csatorna három üzemmódja az alábbi:

- **Normal mode** – ekkor a centercsatorna 100Hz és 20kHz között dolgozik. A 100 Hz alatti komponensek átkerülnek a basszust általában jobban reprodukálni képes jobb és bal csatornába.
- **Wide mode** – ekkor a centercsatorna a teljes 20Hz...20kHz-es tartományon dolgozik. Célszerűen ezt választja, akinek elől három egyforma hangsugárzója van.
- **Phantom mode** – ekkor az eredeti surround dekódert modellezi a ProLogic dekóder, a fizikai hang-utal lekapcsolva.
- **(Dolby 3 Stereo)** – (a három üzemmód közül egy negyedik, amely csak ritkán kerül az üzemmód-választékba. Annyit tesz, mint egy Wide mode, elnémitott surround csatornával. Tipikus példája a vásárlók különféle igényeinek kiszolgálására.)

A ProLogic dekóder elődjénél sokkal jobb csatornaszeparációja révén hangzásra sokkal inkább közelíti „atyját”, a Dolby Stereo-t. Fentiek érdekében már aktív mátrixot alkalmaz,

automatikus balanszkiegyenlítésről gondoskodik a bemeneti fokozatban, továbbá immáron csatornánkénti hangerő-szabályozásra is lehetőséget ad.

Nézzük, technikailag hogyan éri ezt el!



36. ábra – A ProLogic dekóder surround-szeperációs elve (1-2)

forrás: [20]

A fenti ábra, a DS-PL (Dolby Surround ProLogic) dekóder surround csatornájának fejlesztett származtató szűrője. Az első megoldásban (35. ábra - DS) csak azok a jelek kerültek a surround csatornába, amelyek az  $R_T$  és az  $L_T$ -ban is amplitúdóban azonos, míg fázisban pontosan ellentétes módon jelentek meg. Mi történt azonban, ha a dialóg elmozdult, mondjuk a jobb oldal felé? Hangosabbá vált a dialóg a  $R_T$ -ban, mint a  $L_T$ -ban. Ezt azonnal észrevette a surround-jel származtató áramköre, és mint különbségi jelet adta a hátsó csatornába. A szeperációt megvalósító áramkör ugyanis lényegében egy differenciálerősítő, amely kizárólag akkor adja a kívánt eredményt, ha az amplitúdó- és fázisfeltételek egyszerre teljesülnek.

A probléma kiküszöbölése érdekében a ProLogic dekóder a  $R_T$  és  $L_T$  jelét VCA-val (Voltage Controlled Amplifier = feszültségvezérelt erősítő) visszacsatoltan pontosan azonos jelszintre hozza még a differenciálerősítő előtt. A megoldás neve „balancing servo”. (36. ábra)

Működése az alábbi: Mozduljon el valamely effekt a példa kedvéért jobbra (pl balról jobbra áthúzó repülőgép zaja). Ez a jelenség a  $R_T$  és  $L_T$  jelek szempontjából azt jelenti, hogy a  $R_T$ -ban az azonos fázisú és frekvenciájú információ nagyobb amplitúdóval lesz jelen, mint a  $L_T$ -ban. Ezt a szabályozás első körében valamilyen konstansszoros erősítéssel engedi a kimenetére a VCA. Annak kimenete azonban a visszacsatoló ágra is rájut. A visszacsatoló ág első fokozata egy teljeshullámú egyenirányító (FWR – full wave rectifier), amely a bemenetére érkezett szinuszos jelből azzal arányos egyenfeszültséget állít elő. Mindez mindkét VCA irányából megtörténik. Amikor az effekt balról jobbra átúszik, a  $R_T$  felőli FWR kimenete kezd magasabb potenciálra lenni, mint az  $L_T$  felőlié. Ez a két potenciál jusson egy egyenáramú differenciálerősítőként működő műveleti erősítőre, amelynek kimenete maga a hibajel. Ez a hibajel kényszerítse a  $L_T$  VCA-ját nagyobb erősítésre, míg  $R_T$  VCA-ját ugyanazon mértékben, de kisebb erősítésre. Mindezzel a VCA-k kimenetén az eredetileg nagyobb szintű jel kisebb-, míg az eredetileg kisebb jel pedig nagyobb szintű lesz. Az önszabályozás egészen addig folyik így, amíg a balancing servo amplitúdóban pontosan egyező  $R_T$  és  $L_T$  jeleket nem biztosít a differenciálerősítő számára, azaz amíg a DC hibajel nullává nem válik.

A VCA-k kimenetén tehát a beérkezett  $R_T$  és  $L_T$  szintjétől függetlenül azonos amplitúdójú jelek jelennek meg. EZZEL a két jellel érdemes a továbbiakban ugyan azt elkövetni, mint a DS-elvű dekóderben; nevezetesen hogy a baloldali balanszírozott jelet pozitív, a jobboldali balanszírozott jelet pedig negatív előjellel összeadva az eredmény éppen a surround információ lesz.

A center-jel kialakítása az ábra szerinti elrendezésben szintén a balanszírozott jelekből származtatódik, egyszerű összegzéssel. Ezzel részemről nem értek egyet, a tervezéssel foglalkozó részben ki fogom fejteni, hogy miért.

A szervo visszacsatoló hálózatra definiálható annak szabályozási gyorsasága, amely nyilvánvalóan függeni fog a kiegyenlítendő jelek különbségi szintjétől, az VCA-k aktuális erősítéseitől, valamint az áramköri kialakítástól. A ProLogic dekóderben ezt nyilván valamilyen kompromisszumos megoldás keretében oldották meg a Dolby mérnökei\*; a hamarosan kifejtésre kerülő ProLogic II dekóderrel pedig ehhez képest annyit kell tudni, hogy ott kétfokozatú lesz a kiegyenlítés lehetősége, azaz a PL-II-es dekóder a lassú változásokat lassú áramkörrel, a gyors jeleket gyors áramkörrel követi, valamint az automatikus ön-átkapcsolásról is gondoskodik.

A DS ProLogic dekóderben már minden esetben állítható a Surround csatorna jelkésleltetési ideje, tipikusan 15-100 (20-120)ms közötti intervallumon. (Technikailag ez elvileg egy plusz mikrokontrollerrel vezérelt FIFO-memóriát takarhat, a korábbi fix „hosszúságú” shift-regiszter alkalmazási lehetősége helyett.)

### Dolby Surround ProLogic II



A surround dekóderek harmadik és egyben utolsó generációját jelöli a ProLogic II. Kifejlesztésekor már létezett a hat független csatornával rendelkező Dolby Digital, és DVD-t is már 5 éve használtuk. Ennek ellenére a cég még egy, minden eddiginél jobban elbonyolított, ám sokoldalúbb surround-dekóderet dobott a piacra. Az új termék kifejlesztésével az alábbiakat kívánták elérni:

- Legyen még precízebb a csatornák szeparációja
- Terjessze ki hagyományos sztereo adások hangját is valamiféle térélménnyé
- Legyen alkalmas számítógépes, mobil, és fejhallgatók alkalmazásokhoz is.
- Legyen a surround csatorna is sztereo, azaz készüljön 5.1-es, aktív mátrixos rendszer
- Minősége közelítse meg a Dolby Digital-ét
- Legyen visszafelé kompatibilis minden eddigi technológiával
- Zene és film lejátszására legyen egyaránt tökéletes megoldás
- Bővüljön ki a „sweet spot”, lehetőleg a teljes rendelkezésre álló térre (azaz a szoba minden pontjából elvileg ugyan azt a térélményt kellene kapnunk)
- Legyen egyszerű kezelni

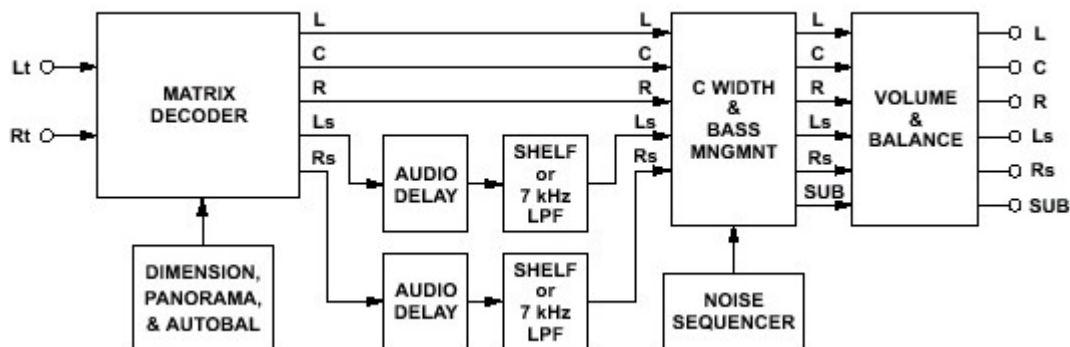
A költséghatékonyság jegyében így teljesen digitálissá vált a DS-PL-II dekóder, melynek tömbvázlata a 37. ábrán látható.

Elődjéhez kapcsolódóan említésre méltó, hogy a ProLogic II dekóder – több nem említett újításán túl – már nem csak a jobb-bal tengelyen, és egy szeparált hátsó síkban „gondolkodik”, hanem ugyan olyan feedback servo megoldással kialakítottak egy elől-hátul tengelyt is, amely természetesen ortogonális a jobb-bal irányú tengelyre.

Ha a 37. ábrát tekintjük, némi pozitív eltéréssel a korábban ismertetett AC3Filter nevű szoftver működését kapjuk, hardveres megvalósítás blokkvázlati szintjén. Ami hozzá képest plusz, az az aktív mátrix vezérlési függvényei, illetve a beépített noise sequencer. Utóbbi egy tesztáramkör – a surround rendszer telepítésekor ezt a funkciót aktívvá téve egy zajgenerátor segíti a felhasználót (fülét, vagy mérőműszerét) a csatornák közötti egyszeri manuális balansz beállításában.

---

\* hogy részletekbe menően hogyan, az számomra jelenleg nem fontos



37. ábra – A Dolby ProLogic II dekóder tömbvázlata  
forrás: [20]

Mint az előző listában olvasható volt, a ProLogic II dekóder külön szolgáltatásokkal van felszerelve arra az esetre, ha nem DS kódolt, hanem egyszerű sztereo műsor kerül a bemenetére. Lássuk, melyek ezek:

**Panorama mode:** Azáltal igyekszik kiterjeszteni a sztereo hangteret háromdimenzióssá, hogy a jobb és bal csatorna jeleit kis mértékben átkeveri a megfelelő irányú surround csatornába.

**Dimension control:** Az elől/hátul irányú tengelyen képes eltolni a zene sztereo síkját. (Erre ad lehetőséget az említett plusz szervo-visszacsatoló hálózat.)

**Center width control:** Segítségével a Center csatorna jele oldalirányba szimmetrikusan eltolható. A beállítás két szélső értéke tehát a diszkrét (L-től, és R-től függetlenül megszólaló) center, és a fantom center (amikor C anyaga csakis L-ből és R-ből jön)

Ezek tehát mind az aktív mátrix feladatkörét képezik. A felhasználó megadja a függvények bemeneti változóit (például, hogy a center csatorna mennyire legyen „kiszélesítve”), a függvény pedig ennek megfelelően beállítja a mátrix megfelelő értékeit a kívánt hatás eléréséhez.

	ProLogic	ProLogic II
<b>Műsor</b>	Dolby Surround kódolt	Dolby Surround kódolt, és hagyományos sztereo zenei anyag is
<b>Üzem módok</b>	3/1, 2/1, 3/0	3/2, 2/2 (plusz fantom C), 3/0, 3/1 (emulált PL-I)
<b>Surround</b>	100Hz – 7kHz duál mono	20Hz – 20kHz sztereo
<b>Speciális üzem módok zenéhez</b>	-	Panorama mode Dimension control Center width control

12. táblázat – A ProLogic I és II dekóderek funkcionális összehasonlítása

Jelmagyarázat: a/b: elől/hátul megszólaltatható aktív csatornák. Pl.: 3/1 = három frontcsatorna, mono surrounddal kiegészítve.

A ProLogic II dekódernek a fenti ProLogic, és Music elnevezésű üzemmódján kívül van még egy harmadik, a Movie-mód is. Természetesen ehhez is eltérő beállítások szükségesek, amik megintcsak az aktív mátrixnak adnak feladatot.

Az áttekinthetőség kedvéért lássuk táblázatszerűen, hogy mik az alapvető különbségek a három dekóderbeállítás között.

	Movie	ProLogic I	Music
Surround szűrés	X	100Hz...7kHz BPF	X
Surround késleltetés	O	O	X
Automatikus balanszkiegyenlítés	O	O	X (*)
Surround mono v. sztereo	sztereo	mono	sztereo

13. táblázat – ProLogic I-II összehasonlító táblázat

(Jelmagyarázat: O: van; X: nincs)

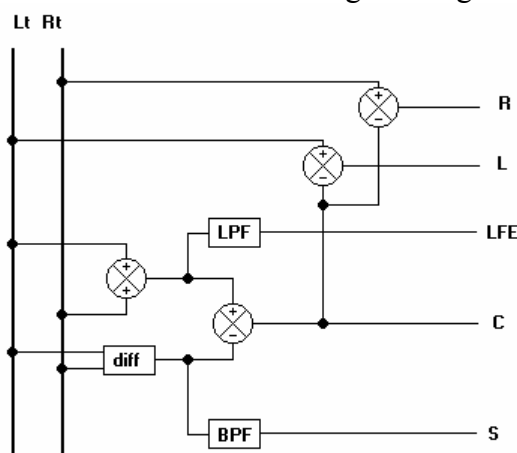
\*: Zene üzemmódban azért nincs balanszkiegyenlítés, mert előfordulhat, hogy a sztereo hangtérben a vokalisták, vagy a domináns énekhang a középiránytól direkt el van tolva valamelyik oldalirányba.

A szükséges elméleti alapok megismerése után következzen a tervezés!

### Tervezés

#### Az első verzió

Hasonló áramkörrel is próbálkoztam már, pontosan négy évvel ezelőtt. Akkoriban azonban egyrészt még nem ismertem (nem értettem meg) ennyire részletesen az eredeti Dolby-dekóderek működését, és a megértett részletek megvalósításához is meglehetősen kevés ismeretem volt. Technikusi vizsgamunkámnak (2000.04.29 – Jedlik Ányos Informatikai Szakközépiskola, Győr, elektronika-elektrotechnika szakmacsoport) végül mégis része lett egy hasonló térhatást származtató-áramkör. Ennek logikai diagramját mutatja a 38. ábra.



38. ábra – Az első származtató-áramkör logikai diagramja

Félreértelmezésben és egyszerűsítésekben bővelkedik a megoldás – kövessük a logikáját:

A legbonyolultabban a center csatorna jele áll elő. A régi értelmezésben ugyanis a center csatorna jele a  $R_T$  és a  $L_T$  csatornák közötti **közös** jel. Sokat gondolkodtam azon, hogy két jeltől hogyan lehet kiszűrni **csak a közös** jelet. Ismertem a differenciálerősítőt, az azonban éppen a kívánalom fordítottját állította elő, vagyis **csak a két jel különbségét**. Némi fejtörés után kialakult a módszer: halmazelmélettel bizonyítottam, hogy a két csatorna közötti közös jelet úgy lehet megkapni, ha az összegükből levonjuk a különbségüket. Ennek megvalósítása látható a fenti ábrán, és bizony ha a dolby-s elvekre gondolunk (34. ábra), akkor beláthatjuk, hogy valójában nem is volt olyan téves gondolat – máshogyan, precízebben származtatja ugyan azt a centercsatornát, mint amit bekeverték.

A megoldás nagy előnye, hogy az így kapott center-jelben **nem lesz benne** a jobb és a bal csatorna jele úgy, ahogy a DS, és a DS-PL dekóderek esetében sajnos benne van. Nagy hátránya azonban, hogy ha a bemeneti balansz akármilyen ok miatt elcsúszik, torzulást szenved a közös jel, és akár teljesen más komponensek is kerülhetnek a közös halmazba, a centerbe.

Mivel az alapötletben a center csatorna fizikailag kiépítettnek tervezett, gondoskodtam arról is, hogy jele ne jöjjön létre fantom módon is: negatív előjelű hozzáadással kikevertem a  $R_T$  és a  $L_T$  csatornák jeleiből a fenti módon előállt centert – így állt elő a kimeneten a R és a L csatorna. A blokkábra szerinti megoldás azonban nem kellően precíz. Nem garantálja, hogy a center jele eltűnjön (0mV amplitúdójú legyen) a két forrásból, csupán csak azt, hogy amplitúdója csökkenjen, és a csökkentett amplitúdójú jel fordított fázissal kerüljön vissza a lesugárzott műsorba. A megoldás tehát számít az interferenciajelenségre, amely alapvetően hiba. A hallgatószoba ugyanis csillapított, és a L-R hangfalak között többnyire akadnak terepakadályok, amelyek az interferenciát gátolják.

Ami a surround jelet illeti, nálam az a két bemeneti csatorna közötti különbségjel. Ebben is igazam volt – valamelyest. Bekeveréskor ugyanis – mint látható volt – a surround jel a két bemeneti csatornában éppen 180 fokos fáziseltéréssel szerepel. Erre a megvalósítás szempontjából ideálisnak tűnt a differenciálerősítő alkalmazása. Ez pedig ismét eltér a dolby-s megoldástól: ott a  $\pm 90^\circ$ -os bekeverési elvet szem előtt tartva, a dekóderben megfelelő előjellel összegzik a két bemeneti jelet. A differenciálerősítő ehhez képest ismét jobb megoldásnak tűnik: számára ugyanis lényegtelen a bemenő jelek fázisa, mindenképpen a különbség abszolútértékét adja. A két megoldás között mégis jelentős különbség van. A differenciálerősítő ugyanis akkor is különbségjelet ad, ha a bemeneti jelek között csak amplitúdókülönbség van.

A centernél említett balansz-hiba itt hatványozottan jelentkezik: ha elcsúszik a balansz a bemeneten, lényegesen amplitúdó-csökkentett kimeneti jelet kapunk. Ez pedig sajnos erősen **hallható** hibája volt a konstrukciónak. A származtatás után következett a BPF jellegű szűrés, és a késleltetés – utóbbira akkor még semmiféle megoldásom sem volt.

Az LFE-jel származtatása egyszerű: mivel a center jelének származtatásakor már előállt a két bemeneti jel összege, ezt felhasználva egy további LPF szűrővel készült az LFE csatorna jele.

Az áramkör 2000-ben elkészült, és sokáig használtam – sikerrel. Sosem voltam abban a tévhitben, hogy tökéletes a megoldásom, sőt: tisztában voltam vele, hogy jelentősen eltér a Dolby surround-dekóderektől, több szempontból is. Alapvető hibája volt, hogy virtuális pontforrást a horizontális síkon forgatni nem tudott, ugyanis amint kitért a virtuális forrás a centerből, azonnal megjelent a hátsó síkban. Habár ara számítottam, hogy a jelenséget kompenzálni fogja az „elől” és a „hátról” fogalmi közötti jobb és a bal csatorna, ez nem így lett – szétesett, eltorzult a tér. Kényelmes volt azonban rajta egyszerű, sztereo zenét hallgatni. A káoszt érzékelteti, hogy zene hallgatásakor kellően követhetetlen tér alakult ki ahhoz, hogy valamiféle térélményről beszéljünk. Tere volt, csak senki nem tudta megállapítani hallásra, hogy mi hol van benne. Ha például egy gospel-kórus tagjai elvileg egy vonalban helyezkedtek el a tér elülső felében, akkor az körülbelül parabola-ívre torzult körülöttem. Filmhez azonban nem volt zavaró ez a jelenség. Amikor a Mátrix című filmben Neo-ra lassított felvétellel lóttak, az bizony előlről hátrólra húzott el – a párbeszéd a centerből szóltak, és a helikopter lassított felvételben hallott rotorjától csak úgy remegett a levegő a subwoofer tolmácsolásában.

A származtató-fokozat első verziójáról összességében elmondható, hogy volt annyira hibás, hogy tanulva belőle ezúttal egy új áramkört készítek.

### A második verzió

Mint látható, jelentős kutatómunka, újabb áramköri ismeretek, és némi szerzett tapasztalat birtokában vágok neki ismét a tervezésnek. Nézzük először a célokat, amiket el szeretnék érni. Előrebocsátom, hogy a megoldás ismét egyéni, és egyszerűsített lesz; mivel a Dolby cég háromféle dekóderének elveiből fogom kiragadni a számomra szimpatikusakat.

Az első és legfontosabb a bemeneti balanszkiegyenlítés elvének adoptálása, hiszen mint tapasztaltam, e nélkül a többi fokozat működése jelentősen felborulhat. A balancing servo megoldást kell tehát kivitelezni, a tőlem telhető legnagyobb pontossággal. Ehhez szükségem lesz egy feszültséggel vezérelhető erősítőre (továbbiakban VCA), egy teljeshullámú egyenirányító fokozatra (FWR), egy DC-inverterre, egy differenciaerősítőre, és valószínűleg szinteltolókra is. Röviden fogalmazva – egyelőre – a cél a 36/2. ábra elvének áramköri megvalósítása.

A surround jel származtatása szintén történjen a 36/2 ábra szerint, azaz ezúttal nem differenciálerősítővel fog létrejönni a csatorna jele, hanem az elv szerinti előjeles összegzéssel.

A center csatorna jelének származtatása azonban véleményem szerint a 36/2. ábrán hibás. A jelölt módon ugyanis például egy balról jobbra sétáló, majd jobb oldalt eltűnő, dialógot mondó filmszereplő képtelen lesz elmozdulni a centercsatornától! A balról jobbra mozgás ugyanis azt jelenti, hogy a mozgás utolsó fázisában a  $R_T$  és  $L_T$  jelekben szereplő azonos spektrumú,  $ES\ 0^\circ$ -os fáziskülönbséggel jelen lévő dialóg amplitúdója fokozatosan a  $R_T$  csatornába úszik át. HA azonban a balancing servo azonos szintre átlagolja a  $L_T$ -beli nagyon halk, és a  $R_T$ -beli hangos dialógot, akkor a center-jel legfeljebb felére halkul, de képtelen elnémulni, miközben a szereplő már régen „teljesen jobbról” szól hozzánk. Első módosításom tehát ez: a center származtatódjon a 36. ábra szerinti összegzéses elven, DE NE a balanszírozott jelekből, hanem közvetlenül a  $R_T$  és  $L_T$  jelekből.

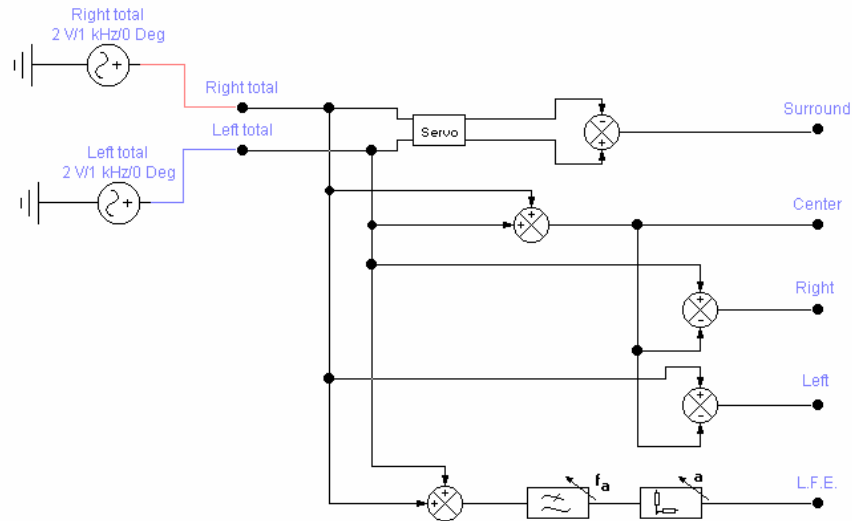
Amit a 36. ábra szintén nem tartalmaz, de a régi elvem igen – a létrejött center jelet ki kell keverni a  $R_T$  és  $L_T$  csatornákból. Mindez elvileg lehetővé fogja tenni imént említett módon sétálgató szereplőnk akusztikailag is tökéletes mozgását.

A DS, és PL elvektől eltérően egyik említett csatorna jelét sem fogom szűrni, minden marad az eredeti spektruma szerint, melyet az erősítőlánc, és a hangfalak igyekeznek majd (legalább) a 20Hz...20kHz tartományban lesugározni. A surround azonban mono marad, azzal tovább foglalkozni egyelőre nem szeretnék. Jele viszont a 31. ábra szerinti módon ki lesz vezetve a készülék hátlapjára, esetleges digitális késleltetés hozzáadhatósága céljából.

Származtató áramkörömet inentől kezdve nem nevezhetem sem Dolby-nak, sem Surround-nak, sem ProLogic-nak. Egyrészt mert ezek védett márkanévek, alapvetően pedig azért, mert azok elveitől eltértem, belenyúltam az elméletbe. Megpróbálok egyszerűbben kivitelezni egy köztes megoldást valahol a DS, a DS-PL, és a DS-PL-II dekódolási eljárások között. Mivel ez már valójában nem „Dolby legjobb logikája”, hanem az én logikám, hadd hivatkozzak eztán a származtató fokozatomra mint „MyLogic” dekóderre.

Jól bevált módszeremet hadd kövessem ismét: először bemutatnám a teljes blokkvázlatot, majd ezt bontogatva részleteiben is leírom az áramkör működését.





39. ábra – A MyLogic dekóder működési elve blokkvázlati szinten

A MyLogic dekóder a 39. ábrán feltüntetett Right total és Left total bemenetekkel kezdődik. A bemenetekre csak a jelölés kedvéért rajzoltam generátorokat, melyek azt szimbolizálják, hogy maximálisan 2V effektív értékű jelet képes kielégítően feldolgozni a teljes dekóder. Hogy ennek érdekében mi mindennek kell teljesülnie, a következőkben látni fogjuk. Kövessük ismét a jelutat!

A  $R_T$  és  $L_T$  jelek a már említett balancing servo fokozatra kerülnek. Ennek feladata a bemenetükre érkező azonos frekvenciájú, de eltérő amplitúdójú jel-komponenseket azonos szintre hozni. Így jön létre a tökéletes bemeneti balansz-kiegyenlítés, nagyban segítve (illetve az elvek szerint lehetővé téve) ezzel a további jelfeldolgozás folyamatát.

A balansz-servo-kapcsolás kimeneteiből a surround-kimenet a bekeveréshez képest fordított logikával áll elő, azaz a szintszabályozott  $R_T$ -t azonos, míg a szintszabályozott  $R_T$ -t inverz módon keverem egymáshoz, vagyis adom össze. Két azonos frekvenciájú, ellentétes fázisú, azonosan  $1V_{\text{eff}}$  amplitúdójú jel ily módon előálló különbsége  $2V_{\text{eff}}$ . Belátható, hogy a különbségképzés ezen feltételek mellett a bemeneti különbségjel kétszeresét adja. Ez viszont így helyes, hiszen a surround jelet bekeverésnél szándékosan elnyomták 3dB-lel, amely most visszanyerte eredeti szintjét.

Diszkutáljuk azt az esetet, ha valaki szándékosan felcseréli a MyLogic dekóder bemeneteit! Történik-e ekkor valami váratlan? Szokatlan eseményt az előjeles összegzéstől várhatnánk, de valójában nem okoz semmi rendellenességet, ha a két bemenet felcserélődik. Ha ugyanis a surround információt  $R_T +90^\circ$ -os, és  $L_T -90^\circ$ -os előjellel hordozza, akkor a surround kimeneten  $-90^\circ + -90^\circ = -180^\circ$  fázisú, azaz kétszer invertált, változatlan előjelű kimenetet kapunk, a már megtárgyalt dupla amplitúdóval. Ha azonban fordítva jön létre az előjeles összegzés, akkor  $90^\circ + -90^\circ = 0^\circ$  fázisú jelet kapunk, ami teljesen ugyan az az eset, mint a fent eredményül kapott  $-180^\circ$ .

Mi történik a surround kimeneten, ha center jel érkezik a bemenetre, azaz  $0^\circ$  fáziskülönbségű, nullától különböző tetszőleges amplitúdójú, azonos frekvenciájú bemeneti jelek. A balanszírozó áramkör azonos szintre hozza a két jelet, majd az előjeles összegzőből elméletileg maradék nélkül kivonódnak egymásból. A gyakorlatban ez nyilván nem így lesz, hanem definiálható lesz egy áthallási csillapítás a center és a surround között, melynek értéke  $A_{C-S} = 20 \cdot \log(U_{\text{surround}}/U_{\text{center}})$ , a bemenetre lehetséges maximális értékű center jelet adva.

A center jele hasonló módon, de szimpla összegzéssel készül. Jele a  $R_T$  és a  $L_T$  fázishelyes összege. Belátható, hogy ha azonos frekvenciájú, azonos amplitúdójú, és azonos fázisú jelek kerülnek az összegző bemenetére, akkor azok éppen kétszeres amplitúdójúra erősítik egymást. Elmondható tehát, hogy a fázishelyes összegzés a center esetében, ebben a megoldásban elektromos úton megy végbe, ugyanakkor, mint láthattuk a DS megoldásban mechanikai hullámokként összegződtek virtuális, vagy „fantom” hangszárazzóvá.

A jobb és a bal csatornák jelének származtatása már eltér a ProLogic elvtől (36/2. ábra), hiszen ki van keverve belőlük a center jele. Ez egyfelől jobb áthallási csillapítást eredményez (jobb térbeli pozicionálási lehetőséget), másfelől pedig megakadályozza, hogy a center csatorna mechanikai hullámok interferenciája révén is létrejöjjön, esetlegesen elmosva ezzel az „elől középén” fogalmát. Feltűnhet, hogy a 39. ábrán a jobb csatorna jele a bal jeléből levont center, ez azonban így helyes, hiszen  $C=L+R$ , és  $L-C=L-(L+R)=L-L-R=R$ , ahol a rövidítések továbbra is a hangcsatornák angol nyelvű nevének kezdőbetűi.

Az LFE származtatója – mivel forrásdokumentumaimban semmiféle konkrét utalást nem találtam ezzel kapcsolatban – az alábbi elgondolások alapján alakult ki:

- Nyilvánvaló, hogy a jobb és a bal csatornában egyaránt előfordulhat alacsonyfrekvenciás effekt; úgy is, hogy mindkét csatornában ugyan az az effekt van jelen, de úgy is, hogy csak az egyikben. Mindkét esetben szólnia kell az LFE csatornának, így hát a logikai VAGY kapcsolat miatt az elektromos megvalósításba egy összegző fokozat adódik.
- Honnan kapja a bemenetét az összegző? A szervóról, vagy közvetlenül a bemenetekről? Véleményem szerint szerencsésebb, ha közvetlenül a bemenetekről kapja. Döntésem oka az alábbi: vegyük azt az esetet, amikor a mélyfrekvenciás effekt csak mondjuk a jobb csatornában van jelen; a balban pedig nulla, vagy nagyon kicsi amplitúdóval szerepel. A szervónak nehézsége van az ilyen jelekkel, hiszen egyik fokozatától maximális erősítést kíván meg, a másiktól pedig valamilyen minimálisat. A kialakuló jel jó esetben a bemenő jel fele lesz; rossz esetben viszont nem, és esetleg még jelentős zaj vagy torzítás is rakódik rá a szélsőséges erősítések miatt. Ha azonban kikerülöm a balanszírozó fokozatot, nem adódhat ilyen probléma. Adódik viszont másik hasonló: a mindkét csatornában azonosan jelen lévő LFE center-jelként viselkedik, és egyfelől megjelenik a centerben – ami viszont nem baj – másfelől pedig az ilymódú keverés miatt dupla szintet fog eredményezni az LFE kimeneten. Célszerűnek látszik tehát 3dB-lel elnyomni a keverő után létrejövő jelet.
- Tudni való továbbá, hogy a subwoofert meghajtó műsorforrásban Dolby Digital kódolás esetén az LFE csatorna jele a többi csatorna szintjéhez képest +10dB-lel ki van emelve. Zenében pedig nincs, illetve ott nem is beszélhetünk bekevert LFE jelről, csupán basszustartományról. Zenéhez tehát 3dB, DD kódolt filmekhez pedig 13dB csillapítás válik szükségessé. Éppezért a jelszint-korrekciónak legyen állítható, mégpedig itt, az LFE származtató fokozaton.
- Szűrni kell. Az eddig létrejött információ ugyanis hangtechnikai szempontból szélessávú, amiből ezúttal csak az alacsonyfrekvenciás komponensekre van szükség. Értelemszerű tehát egy LPF-jellegű szűrő, nade milyen törésponti frekvenciával? A Dolby-elvek és a DTS-elv szerint mondhatnánk, hogy 120Hz, az emberi hallással kapcsolatos fejezet alapján pedig, hogy 500Hz. Sőt, bármi egyebet is választhatnánk, hiszen ez szubjektív – kinek mi a kényelmes, és kinél hogy alakul a hangfalak eredő átvitelének minimum pontja. Nálam – előrebozsátva a tervezendő hangfalak már rendelkezésre álló paramétereit – ezidáig a frontok működnek a mélytartományban

legtovább, egészen 50Hz-ig, ha hihetnek a gyári specifikációnak. Dönteni tehát nehéz, és nem is akarok, (és mások sem szoktak) – legyen a törésponti frekvencia hangolható, 500Hz-től mondjuk 50Hz-ig. Ez éppen egy dekádnyi átfogás – ilyen szűrőt viszonylag egyszerű készíteni.

### Miben más a MyLogic-elv, mint az eddig bemutatott dekóderek?

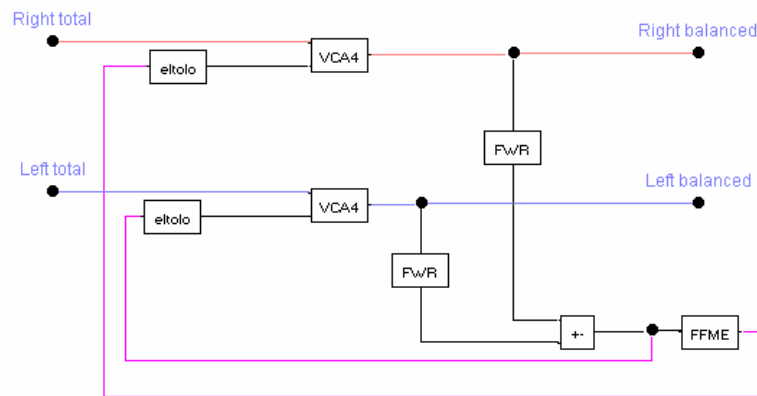
A saját első változatomhoz képest ugyanannak a célnak más a megvalósítása.

A Dolby Surround dekóderhez képest alapvető különbség a balancing servo, és általa az elvi aktív mátrix megvalósulása.

A MyLogic leginkább a ProLogic dekóderhez hasonlít Wide üzemmódú center-beállítással, gyakorlatilag azonban annyival több annál, hogy a jobb és a bal csatorna jeléből a jobb csatornaszeparáció érdekében ki van szűrve a center-jel.

A ProLogic-II dekóderhez már nem is szerencsés hasonlítani, hiszen az a jelfeldolgozást tekintve teljesen digitális, és ha lehet ilyet mondani, „még aktívabb” mátrixos. A funkciók tekintetében van viszont némi hasonlóság: a ProLogic II dekóder Music vagy Movie üzemmódjának feleltethető meg az a tény, hogy a MyLogic dekóder nem alkalmaz BPF-szűrést a surround csatornára; illetve annak ki/beiktatható, állítható paraméterű késleltetővonalára szintén e két üzemmód között választ. Eltérés azonban, hogy a jelenlegi változatban nem lehet bypassolni a balancing servo-t, holott a DS-PL-II Music üzemmódjához ez is szükséges volna.

	<i>Első változat</i>	<i>MyLogic származtató</i>	<i>Dolby Surround</i>	<i>DS ProLogic</i>	<i>ProLogic-II</i>
<i>Center/surround kiépítettsége</i>	fizikai/mono	fizikai/mono	fantom/mono	fizikai/mono	fizikai/sztereo
<i>Center származtatása</i>	halmazelmélet szerinti	előjeles összegzés	előjeles összegzés	aktív mátrix	Aktív mátrix
<i>Zenéhez alkalmas</i>	igen	igen	nem	nem	Igen
<i>Üzemmódok</i>	-	-	-	3/1, 2/1, 3/0 (Normal / Wide / Phantom)	3/2, 2/2, 3/0, 3/1 (Movie / Music / PL1)
<i>Spec. üzemmódok</i>	-	-	-	-	Panorama mode Dimension control Center width control
<i>Surround szűrés</i>	100...7k	nincs	100...7k	100...7k (100...20k)	nincs / 100...7k / nincs
<i>Surround késleltetés</i>	opcionális	opcionális	fix 20ms	15...100ms	állítható / állítható / nincs
<i>Automatikus balanszkiegyenlítés</i>	nincs	van, egytengelyes	nincs	van, egytengelyes	van, kéttengelyes, ki/be kapcsolható
<i>Fantom center elnyomása a jobb és bal csatornában</i>	van	van	nincs	Nincs	van
<i>Jelfeldolgozás módja</i>	analóg	analóg	analóg	analóg+digitális	digitális

Lássuk, hogyan lehet a MyLogic dekódert diszkrét alkatrészekből megvalósítani!

40.ábra – A balancing servo megvalósítása blokkvázlati szinten

A rövidítések feloldása:

- VCA4 – Voltage Controlled Amplifier (4. változatom) – feszültségvezérelt, aszimmetrikus vezérlésű erősítő
- FwR – Full Wave Rectifier – Teljeshullámú egyenirányító fokozat, kimeneti átlagolóval
- +/- – egyenfeszültség-differencia-erősítő
- FFME – Fázist fordító műveleti erősítő fokozat (szintén egyenfeszültséghez)
- eltolo – Feszültségeltoló fokozat

A jelút követése helyett ezúttal inkább csak az egyes jelölt blokkvázlati elemekről, és azok munkájának összehangolásáról írnék, a 40. ábra ugyanis teljesen megfeleltethető a 36. ábrán látott blokkvázlatnak. A különbség csupán egy szinteltoló fokozat, amelyre hamarosan látni fogjuk, miért van szükség.

VCA

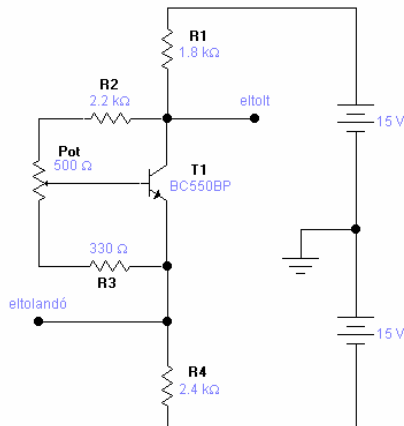
Egy VCA-fokozatról már esett szó a hangerővezérlés kapcsán. Valójában itt is teljesen ugyan azt a kapcsolást alkalmazom, némi módosítással. A beállítás, és a transzferfüggvény azonos, de a differenciaerősítő beállításán változtattam. Kérem engedjék meg, hogy a módosított kapcsolást ne közöljem, minden egyezik a 32. ábrán látottakkal, annyi különbséggel, hogy  $R_4=R_5=100\text{k}\Omega$ , és  $R_6=R_7=110\text{k}\Omega$ -ra cseréltem, illetve a vezérlés lesz eltérő.

A vezérlés annyiban fog eltérni, hogy munkaponti beállításként valamilyen fix vezérlőfeszültséget kell adni az áramkörnek, amihez képest majd a feszültség pozitív és negatív irányba is eltérhet, ezzel nagyobb, vagy kisebb erősítés felé elmozdítva az erősítőt. Célszerűen legyen ez a konstans feszültség az a már említett 3,5V, amely pontban az elvi és a gyakorlati transzferkarakterisztika metszi egymást. Azért ideális ez a munkapont, mert a gyakorlati görbe erre a pontra nézve pontszimmetrikus, azaz egy negatív irányú vezérlőfeszültség-elmozdulás azonos mértékű, de éppen ellentétes irányú változást hoz létre, mint egy pozitív, ráadásul a VCA maradék linearitáshibáját éppen kiegyensúlyozva.

A kapcsolás módosítására azért volt szükség, mert azt akartam elérni, hogy  $U_{vez}=3,5\text{V}$  esetén az erősítés éppen egyszeres legyen a bemeneti és a kimeneti szinuszos feszültségek viszonylatában. Így ugyanis elérhető, hogy a pozitív irányú vezérlőfeszültség-elmozdulás erősítést, a negatív irányú pedig csillapítást váltson ki. Mivel a vezérlőfeszültség munkaponti adata 3,5V, és a minimális vezérlőfeszültség 0,5V, a maximális vezérlőfeszültség 6,5V-ra adódik. A vezérlőbemeneten tehát legfeljebb 6V ingadozás engedhető meg. Ezekhez az

adatokhoz, ebben a módosított kapcsolásban előző sorrendet követve 1x, ~0x, illetve 2x erősítés tartozik.

### Eltoló



Az eltoló fokozat feladata lesz a fent kifejtett munkapont beállítása, azaz a bemenetére érkező hibafeszültségre  $+3,5V_{DC}$ -t szuperponálni. Áramköri megvalósítása a bal oldali, 41. ábrán látható.

Az ábrán látható adatok szerint, 3,5V-os feszültségeltoláshoz vonatkoztatva a főág árama 6,3mA, a mellékágé 1,16mA. A feszültségemelés a potenciométer segítségével 2,5V-6,2V-os határok között változtatható, mely a gyakorlati beállítást fogja segíteni.



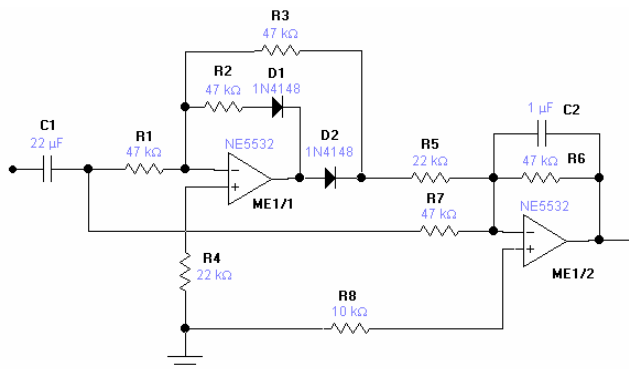
41. ábra – Az eltoló fokozat

### FWR

Az FWR rövidítés a **F**ull **W**ave **R**ectifier – angol nyelvű elnevezésből adódik; magyar jelentése: teljeshullámú egyenirányító. A blokkvázlaton (40. ábra) látható, hogy az egyenirányító fokozat a VCA kimeneti szinuszos jeléből azzal arányos egyenfeszültséget állít elő.  $C_2$  kondenzátor nélkül a kapcsolás egy precíziós abszolútértékképző, melyet a [4/II.] forrás 91. oldaláról adoptáltam. Az áramkör kimenetén a bemenetre adott feszültség abszolútértéke jelenik meg, invertálva.  $C_2$  kondenzátorral együtt a kimeneti feszültség átlagolódik. Az előálló feszültség tehát földhöz képest negatív. Számomra ez esetben az a fontos, hogy minden frekvencián azonosan „tökéletes”, azaz minimális harmonikustartalmú, és a bemeneti jellel arányos egyenfeszültség álljon elő a kimeneten. Az a tény, hogy a feszültség negatív, nem fontos, hamarosan látni fogjuk, miért. Az sem számít, hogy a kondenzátoros időbeli átlagolás nem egészen effektív értéket takar. Az eltérést az alább látható képletek mutatják:

$$u_{kiFWR} = -\frac{1}{T} \int_0^T |u_{be}(t)| dt \quad u_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_{be}^2(t) dt}$$

A kapcsolás kimeneti feszültsége azonban megfelelő formatényezővel, mint konstanssal szorozva effektív értéké is volna tehető. (Szinuszos jelekre ez:  $K = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$ )

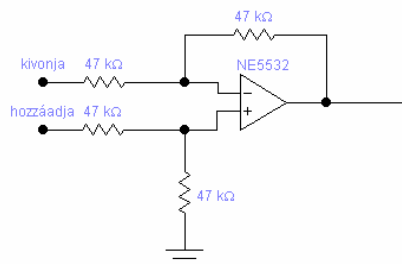


42. ábra – Teljeshullámú egyenirányító kapcsolás

A közölt értékekkel a kapcsolás a 2Hz feletti frekvenciájú bemeneti jelek esetén ad kimenetén azzal arányos egyenfeszültséget. Az átlagolást végző kondenzátor mindemellett sajnos lomhaságot is ad a kapcsolásnak – a magasabb frekvenciájú bemeneti jelekhez tartozó DC-válasz lassabban alakul ki a kimenetén. Hogy ez mennyire lesz zavaró, ki fog derülni, de majd csak a mérések, és a tesztek során.

### Összeadó-kivonó

A blokkábra „+/-” jelölésű eleme egy előjeles összegzőt takar. Nem invertáló bemenetére kötendő a 36. ábra szerinti elv alapján a balanszírozott Left Total; invertáló bemenetére pedig a balanszírozott Right Total jel. A kapcsolás sematikus rajza az alábbi, 43. ábrán látható:



43. ábra – Összeadó-kivonó áramkör

E fokozat célja a két FWR DC kimenete közötti hibajel előállítás. Ha ugyanis a  $L_T$  és  $R_T$  jelek szintben nem azonosak, a kezdetben közel 1 erősítésű két VCA a jeleket változatlanul átengedi, majd az FWR fokozatok más-más egyenfeszültséget állítanak elő. A két előállt feszültség különbsége az a hibajel, amely majd a VCA-kat nagyobb, illetve kisebb erősítések felé fogja vezérelni. Belátható, hogy e fokozat számára mindegy, hogy milyen előjelű bemeneti jelet kap, csak a kettő előjele legyen azonos. Ezért nem zavaró tehát, hogy az FWR fokozatok negatív jeleket állítanak elő.

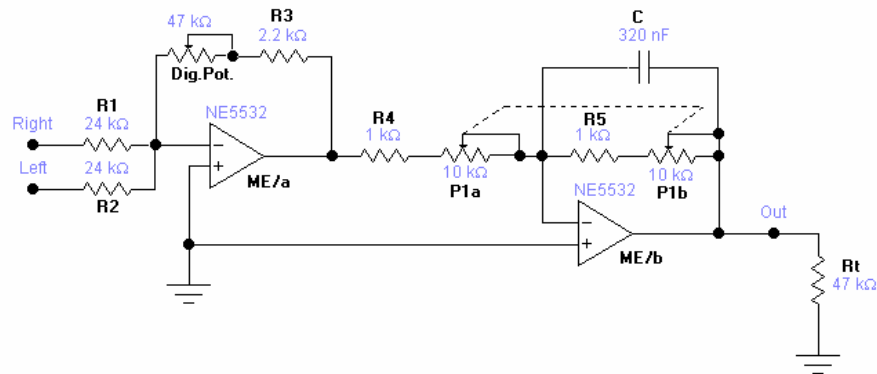
A kapcsolás erősítése 1, mivel minden eddigi, a szervo működéséhez szükséges kapcsolás – beleértve a közölt adatokkal készült FWR-t is – eredő alap-erősítése közel 1 volt. (Az FWR ugyanis csupán kb. 5%-os hibával követi az effektív értéket)

A +/- fokozat után egy műveleti erősítés invertáló alkapcsolás található, amely a hibajel előjelét megfordítja. Erre azért van szükség, mert a két VCA értelemszerűen ellentétes irányban, de azonos mértékben vezérlendő.

A 39. ábrán már csak két „doboz” maradt kibontatlanul – mindkettő az LFE-jel származtatásához kapcsolódik. Mint ahogyan azt már e fejezet során részletesen kifejtettem, ide egy olyan áramkörre van szükség, amely a két balanszírozatlan bemeneti jelet összegzi, szűri, és csillapítja – utóbbi kettőt változtatható mértékben. A szűrés legyen LPF-jellegű,  $f_0$  legyen változtatható 50 és 500Hz között. A csillapítóra korábban kiderítettük, hogy zenei anyagokhoz 3dB, filmekhez pedig 13dB csillapítással kell rendelkeznie. A csillapítást egészítse ki emelés, mely legyen mondjuk +6dB.

A 44. ábrán egy ilyen funkciókat megvalósító kapcsolás látható. Alapvetően három részre tagolható. Az első fokozata az 5532-es IC első műveleti erősítőjére épülő összegző. A bemeneti  $U_R$  és  $U_L$  feszültségek  $R_1$ -en illetve  $R_2$ -ön  $i_1=U_R/R_1$  és  $i_2=U_L/R_2$  áramokat ejtenek,

mivel a műveleti erősítő invertáló bemenete virtuális földpontként viselkedik.  $i_1$  és  $i_2$  áram a csomóponton összegződnek, ezzel létrehozva még a bemeneten a két bemeneti jel összegét.



44. ábra – Az LFE származtató előfokozat

Az összegző fokozat invertáló beállításban működik, melynek erősítése  $A=(R_{\text{Dig.Pot}}+R_3)/24\text{k}\Omega$ . Szintén ebben a fokozatban nyílik lehetőség az erősítésvezérlésre is – ehhez a változtatható ellenállás-értékű visszacsatoló ágat használom fel.  $R_3$  fix, ami azt jelenti, hogy egy bizonyos erősítéssel (inkább: csillapítással: -20dB) mindig rendelkezik a bemeneti fokozat. A 47kΩ-os potenciométer a könnyebb, és távvezérlésre is alkalmasabb vezérelhetőség kedvéért a korábban (31. ábra, 59. oldal) csak félig kihasznált DS1802, nyomógombokkal vezérelhető logaritmikus léptékű potenciométer. Az első fokozat eredő erősítése a potenciométer szélső állásaiban +6...-20dB.

A második fokozat egy újabb invertáló alapkapsolás, visszacsatoló ágában frekvenciafüggő elemmel. Tekintsük először az  $R_5$ - $P_{1b}$ - $C$  párhuzamos RC tagot. Az adott értékekkel, a  $P_1$  potenciométer szélső értékei között adódó rezonanciafrekvenciák (kerekítve) 45Hz és 500Hz. A szabályozhatóság ezzel rendben. A visszacsatoló ágban fellépő változó eredő impedancia azonban változó eredő erősítést is vonz magával. A változás azonban lineáris jellegű, így könnyű korrigálni – erre szolgál a  $P_{1a}$  jelű potenciométer, mely  $P_{1b}$ -vel teljesen azonos tulajdonságokkal rendelkezik, és vezérlésük is azonos. Fizikai tekintetben  $P_1$  egy 10kΩ-os, lineáris, sztereó forgópotenciométer lesz, mely az előlapon fog helyet kapni.

A cél megvalósult, a szabályozhatóság +6...20dB, illetve 45...500Hz.

A MyLogic kapcsolás ezzel teljes. Számítógépes áramkör-szimulációval ellenőrizve az ötlet valóban működik: a szervókapcsolás is rendeltetésszerűen végzi feladatát, és a MyLogic származtató-„dekóder” öt kimenete is a Dolby Surround általam módosított elvei szerint alakul.

A teljes MyLogic áramkör szintén egy modul lesz, így egy egyszerű csere után könnyen összehasonlíthatóvá válik az első származtató fokozat és a MyLogic dekóder „eredményessége”.

## V. fejezet – A szükséges végerősítők megtervezése

A rendszer tehát már majdnem kész; már csak a „szíve” hiányzik. A házimozsi-erősítő tud fogadni nyolc különféle bemeneti jelforrást, azok sztereó jeléből képes 4.1 csatornát származtatni, a hat független csatornás forrást is tudja kapcsolni, és minden kapcsoló és hangerővezérlő fokozat is a rendelkezésre áll már. Egyetlen áramkör-típus hiányzik már csak a sikeres működéséhez, ez pedig a végerősítő.

Ebben a fejezetben a szükséges végerősítők megtervezésével fogok foglalkozni. Nevezetesen kétféle végfokozatot tűzök ki célul. Az egyik típus legyen képes minél szélesebb frekvenciatartomány lineáris jellegű teljesítménybeli erősítésére. A kimeneti elektromos teljesítménye  $8\Omega$ -os lezárásra vonatkoztatva legyen legalább 30W; sávszélessége legyen legalább 20Hz...20kHz. A másik típusú erősítőnek ezzel szemben alapvetően csak a (0)...500Hz-es spektrum teljesítmény-erősítése lesz a feladata;  $8\Omega$ -os lezárásra ez legalább 50W elektromos teljesítményt legyen képes leadni.

Számomra a teljesítményerősítőket megtervezni volt az egyik legnehezebb feladat. Több mint 10 tranzisztor munkáját összehangolni meglehetősen nagy odafigyelést, és sok számítást kíván. Hozzá kell tenni, hogy korábban foglalkoztam már teljesítményerősítők építésével, de csakis az „ismerkedés” szintjén – készen kapott kapcsolási rajzokat építettem meg, és próbáltam elemezni, hogy melyik fokozat miért került az áramkörbe, annak mi lehet a feladata, és az mennyire jó vagy rossz az adott kapcsolat szempontjából.

A sok kipróbált kapcsolásból kettőt kell megemlítenem, amelyek tüzetesebb vizsgálódás tárgyát képezték. Az egyik a Rádiótechnika című folyóirat 1993/7 számának 326. oldalán megjelent, Horváth Péter híradástechnikai üzemmérnök által tervezett 100W-os (@ $4\Omega$ ) végfokozat. Felépítése a legegyszerűbb: egy differenciálerősítő bemeneti fokozat vezérel egy áramgenerátoros kiképzésű főerősítőt, majd végül egy szokványos komplementer emitterkövető elven működő, Darlington tranzisztorpár kiképzésű fokozaton kerül a jel a fogyasztóra. A Darlington két tranzisztor a nagyáramú BD243C-BD249C, illetve PNP oldalon BD244C-BD250C típusok. Munkapontjukat feszültséggenerátor segítségével lehet beállítani, A, B, vagy AB osztályba. Ezt az erősítőt körülbelül másfél évig használtam, de a hangjával igazából sosem voltam megelégedve.

A másik erősítő, amit a mai napig maximális megelégedéssel használok, a sajnos csupán 7 lapszámot megélt Hang&Technika magazin 3. számában (1999) jelent meg. Ez az áramkör gyökeresen eltér az először alkalmazott végerősítőtől. Egyszer 60V-ról működik, AB-osztályú beállításban. Előerősítő fokozata rendkívül kiszájú; külön stabilizált-szűrt tápfeszültségről üzemeltetett. Kompenzált; több helyütt frekvenciafüggő visszacsatolásokat alkalmaz. Végtranzisztor az azóta is csak Németországból beszerezhető BDT64C-BDT65C nagylinearitású, egy tokba szerelt Darlington tranzisztor-pár. Az erősítő kicsatolása az aszimmetrikus tápfeszültség és a komplementer emitterkövető elv egyidejű alkalmazása miatt kondenzátoros. A teljesítményerősítő – a publikált adatok alapján – maximális kivezérlése mellett,  $8\Omega$ -ra vonatkoztatott és 6...60Hz-es 3dB-es határok közötti IMD-je csupán 0,05%, THD=0,1%. A Richard M. Hay angol tervező által tervezett végfokozat számomra a mai napig etalon – egy olcsón kivitelezhető, ám számomra tökéletes, diszkrét alkatrészekből felépülő kapcsolat.

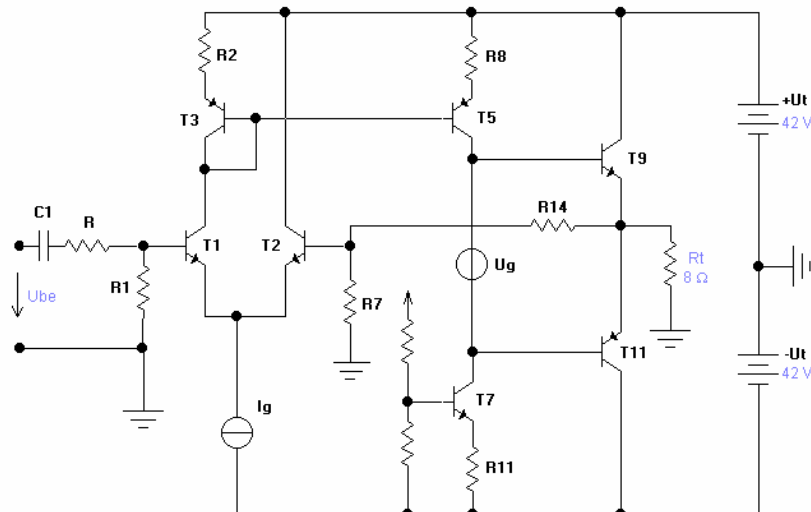
Ilyen minőségű modul tervezéséről egyelőre nyilvánvalóan nem is álmodhatok – ehhez komolyabb tapasztalatokra, még több bevált áramköri megoldás megismerésére volna szükség – viszont mindent el fogok követni e cél érdekében.



### Az alapelvektől a kész kapcsolásig

Kezdeni azonban kell valahol, ezért indulok egy „tankönyvillatú” erősítővel, mely számomra az első magam-tervezte végfokozat lesz. Fogtam hát könyveimet [2] [4] [16], valamint a tervezési segédleteket [18, 19], és kiválogattam a számomra legszimpatikusabb megoldásokat és tranzisztorokat. Ezeken alapul a leendő teljesítményerősítő alapelve. Második lépésben hozzáadtam a kialakult sematikus rajzhoz a tapasztalati úton szerzett egyéb hasznos megoldásokat, majd végül az alkalmas alkatrészek kiválogatása, a hosszas számítás, és a próbaáramkör-készítés fázisa kezdődött meg. A próbaáramkör elkészültével iterációszerűen tökéletesedett az áramkör – paramétermódosítás, számítás, meghallgatás váltogatták egymást, míg végre kialakult a megkívánt paraméterekkel rendelkező, ES szubjektíve szépen szóló teljesítményerősítő.

A teljes áramkört, annak viszonylagos bonyolultsága miatt három lépésben látom célszerűnek bemutatni. Az először bemutatott áramkör csak a tankönyvekből összeszedhető elveket fogja tartalmazni, a második lépésben azt további ötletekkel egészítem ki; végül pedig bemutatom a teljes kapcsolási rajzot, az előzőekhez képesti újabb kiegészítések magyarázatával.



45. ábra – Teljesítményerősítő - elvi működési vázlat  
(Az alkatrészek számozása a végő konstrukció (47.ábra) számozása szerinti)

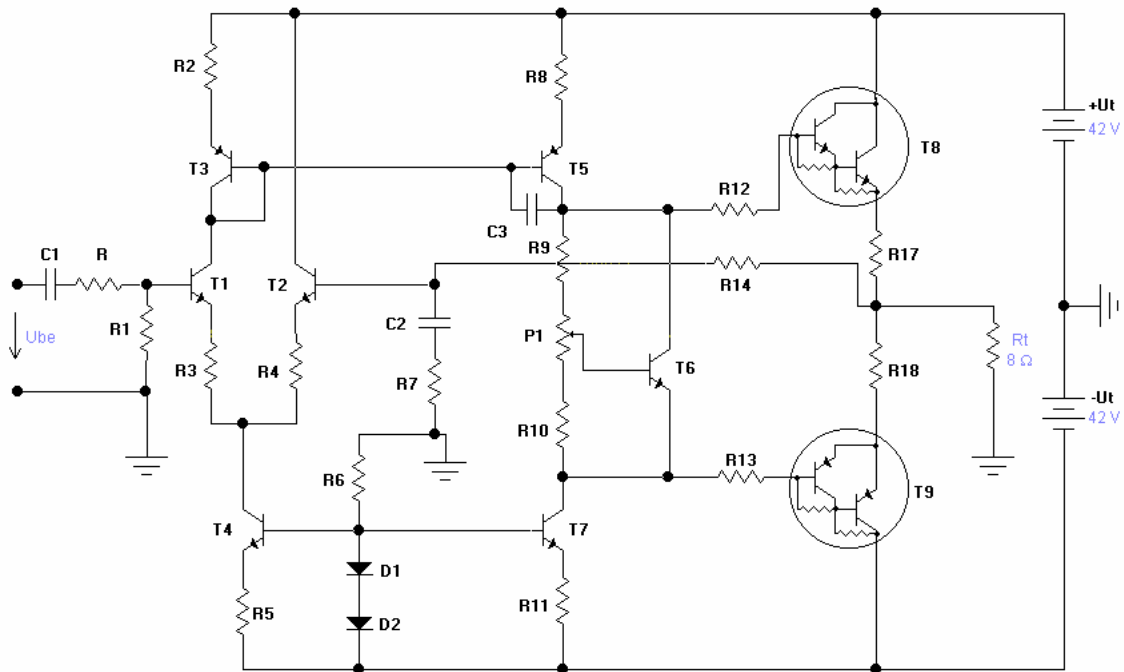
Először a végfokozat működési alapelvét választottam ki – legyen ez a „klasszikus” soros táplálású, ellenütemű komplementer emitterkövető. A 45. ábrán ezt T<sub>9</sub>-T<sub>11</sub> valósítja meg. Ez a fokozat – munkaponti beállítása szerint – működhet A, B, és AB osztályban. Ezek közül a legszimpatikusabb nyilvánvalóan az AB-osztályú beállítás, ahol már nincs (vagy legalábbis nem számottevő a tranzisztorok  $U_{BE}$  feszültségéből eredő) nemlineáris torzítás, de a végtranzisztorok még nem dissipálnak annyit vezéreltlenül, mint A-osztályban. A munkapont beállításához egy  $U_g$  feszültséggenerátor adjon nyitóirányú feszültséget a végtranzisztoroknak. E feszültség értéke B osztályú beállításhoz ideálisan 1,2V. Ebben az esetben a beérkező szinuszos vezérlőfeszültség pozitív félhullámaint kizárólag T<sub>9</sub>, negatív félhullámaint pedig kizárólag T<sub>11</sub> fogja erősíteni. A két hatás (a két áram)  $R_t$ -n összegződve adja a terhelésen átfolyó áramot.

A főerősítő fokozat legyen áramgenerátoros kiképzésű, a minél nagyobb feszültségerősítés megvalósítása érdekében. A fenti megoldásban T<sub>5</sub> a főerősítő fokozat tranzisztorja, mely az amúgy is nagy feszültségerősítéssel rendelkező közös emitteres

alapkapsolásban működik. Konstans áramáról aktív terhelése,  $T_7$  gondoskodik.  $T_7$  áramgenerátornak kötött tranzisztor előfeszítése egyelőre bázisosztós megoldású.

A bemeneti fokozat okozta a legnagyobb fejtörést – végül az eddig követett műveleti erősítős technológia „folytatását” választottam: legyen a bemenet egy differenciálerősítő. Ennek persze előnyei, és hátrányai egyaránt vannak. Előnye, hogy kimeneti jele könnyen csatolható a meglévő főerősítő fokozathoz, alapvető hátránya viszont, hogy csak  $U_{BE}^{T1} = \pm U_T$  ( $\pm 26\text{mV}@20^\circ\text{C}$ ) határokig tekinthető lineárisnak a működése. A bemenetre várható szinuszos jel azonban  $2V_{\text{eff}}$ , ami a szobahőmérsékleten vett  $U_T$ -hez képest körülbelül 77-szeres vezérlés. A lineáris átvitel megvalósításáért egyelőre csak az  $R$ , és  $R_1$  ellenállásokból kialakított feszültségosztó lesz felelős.

A differenciálerősítő az alapötlet szerint aszimmetrikus vezérlésben dolgozott volna. Nem invertáló bemenete azonban ideális egy visszacsatoló hálózat kialakítására. A negatív soros feszültség-visszacsatolást létrehozó  $R_{14}$ - $R_7$  egyelőre egy egyszerű feszültségosztó; a leosztás aránya [2] forrás szerint ilyen erősítőkhöz optimálisan 5 és 30 közötti érték. A differenciálerősítő tehát az „általános vezérléssel” működik:  $T_2$  adja a kimenetnek a visszacsatolás jelét,  $T_1$  pedig a bemenő jelet. A kettő különbségét  $T_3$  diódának kötött tranzisztor vezeti tovább  $T_5$  főerősítő bemenetére.



46. ábra – Teljesítményerősítő - első változat

A 46. ábrán a 45. ábra szerinti elvek kivitelezve láthatók, valamint ezeken felül az új kapcsolás további ötleteket tartalmaz.

A bemeneti fokozat differenciálerősítője egy újabb, ezúttal negatív soros áram-visszacsatolást kapott ( $R_3$  és  $R_4$ ), linearitási tartományának növelésének érdekében. Ezzel romlott ugyan a kapcsolás eredő meredeksége, és ezáltal feszültségerősítése is – bemeneti fokozatnál ez azonban nem alapvető szempont. Az emitterkörüli áramgenerátor feladatát  $T_4$  látja el, melynek áramát  $D_1$ - $D_2$ , valamint  $R_6$  állít be, körülbelül  $900\mu\text{A}$ -ra. Ezt az áramot azért választottam ilyen kicsire, mert ha kisebb áram folyik át a tranzisztoron, kevesebb a zaja.  $T_7$  áramgenerátor ugyanerről a pontról kap feszültséget, de  $R_{11}$  nem lesz azonos  $R_5$ -tel (látni fogjuk miért), így  $T_7$   $T_4$ -től eltérő  $U_{BE}$  nyitófeszültséget kap, melynek hatására a kollektorán átfolyó áram  $6\text{mA}$  körüli lesz. (Áttétes áramtükör).

A végtranzisztorokat az előző megoldáshoz képest Darlington tranzisztor-párokra cseréltem, mivel ebben a fokozatban nagy áramerősítésre van szükség. A szimpla tranzisztorokkal megvalósítható  $n \times 100\text{mA}$  helyett néhány amperre van szükségem a megfelelő kimenő teljesítmény megvalósításához. Ennek megfelelően a B osztályú munkapont beállításához szükséges előfeszültség ideális értéke  $4 \times 600\text{mV}$ -ra nőtt. Ezen felül célszerűnek látom a feszültséggenerátort változtatható értékűre építeni az alkatrészek szórásának korrekciója miatt. Feszültsége legyen változtatható, körülbelül 2 és 4V között. Ezzel tetszőlegesen akár mindhárom (A, B, és AB) osztályú beállítást is el lehet érni, de a cél továbbra is az AB osztályú beállítás lehetőségének megteremtése.

Ez azonban az eddiginél nehezebb feladattá vált, mivel immáron négy hőmérsékletfüggő  $U_{BE}$  azonos előállításáról kell gondoskodni. Ezen a problémán (is) hivatottak segíteni a nem sorszámozott, a végtranzisztorokkal egybeépített ellenállások, amelyek lehetővé teszik, hogy a  $T_9$  és  $T_{11}$  tranzisztorok csak nagyobb kimenő áram esetén nyissanak ki, még nagyobb réteghőmérséklet esetén is. Ezen a funkción felül a két ellenállás jótékony hatással van az elérhető sáv szélességre is. Az általam alkalmazott végtranzisztorokban a bal oldali ellenállás értéke  $10\text{k}\Omega$ , a jobb oldalié pedig  $150\Omega$ .

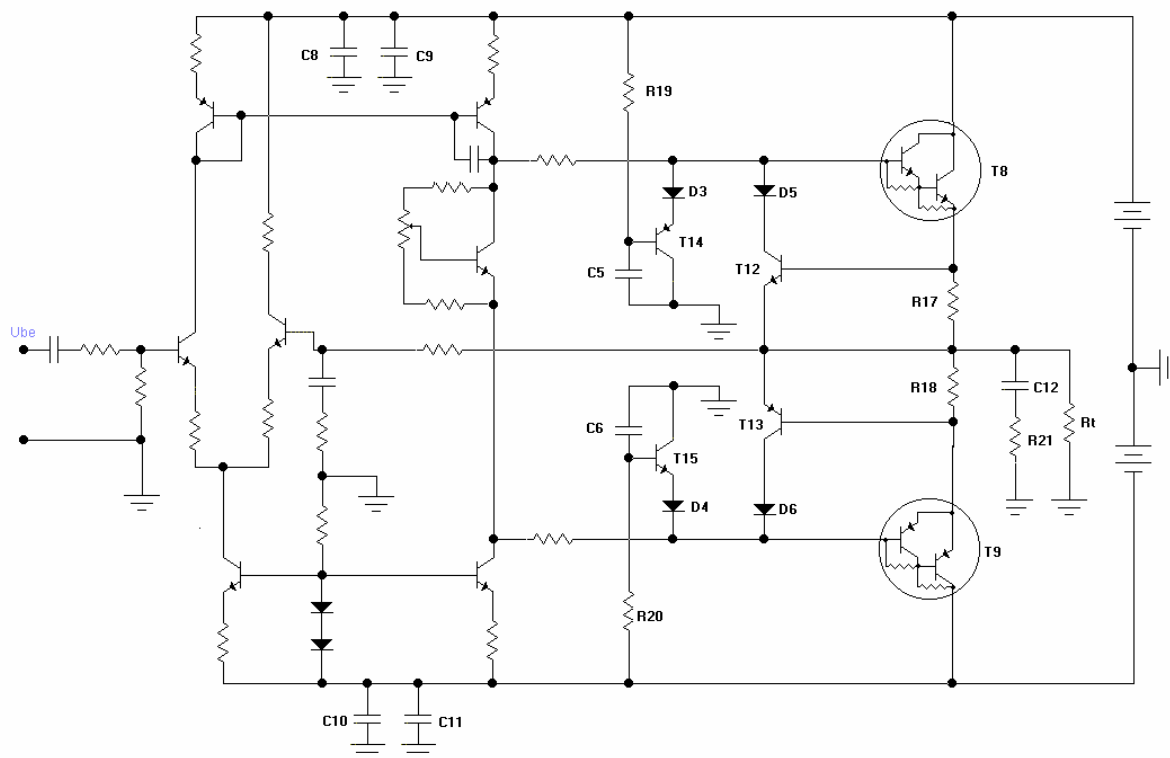
$R_{17}$  és  $R_{18}$  ebben a megoldásban passzív kimeneti rövidzárvédelem. Segítségükkel ha kimeneti ellenállás bármilyen okból rövidzárrá válna, a maximális kollektoráram  $U_i/R_{17-18}$  értékre korlátozódik. Sajnos ez  $0.33\Omega$ -os ellenállásokkal számolva még mindig 127 amper, ami a végtranzisztorok azonnali tönkremeneteléhez vezet kimeneti rövidzár esetén. Megoldás lehetne a két ellenállás növelése, ez azonban nem szerencsés, hiszen úgy egyre számottevőbb teljesítmény esne rajtuk üzemszerű körülmények között is, ezzel teljesítményt elvonva a velük sorosan kapcsolódó fogyasztóról, ami pedig jelentős hatásfokcsökkenést okozna. Elmondható tehát, hogy a passzív védelem számomra kevésnek bizonyul.

Gerjedés elleni védelem céljából került a kapcsolásba  $R_{12}$  és  $R_{13}$ , melyek a Darlingtonok kollektor-bázis kapacitásával együtt aluláteresztő szűrőként viselkedve a kapcsolás felső határfrekvenciáját állítják be. [2] forrásom szerint az említett tranzisztorok kollektor-bázis kapacitását az ellenállások beillesztésével egyidejűleg lenne célszerű növelni, szintén e cél érdekében. Ezt azonban nem ebben a fokozatban látom érdemesnek megtenni. A Miller elv alapján ugyanis bármely tranzisztor kollektora és bázisa közé kötött kapacitás áttételesen transzformálódik a bemenetre és a kimenetre egyaránt. A látszólagos kapacitások:  $C_{BE}^M = (1 - A_u) \cdot C$ , és  $C_{CE}^M = ((A_u - 1) / A_u) \cdot C$ . A kondenzátor tehát annál hatékonyabban fejt hatását, minél nagyobb az adott fokozat feszültségerősítése. A fenti kapcsolásban ezért e kondenzátor beiktatására a főerősítő fokozat a legalkalmasabb.  $C_3 = 68\text{pF}$  kondenzátor beiktatásával a felső határfrekvencia (a kapcsolás első és meghatározó nagyfrekvenciás töréspontja) a mérések szerint  $260\text{kHz}$  lesz. Ez pedig több, mint jó... Gerjedésvédelemre egyébként [2] alapján azért van szükség, mert a tranzisztorok tranzitfrekvenciája közelében (MHz-es tartományon) parazita oszcilláció léphet fel. Tranzisztorok tranzitfrekvenciája az a frekvencia, amelyen az áramerősítési tényezője ténylegesen nullává válik. Kisjelű, hangfrekvenciás tranzisztorok esetén ez az érték a néhányszor  $100\text{MHz}$  nagyságrendbe esik. Az alkalmazandó BC sorozatú tranzisztorokra ez a határfrekvencia NPN típusok esetén jellemzően  $300\text{MHz}$ , míg PNP típusok esetén  $150\text{MHz}$ .

A visszacsatoló hálózaton is változtattam: átvitelét frekvenciafüggővé tettem  $C_2$  kondenzátor beiktatásával. Ennek hatására alacsonyabb frekvenciákon nagyobb lesz az eredő erősítés.

A 47. ábrán látható kiegészítések mindegyike szintén valamilyen védelmi funkciót lát el:

$R_{19}$ - $D_3$ - $T_{14}$ - $C_5$  és  $R_{20}$ - $D_4$ - $T_{15}$ - $C_6$  egy-egy RC időzítésű koppanásgátlót alkotnak. Ez a két azonos fokozat a kapcsolásra általában impulzusszerűen kerülő tápfeszültség hatására létrejövő koppanásszerű effekt ellen véd azáltal, hogy a végtranzisztorok bázispontjait kis időre rövidre zárja. A rövidre zárás ideje az  $RC=\tau$  időállandóval változtatható.  $5\tau$  elmúlása után a koppanásgátló körök többet gyakorlatilag nem zavarják a kapcsolat működését – mintha ott sem lennének.



47. ábra – Front- és effekterősítő véglegesített változat

Az előző ábra kapcsán megállapításra került, hogy a passzív rövidzárvédelem számomra kevés. A végleges megoldásban ezért aktív védelmet alkalmazok,  $T_{12}$ - $D_5$  és  $T_{13}$ - $D_6$  beiktatásával. Ennek működése egyszerű (pozitív félhullámra felírva): ha  $R_{17}$ -en a feszültség eléri a 600mV-ot (580mV-ot),  $T_{12}$  kinyit, és  $T_8$  bázisáról töltéseket juttat közvetlenül a kimenetre. A kapcsolat a végleges beállításban körülbelül 60W kimenő teljesítmény felett fog határolni.

A gerjedésvédelem is finomodott. A korábbi megoldáson felül – mint kiegészítő védelem – egy  $C_{12}$ - $R_{21}$  soros RC-tag került a kimenetre, azonos céllal, mint fentebb. Ez a tag egyúttal mint alacsonyfrekvenciás kompenzáló tag is szerepet játszik a jellemzően induktív jellegű hangszóróvezeték, és a hangfal keresztváltójának eredő induktivitásai kapcsán.

$C_8=C_{10}$  és  $C_9=C_{11}$  kondenzátorok két lépcsős tápköri zavarűrészt valósítanak meg ott, ahol az áramkör a legérzékenyebb a tápfeszültség felől érkező zavarokra – a bemeneti fokozatban.

#### A tranzisztortípusok válogatása

$T_1$  és  $T_2$  legyenek párba válogatott, nagy áramerősítési tényezőjű, kis torzítású, kiszajú, nagy feszültségű típusok. Ezeknek a feltételeknek eleget tesz a BC546C típus. Fontosabb jellemzői:  $h_{FE}=420-800$ , zajtényező: tip. 2dB,  $f_T=300\text{MHz}$ ,  $U_{BE}=580-700\text{mV}$ ,  $U_{CE}=\text{max. }65\text{V}$ .

$T_4$  áramgenerátor szerepű tranzisztor legyen szintén BC546C.

$T_3$  diódának kötött tranzisztor legyen a BC546-hoz képest még kisebb zajú BC559C PNP típus. (Egyébként optimális esetben azonosnak kellene lennie  $T_5$ -tel.)

$T_5$  aktív terheléssel ellátott főerősítőként üzemel, ezért nagyobb kivezrlések esetén a TO-92 tokozásra specifikált 500mW disszipációt meghaladóan fog melegedni. Típusa legyen BD140-16, melyre az alábbi adatok jellemzők:  $I_{Cmax}=1.5A$ ,  $U_{CEmax}=80V$ ,  $h_{FE}=100-250$ ,  $P_{Dmax}=8W$ , TO-126 tokozás. Áramgenerátorának,  $T_7$ -nek hasonló terhelést kell kibírnia, legyen ezért fenti komplementer típusa: BD139-16.

$T_6$  feszültséggenerátorként dolgozik. Kevesebb, mint 10mA fog átfolyjni rajta, és  $U_{CE}$  feszültsége is legfeljebb 4V lesz. Mivel egyéb adatai a kapcsolás szempontjából közömbösek, elvileg akármilyen típust választhatnák. Legyen BD139 típus, de csak annak tokozása végett. A BD139 (TO126 tokozás) ugyanis felcsavarozható a hűtőbordára, így a feszültséggenerátor tranzisztorra együtt hűlhet-melegedhet a végtranzisztorokkal. Ez azért jó, mert mint minden tranzisztornak, ennek is hőmérsékletfüggő a nyitófeszültsége; nevezetesen  $1^\circ K$  változásra körülbelül 2-3mV-ot csökken. Ezzel a megoldással tehát kivitelezhető egyfajta – korántsem tökéletes – hőmegfűtés-védelem is. Ha a végtranzisztorokon túl sok áram kezd folyni, a disszipáció megnő, a hűtőborda melegszik. Ennek hatására azonban a végtranzisztorokat nyitva tartó feszültség lecsökken, záróirányba kényszerítve ezzel azokat, melynek hatására csökkenni fog a rajtuk folyó áram...

A Darlington kapcsolású végtranzisztorok típusa legyen az A30-ban kiválóan bevált nagylinearitású BDT64C, és BDT65C típusok. Fontosabb jellemzői:  $I_{Cmax}=12A$ ,  $U_{CEmax}=120V$ ,  $h_{FEmin}=1000$ ,  $P_{max}=125W$ , TO-220 tokozás.

Az összes dióda legyen a hangfrekvenciás kapcsolásokhoz jól bevált és könnyen beszerezhető 1N4148 típus.

A védelmeket megvalósító tranzisztorok típusa szintén közömbös, legyenek a legolcsóbb BC182 és BC212 típusok.

A 47. ábra szerinti kapcsolás véglegesített paramétereit foglalja össze az alábbi táblázat:

$R_1, R_{14}$	100k $\Omega$ 0,66W 1%	$C_1$	22 $\mu$ F, 63V, 20%, elektrolit
$R_2$	360 $\Omega$ 0,66W 1%	$C_2$	47 $\mu$ F, 63V, 20%, elektrolit
$R_3, R_4, R_8$	22 $\Omega$ 0,66W 1%	$C_3$	68pF, kerámia
$R_5$	680 $\Omega$ 0,66W 1%	$C_5, C_6$	10 $\mu$ F, 63V, 20%, elektrolit
$R_6, R_7$	10k $\Omega$ 0,66W 1%	$C_8, C_{10}$	2,2 $\mu$ F, 63V, 10% WIMA
$R_9$	1k $\Omega$ 0,66W 1%	$C_9, C_{11}$	100nF, 63V, 10% fólia
$R_{10}$	470 $\Omega$ 0,66W 1%	$D_1 \dots D_6$	1N4148
$R_{11}$	100 $\Omega$ 0,66W 1%	$T_1, T_2, T_4$	BC 546 C
$R_{12}, R_{13}$	100 $\Omega$ 0,66W 1%	$T_3$	BC 549 C
$R_{15}, R_{16}$	150 $\Omega$ 0,66W 1%	$T_5$	BD 140 -16
$R_{17}, R_{18}$	0.33 $\Omega$ 5W 5%	$T_6, T_7$	BD 139 -16
$R_{19}, R_{20}$	560k $\Omega$ 0,66W 1%	$T_8$	BDT 65 C
$R_{21}$	10 $\Omega$ 1W 5%	$T_9$	BDT 64 C
P	500 $\Omega$ lin. trimmer	$T_{13}, T_{14}$	BC 212 C
		$T_{12}, T_{15}$	BC 182 C

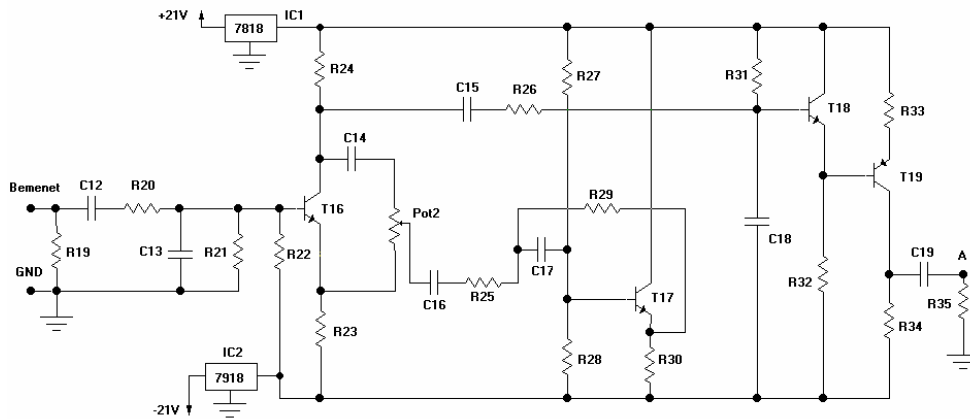
14. táblázat – Front- és effekterősítő alkatrészlistája

## Mélyfrekvenciás erősítő

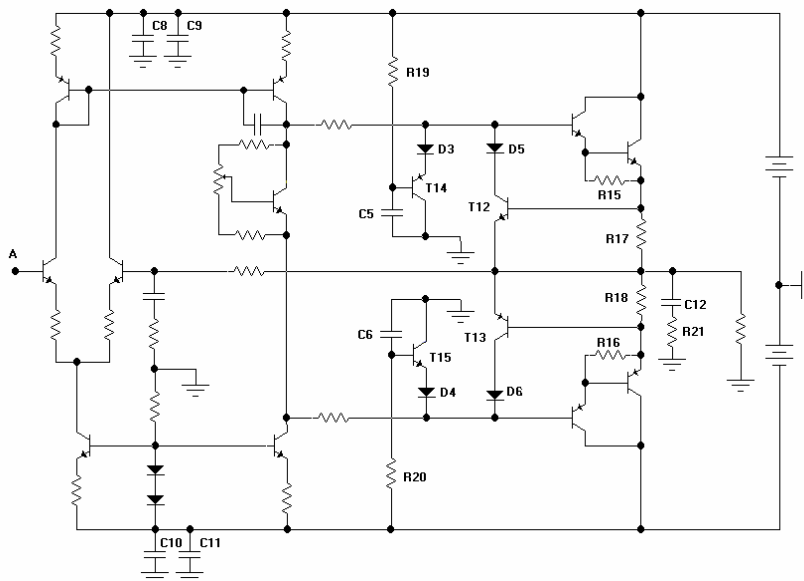
Az LFE jelhez tartozó végfokozat lényegében ugyan az, mint a fent ismertetett végerősítő, néhány változtatással, melyek alább kerülnek ismertetésre.

Ennek a végerősítőnek nem célja a teljes hangfrekvenciás sáv szélesség átvitele, csupán 500Hz alatt kell működnie. Célja viszont legalább 50W kimeneti teljesítmény leadására való képesség 8Ω-os terhelésre. A másik lényeges feladata, mely a subwoofer tervezésével foglalkozó fejezetből fog kiderülni, hogy a megtervezett subwoofer sajnos átvitele kis szakaszán egyenletlen frekvenciamenettel rendelkezik. Ezt a kisebb hibát pedig ebben a fokozatban tűnt a legcélszerűbbnek korrigálni.

A mélyfrekvenciákat erősítő végfokozat véglegesített változata az alábbi, 48. ábrán látható:



48./a ábra – LFE teljesítményerősítő bemeneti fokozata



48./b ábra – LFE teljesítményerősítő főerősítő- és végfokozat, valamint a védőáramkörök

A 47. ábrán látható erősítőhöz képesti eltérések az alábbiak:

Mint látható, a bemeneti fokozat egy újabb, négytranzisztoros fokozattal bővült, amely valójában nem más, mint egy tranzisztoros fokozatokból kialakított egysávú equaliser (hangfrekvenciás kiegyenlítő). Feladata elsősorban a leendő subwoofer átviteli linearitáshibájának korrekciója. Mint később olvasható lesz, konkrétan 6dB-lel kell elnyomni a 60Hz-es frekvenciájú komponenseket, és szűk környékét.

Az áramkör tervezése nem saját munkám; azt a [http://users.otenet.gr/~athsam/EQ\\_3.htm](http://users.otenet.gr/~athsam/EQ_3.htm) weblapról töltöttem le. Aki felkeresi a honlapot, ott egy 5 sávú equalisert talál, 55, 270, 1000, 3500 és 12000 Hz-es középponti frekvenciákkal. A kapcsolás le lett egyszerűsítve és át lett alakítva a számomra szükséges feladathoz. Működését tekintve egy komplex visszacsatoló hálózat található a T<sub>16</sub>-tal, és a T<sub>17</sub>-tel felépített fokozatok között. Kondenzátorok nélkül (C<sub>16</sub>=rövidzár, és C<sub>17</sub>=szakadás) esetén a Pot2 jelű potenciométerrel csupán a kimeneti szint volna szabályozható, ±10dB-es határok között. C<sub>16</sub> soros kondenzátor beiktatásával az átviteli függvény felüláteresztőszűrő-jelleget kap, 45Hz-es -3dB-es frekvenciával, amellett, hogy természetesen megmaradt a szinuszszabályozhatóság. C<sub>17</sub> (eredően) párhuzamos kondenzátor beiktatásával pedig egy újabb, de ezúttal aluláteresztő-jelleget kap az átvitel, 85Hz-es -3dB-es frekvenciával. Az eredő átvitel így a Pot2 lineáris potenciométer...

- középállásával: egyenletes, A<sub>u</sub>≈0dB;
- felső végállásával: sáváteresztő jellegű, ( $[85+45]/2=$ ) 65Hz-es középponti frekvenciával, ahol A<sub>u</sub>=+10dB;
- alsó végállásával: sávzáró jellegű, 65Hz-es középponti frekvenciával, ahol A<sub>u</sub>=-10dB.

Az új bemeneti fokozat feszültségerősítése alaphelyzetben (Pot2=50%) tehát A<sub>u</sub>=1, így a front- és effekt-végfokozatokkal egyező alkatrészekből felépülő LFE-végfokozat érzékenysége közel azonos lehet a front- és effekterősítő végfokozatokéval.

A nagyobb kimeneti teljesítmény nagyobb áramú végtranzisztorokat kíván. A Darlington-elvről itt sem mondtam le, csak ezúttal két különálló tranzisztorból lett összerakva a pár. T<sub>8</sub>-T<sub>9</sub> és T<sub>10</sub>-T<sub>11</sub> ezúttal BD243C-BD249C, illetve BD244-BD250C. Mindegyik nagy áramú, kis B-jú típus. BD244C: B= min. 15, P<sub>max</sub>=65W, I<sub>Cmax</sub>=8A. BD250C: B= min. 15, P<sub>max</sub>=125W, I<sub>Cmax</sub>=25A. Az LFE fokozathoz tartozó hűtőbordán ezúttal tehát hét darab tranzisztor lesz. A nagyobb disszipáció komolyabb hűtést is fog igényelni – mivel nagyobb hűtőfelület az adott műszerdobozban nem lesz elérhető, aktív hűtést választok.

Az R<sub>15</sub> és R<sub>16</sub> jelzésű ellenállások ebben a megoldásban külső elemek. Értékük, mint a fenti megoldásban is: 150-150Ω, feladatuk a korábban leírtakkal azonos.

Adós vagyok még az LFE-végerősítő bemeneti fokozati kapcsolásának alkatrész-paramétereivel. Ezeket foglalja össze a 15. táblázat:

R <sub>19</sub> , R <sub>22</sub>	330kΩ 0,66W 1%	C <sub>12</sub>	47μF, 63V, 20%, elektrolit
R <sub>20</sub> , R <sub>26</sub>	2.2kΩ 0,66W 1%	C <sub>13</sub>	1.8nF, 100V, fémfólia
R <sub>21</sub>	120kΩ 0,66W 1%	C <sub>14</sub>	220μF, 63V, 20%, elektr.
R <sub>23</sub> , R <sub>24</sub>	6.8kΩ 0,66W 1%	C <sub>15</sub> , C <sub>19</sub>	22μF, 63V, 20%, elektrolit
R <sub>25</sub>	1.8kΩ 0,66W 1%	C <sub>16</sub>	1μF, 63V, 20%, elektrolit
R <sub>27</sub>	200kΩ 0,66W 1%	C <sub>17</sub>	47nF, 100V, fémfólia
R <sub>28</sub>	220kΩ 0,66W 1%	C <sub>18</sub>	68pF, kerámia
R <sub>29</sub>	1.5kΩ 0,66W 1%		
R <sub>30</sub>	15kΩ 0,66W 1%	T <sub>16</sub> , T <sub>17</sub> , T <sub>18</sub>	BC 550 C
R <sub>31</sub>	2.2MΩ 0,66W 1%	T <sub>19</sub>	BC 559 C
R <sub>32</sub>	10kΩ 0,66W 1%		
R <sub>33</sub> , R <sub>34</sub>	1kΩ 0,66W 1%	IC1	7818
R <sub>35</sub>	100kΩ 0,66W 1%	IC2	7918
Pot2	50kΩ lin. trimmer		

15. táblázat – LFE végerősítő bemeneti fokozatának alkatrészlistája

## VI. fejezet – A tervezendő rendszer tápellátásának megtervezése

A rendszerbe tehát alapkiépítésben a III.-IV.-V. fejezetben olvasott egységek fognak belekerülni, ezek tápellátása pedig éppolyan fontos, mint a rendszer bármely más eleme. Hiábavaló volt ugyanis minden eddigi igyekezet, ha a tápegység nem képes a megfelelő energiát szolgáltatni.

Az alultáplálás problémája sajnos a manapság kereskedelemben kapható audioberendezések többségének gyenge pontja. Sőt, kijelenthető, hogy a vásárlókat éppúgy (szelíden fogalmazva is) megtévesztik az elterjedt marketing-trükkök, mint ahogyan teszik azt a korábban taglalt különféle „3D”-hanghatást reklámozó rejtélyes márkanévvel és matricákkal. Nem csoda hát az sem, ha az energia és a teljesítmény fogalma az átlagos felhasználóban tévesen alakult ki.

Számítástechnikában a multimédiás hangfalakra elterjedt megtévesztés a P.M.P.O. jelölés használata. Mint rövidítés a **Peak Music Power Output** fogalmat takarja, azaz angolból fordítva „maximális kimeneti zenei csúcsteljesítményt” igyekszik elhitetni a vásárlóval. Ha azonban felnyitjuk a kicsi műanyag hangfal dobozát, jó esetben 15W-os hálózati transzformátort és egy TDA sorozatú integrált végerősítő-modult találunk benne. Ez a típusú IC 2x1W-tól 2x25W kimeneti elektromos teljesítményig készül. Áramköri felépítésük szerint műveleti erősítő technológiájúak, Darlington tranzisztorpár kimenettel. Az aktív hangfal valós RMS teljesítményét könnyű megbecsülni. A leggyengébb láncszem ugyanis többnyire a transzformátor. Ha 15W a trafó, és 50-78% közé tehető egy AB osztályú végerősítő-fokozat hatásfoka, akkor jó esetben is csak körülbelül 11 Wattnyi teljesítményt láthatunk viszont a hangszórókon, **összesen**. Vagyis oldalanként 5,5 Watt. Miért van hát ráírva a dobozára, hogy „600W P.M.P.O.”? Mert jobban hangzik, és így könnyebb eladni... Villamos szempontból nem hazudik a cég; mert lehet mindkét tény egyszerre igaz. Habár az ily módon jelölt aktív hangfaltól legfeljebb 2x5,5 Watt elektromos (illetve kb. 2x10W zenei) teljesítményt várhatunk el, igaz lehet a másik felirat is; azaz a hangfal kimeneti teljesítménye valamilyen rendkívül kicsi időtartamra elérheti a 600W csúcsteljesítményt (gyakorlatilag a tápköri pufferkondenzátoroknak köszönhetően), de ezután minden esetben az eszköz tönkremenetele következik be.

A vásárló megtévesztése azonban nem csak a számítástechnikában elterjedt. Elég, ha megtekintjük a legközelebbi műszaki áruház kínálatát, és nagynevű, négycsatornás erősítőkön is találkozhatunk a felirattal, mely azt sugallja, hogy elvileg 4x100W, összesen 400W kimeneti teljesítményt várhatunk tőle. Boldogan hazavisszük (mint ahogy egyik ismerősömmel megtörtént), eldicsekszünk vele barátainknak, majd jön a meglepetés: a hangerő 20-40%-ától felfelé az addig erőteljes basszus tompa puffogásba vált át, miközben a magashangok recsegő csörgésbe kezdenek. Ha ismétcsak levesszük a készülék fedlapját, legfeljebb egy 200-250Wattos toroid transzformátorral találkozhatunk. Számoljuk megint utána: 250W-ból vegyünk el kb. 20Wattot az előerősítők, és az előlapi csilli-villi fényjátékok számára; marad 230W. Négy végfokozat legyen ismét AB-osztályú beállításban, hatásfokuk legyen mondjuk 65% - ez 37Watt kimeneti teljesítményt jelent csatornánként, amely a címke szerinti ígéretnek éppen 37%-a. Ha a zenei anyagban csak viszonylag ritka basszus-beütések fordulnak elő, akkor hozzáadhatunk mondjuk 5W-ot, amely a tápköri pufferkondenzátoroknak, mint kis időállandójú energiatárolóknak köszönhető. Mindent összevetve, viszonylagos pontosságú számítással kiderül, hogy az erősítő, kivezérlésének 42%-ától felfelé alultáplálttá fog válni. Onnantól kezdve ingadozó tápfeszültség és tápáram fogja jellemezni. Az ingadozó, majd lehatárolódó tápfeszültség torzításhoz, a korlátolt áram pedig mélyhang-szegénységhez vezet. Hogy jött ki a cégnek mégis 4x100W? Úgy, hogy a négy csatornából csak egyet hajtottak a mérések során; a többi bemenet pedig földelve volt, így a másik 3 erősítőn csak a nyugalmi teljesítményeket mérték meg. A 4x100W tehát a



végerősítő-fokozatok felépítésére vonatkozik – ennyit adnának le egyenként, megfelelő tápegység esetén. A becsapás tehát ott van, hogy a fogyasztó valójában **egyszerre** sosem „láthat viszont” ekkora teljesítményt készüléke minden kimenetén, amint a feliratok súgják.

E két bemutatott esetet **rossz példaként** szemem előtt tartva kezdem el megtervezni a teljes hatszoros házimozsi erősítő tápellátását. Fontos fentiekkel egy időben megjegyezni, hogy tápegységet túlméretezni pedig gazdaságtalan; a szükségtelen tartalékolás bekerülési költsége ugyanis nagyon magas is lehet. A transzformátor, és a pufferkondenzátorok árai ebben a kategóriában négyzetesen nőnek az alkatrész következő szabványos értékével arányban. A cél tehát mindezen feltételek mellett az optimum megkeresése; lássuk mire lesz feltétlenül szükségem, mit kell tudnia a tápegységemnek.

1. A megtervezett erősítők tápenergiaigényét legalább a teljes kivezrlés 60%-áig fedezze. (Kis torzítású, jó linearitással rendelkező tartomány) Rendelkezzen megfelelő teljesítménytartalékkal a mély basszusok (a filmben előforduló robbanások, dübörgő effektek) hibátlan leadásához.
2. Legyen érintésvédelmileg biztos, azaz feleljen meg az érintésvédelmi szabályok előírásainak.
3. Legyen ellátva a megfelelő biztosítókkal.
4. Legyen az erősítők fokozatoktól különálló fém házban; ezzel EMC szempontból kiválóan el tudom szigetelni az erősítőimet az esetleges elektromos zavaroktól és a nemkívánatos mágneses behatásoktól.
5. Legyen a két műszerdoboz közötti tápellátó vezetékek csatlakozása bontható, de biztonságos. Legyen kellően robosztus, zárja ki a szakképzetlen kezelők által okozható károkat.
6. Működéséről előlapi világítódioda tájékoztasson.

### Milyen feszültségekre, és mekkora teljesítményekre van szükségem?

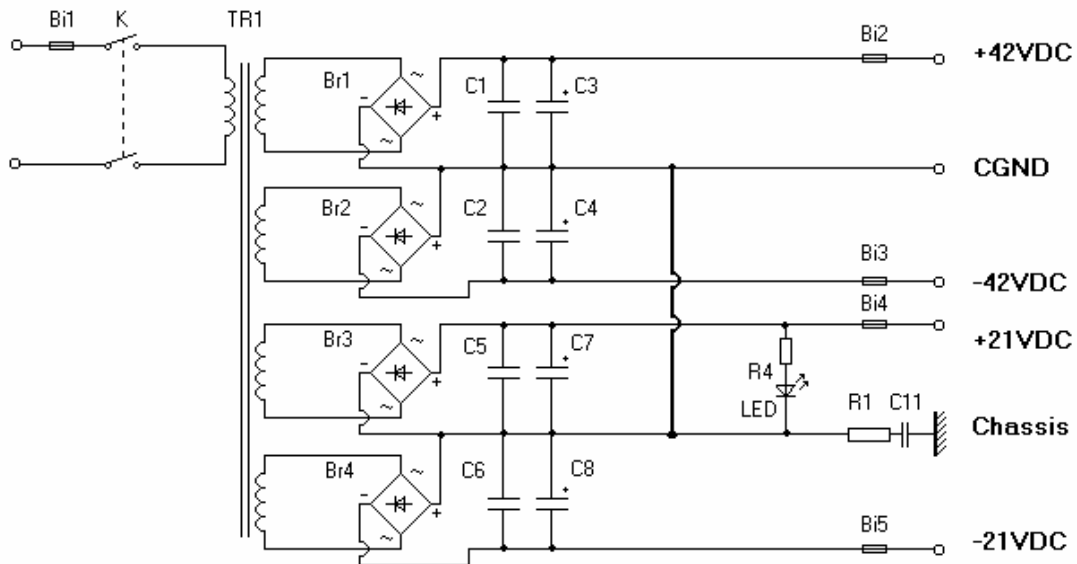
Amik nagyon sokat fogyasztanak, azok a végfokozatok. Tudvalévő, hogy az A osztályú végerősítők hatásfoka legfeljebb 50%, a B osztályúaké pedig legfeljebb 78%, a kivezrléstől függően; az általam tervezett AB osztályú erősítők hatásfokai tehát valahova a kettő közé fognak esni. Mint látható volt, a front- és effektcsatornák végerősítői 60W-nál még működnek; rövidzárvédelmük csak e kimeneti teljesítmény felett kezd határolni. Ugyanígy lesz beállítva a mélyfrekvenciás végerősítő is, összesen tehát elméletileg 6\*60W-nyi kimenő elektromos teljesítményről beszélhetünk. Az ehhez az adathoz tartozó tápigény 65%-os hatásfokot és legfeljebb 60% kivezrlést feltételezve körülbelül 315W. Ha az összes többi fokozatra (RIAA korrektor, mikrofonerősítő, kapcsolófokozatok, bemeneti fokozat IC-i, kimeneti fokozat VCA-i, MyLogic áramkör, és egyéb, járulékos áramkörök) legfeljebb 10-15W-ot számítok, valószínűleg nem tévedek nagyot.

Az erősítők tápellátása  $\pm 42\text{VDC}$ -ről fog történni. Azért éppen ennyiről, mert ennyit tud a meglévő transzformátorom nagyáramú szekunder ága egyenirányítás után. (Mellesleg egy 60 wattos erősítőhöz ez a szimmetrikus tápfeszültség bőven megfelelő.) A trafó másik kimenetpárjából  $\pm 21$  volt egyenfeszültséget kapok, egyenirányítás után. Ez amolyan mindenes ág lesz, amit bármire fel tudok majd használni. A végfokozatok kivételével jellemzően minden egység erről a tápágról fog működni, megfelelő zavorszűrés, stabilizálás, és puffereles után. Minden kisebb tápenergia-igényű áramkör úgy lett megtervezve, hogy szabványos feszültségekről legyenek üzemeltethetők, azaz  $\pm 5$ ,  $\pm 12$ ,  $\pm 15$ ,  $\pm 18$ , és  $+24\text{V}$ -ról, illetve a transzformátorom által előállítható  $\pm 21$ , és  $\pm 42$  voltról. Az egyes ellátandó blokkok és igényelt feszültségeik összefoglalása az alábbi, 16. táblázatban található meg.

Áramkör megnevezése	Ábrájának száma	Igényelt feszültség(ek)
RIAA korrektor	25	+24V
Mikrofonerősítő	26	+15V
CMOS áramkörök	29	+5V
DS1802	31	+5V
VCA-k	32, 40	±15V
MyLogic fokozat	40	±15V
Végerősítők	47, 48/b	±42V
LFE végerősítő bemeneti fokozata	48/a	±18V
Világítódiodák az előlapon	-	+5V

16. táblázat – Az egyes áramköri blokkok feszültségellátása

A külső tápegység sematikus rajzát mutatja a 49. ábra.



49. ábra – A külső tápegység sematikus rajza

A hálózati 230 voltot (az ábrán nem jelölt) hálózati zavarcsűrővel egybekötött, védőföld-csatlakozóval rendelkező aljzat fogadja. A zavarcsűrő az aljzattal egybeépítve is kapható – ezt fogom alkalmazni. A kicsi, lezárt dobozka tartalma egy-egy soros induktivitás, melyek előtt és után egy-egy párhuzamos zavarcsűrő kondenzátor volna található. A védőföld a melegvezetékbe és a hidegvezetékbe kapacitív osztóval kapcsolódik.

A zavarcsűrőt 230V a K jelű kétáramkörös kapcsolón át a transzformátor primer körére csatlakozik a Bi<sub>1</sub> jelű 5A-es lomha működésű biztosítóval. A biztosító hivatott túláramok ellen védeni a teljes tápkört, és ezáltal a teljes erősítő-rendszert is. Viszonylag nagy értékűnek, ES lomha működésűnek kell lennie, mivel a be és kikapcsolási folyamatoknál a transzformátor nagy induktivitású RL hálózatként viselkedik, így kis időtartamra a nyugalmi és üzemszerű áramoknál jóval nagyobb áramok is megjelenhetnek rajta. (Az 5A egy tapasztalati érték, mely az előző házimozsi-rendszerem megvalósításából származik.)

A transzformátor egy 300VA-es toroid típus. Nagy előnye kiváló hatásfoka, mely az önmagukban záródó mágneses erővonalainak köszönhető. Primer körére 230V 50Hz-es váltófeszültséget kapcsolva a szekunder körén 2x15V<sub>AC</sub>, és 2x30V<sub>AC</sub> jelenik meg. A

szekunder körök kiképzése – a 49. ábrán jelölt módon – egymástól minden irányban független (nem lecsapolásos).

A szekunder feszültségek  $Br_1$ - $Br_2$ , és  $Br_3$ - $Br_4$  Graetz-elvű teljeshullámú egyenirányító hidakra kerülnek. Ezek egységesen 70 voltos, 8 amperes típusok. (B70C8000)

Az egyenirányított feszültségeket  $C_1$ - $C_2$ , és  $C_5$ - $C_6$  zavorszűrők;  $C_3$ - $C_4$  és  $C_7$ - $C_8$  kondenzátor-párok pedig időben átlagolják, és pufferelek. A szűrő szerepű kondenzátorok egységesen 100nF, legalább 63V-os fémfólia típusok; feladatuk a hálózat felől a transzformátoron átjutott esetleges nagyfrekvenciás maradvány-zavarokat eltüntetni. Szintén szűrés céllal, a föld és a műszerdobozok fémháza közé kapcsolódik az ábrán jelölt  $R_1$ - $C_1$  ( $4,7\Omega$ ,  $1\mu F$  100V) soros RC-tag.

$C_3$  és  $C_4$  22000 $\mu F$  75V-os, igencsak természetes méretű elektrolit-kondenzátorok. Feladatuk az egyenirányítóhidak után maradt 100Hz-es bűgőfeszültséget TELJESSEN megszüntetni, kiátlagolni. Feladatuk továbbá energiatartalékolás, melynek segítségével a végerősítők a korábban már említett módon vehetnek fel a nyugalmi tápáramhoz képesti impulzusszerű „plusz” áramot – erre mélyebb basszusok, filmbeli dübörgések, földrengések során lehet szükség. Segítségükkel a végerősítők tervezett maximális kivezérlése némileg megemelkedik.

$C_7$  és  $C_8$  hasonló célokkal került a tápegységbe; típusra 10000 $\mu F$  40V-os mindkettő.

A földpontokat még a tápegységben közösítem, hiszen csupán egyetlen referenciapontra van szükségem.

A biztosítók mindegyike ( $Bi_1$  kivételével) gyors típusú olvadóbiztosító, ezek bármely tápáramkörü zavar (pl. rövidzárlat, vagy hőmegfűtés során létrejövő túlzott áramfelvétel) esetén azonnal leoldják a megfelelő tápágot. Háromféle foglalatot kaptak. A fő-biztosíték ( $Bi_1$ ) egy 16 amperre specifikált, dobozra szerelhető házat kapott;  $Bi_2$ ... $Bi_5$  pedig 10 amperes, dobozra szerelhető foglalatban fekszenek.

Apróság, de része még a tápegységnek egy zöld színű LED, amely abból a célból került a konstrukcióba, hogy a működést, a rendszer feszültség alatt létét jelezze. A LED-en kb. 2V esik, és maximum 20mA folyik át; az előtét-ellenállás értéke így kb. 1k $\Omega$ -ra adódik. Az ellenálláson áthaladó teljesítmény így 0,38 watt, ezért ide is a 0,66 wattos 1%-os típust választom.

### Az érintésvédelem problémája

A két elterjedt elv közül az ilyesfajta berendezésekhez hasznosabbnak bizonyuló kettős szigetelést fogom alkalmazni. Ez szabvány szerint azt jelenti, hogy minden, az életre veszélyes feszültségű (esetemben a 230 volt) vezeték, és a hatása alatt álló összes eszközt kettős szigetelőréteggel kell ellátni. A szabvány kiköti, hogy akkor megfelelő a kettős szigetelés, ha a két szigetelőréteg együttes átütési feszültsége az 5000 voltot eléri. Ezt mérni nemigen tudom, de némi odafigyeléssel gond nélkül teljesíthető ez a kritérium. Az első szigetelőréteg általában a vezeték saját műanyag borítása lesz, a második pedig többnyire zsugorcső. (Kivéve a transzformátort, amely egymaga is kettős szigeteléssel ellátott.)

### A külön ház

Első rendszerem láttán mindenkinek a híres orosz technika jutott eszébe: picit az áramkör, de szekrénynyi tápegységet kell vele hurcolásni. Nos, itt nem erről van szó.

A külön ház alkalmazása nagyobb teljesítményigényű erősítőhöz mások-, és már általam is kipróbált, és bevált módszer, ezért alkalmazom újból. Mint a fenti számítások alapján is láthattuk, bizony szükséges a 300VA-es toroid transzformátor, és szükséges a minél nagyobb pufferkondenzátorok alkalmazása (még ha nem is feltétlenül ekkorák). A tisztességesen megtervezett tápegység tehát bajosan férne el egy dobozban a többi, szintén nem kevés áramkörrel. A külön doboz tehát már csak a méretekből kifolyóan is adódik.

Másfelől pedig számos egyéb előnye is van ennek a megoldásnak. A méret után másodsorban jegyzem meg az EMC szempontokat, hiszen azáltal, hogy a transzformátor külön dobozba kerül, elkülönülnek a hálózati brummot “sugárzó” vezetékek és elemek azoktól az érzékeny erősítőfokozatoktól, amelyeket az átsugárzó mágneses energia akár vezérelhetne is, különösen értve ezen például a mikrofonerősítő fokozatot a maga 49dB-es feszültségerősítésével, vagy például a RIAA korrektor-erősítőt. Ebben a megoldásban így zavarmentes, „csendes” tápvezetékek fognak átnyúlni a tápegység dobozából az erősítők dobozába, ami kényelmet és szabadságot ad nekem az egyes panelek elhelyezésének tervezésekor.

### A relés tápfeszültségkapcsoló

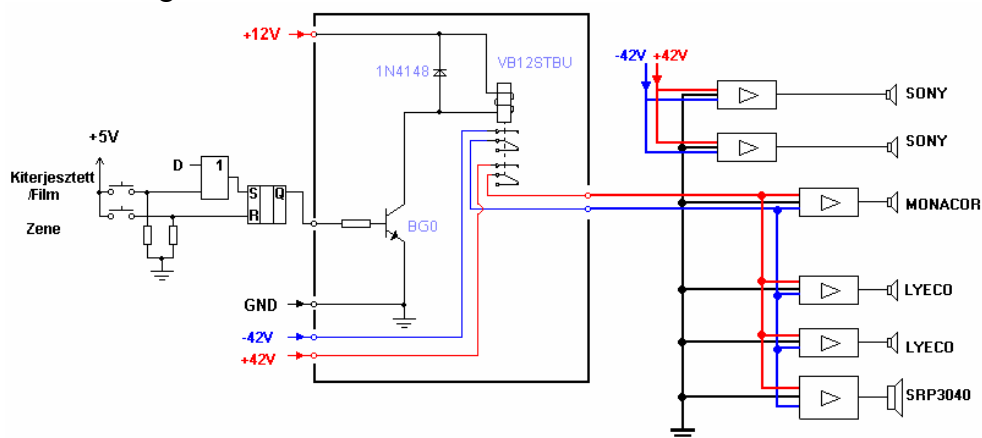
A tápegység témakörébe tartozik egy, az erősítők dobozában helyet kapott egység. Ennek az egységnek feladata a végfokozatok tápfeszültségeit a házimozsi-erősítő üzemmódjától függően ki/be kapcsolni.

Amint a teljes rendszer logikai diagramján is látszik (Függelék/1. melléklet), és a bemeneti fokozat tervezésekor is lehetett látni, az erősítő-rendszer kétféle üzemmódra képes:

1. **Zene mód** – ekkor alapvetően kétcsatornás, sztereó zenei jelet dolgoz fel, és erősít kizárólag a jobb és a bal csatornán. Haszna az energiatakarékosságban rejlik.
2. **Kiterjesztett / Film mód** – ebben az üzemmódban két csatornán érkező surround-kódolt zenei anyag, vagy 5.1 (6) csatornán beérkező jelet is képessé válik feldolgozni az erősítő.

A relés tápfeszültség-kapcsoló fokozat célja, hogy első esetben csak a jobb és a bal, míg második esetben mind a hat végfokozat tápenergiát kapjon.

Áramkörü megoldása az 50. ábrán látható.



50. ábra – Relés tápfeszültségkapcsoló elvi kapcsolási rajza

Fő alkatrészének, a FUJITSU VB12STBU típusú relének specifikációja a gyári katalógus alapján:

- Két áramkörös, 1 tekercses vékony házú teljesítményrelé
- Névleges feszültség: 12VDC
- Tekercsének egyenáramú ellenállása: 270 Ω
- Érintkező típusa: aranyozott ezüst-nikkel. Jellemző kontakt-ellenállása 100 mΩ
- Átütési szilárdság: 10kV, (kettős szigeteléssel ellátva)
- FIT: 100.000 kapcsolás, miután a kontaktok beégése várható. (Napi négy kapcsolással számolva 150VDC kapcsolt feszültségre ez 54 év.)
- Meghúzáshoz szükséges áram: 31,1mA, tartáshoz szükséges áram: 4,4mA
- Maximális kapcsolható feszültség 250VAC, vagy 150VDC
- Maximális kapcsolható áram 5A.

## VII. fejezet – Surround hangsugárzó tervezése és kivitelezése

A VII és VIII. fejezetekben kerül megtervezésre és bemutatásra az összes tervezendő hangfal. Ez a fejezet elsőként a hátsó effekthangfallal foglalkozik. Tekintve, hogy a surround technológia az effekthangfalak terén is többféle műszaki megoldást szült, kénytelen vagyok ismét röviden ismertetni azokat az elveket, amelyek közül majd egyet kiválasztva fogom kialakítani saját háttér-hangsugárzómat. Effektdoboz terén alapvetően háromféle megoldás, kétféle bekötési mód, és legalább háromféle hangszóró-elrendezés terjedt el.

### Bipólusok

Ebben a megoldásban legtöbbször hagyományos, egyutas („szélessávú”), kompakt méretű hangsugárzókat helyeznek el a hátsó térben, egymásnak SZEMBE fordítva. Ez a megoldás a legelterjedtebb; a műszaki szaküzletekben kapható csaknem összes effekthangfal ezt az egyszerű elvet követi. Előnye a megoldásnak, hogy olcsón kivitelezhető és otthoni telepítése különösebb szakértelmet nem igényel. Léteznek természetesen két-, sőt többutas bipólusos elrendezést igénylő effekthangfalak is, áruk azonban az egyutasnál lényegesen magasabb. Megjegyzendő a megoldással kapcsolatban, hogy mivel ekkor a két egymással szembe néző hangsugárzó azonos polaritással van bekötve, erősítés jellegű interferencia jelenség zajlik le a hátsó sík közepén, elméletileg +3dB-es kiemelést eredményezve a sweet spot körül.

Ha visszagondolunk a Dolby EX (vagy DTS ES) 6.1-es rendszerre, kimondható, hogy ebben az elrendezésben – hangsúlyozom: elvileg – dekóder nélkül, virtuálisan kapnánk meg a center surround csatornát, feltéve, hogy a hetedik csatorna a center elvnek megfelelően (-3dB-vel csökkentve, azonos mértékű hozzáadással) lett elbújtatva a SL, és SR csatornák anyagában.

### Dipólusok

Fenti alapesetnek egy kifordított megoldása látható a következő oldal 51., 52. és 53. ábráján, ahol a speciális dipól háttérsugárzó mintegy körbe hajtja a hanghullámokat a hátsó szekcióban. Az így kialakuló térzetet még nem volt szerencsém kipróbálni, mindenesetre fenntartásokkal fogadom az ötletet, hiszen eszembe jut, mit történik, ha a sztereo rendszer jobb és bal csatornáját egymáshoz képest fordított fázissal kötöm be – érezhetően lecsillapodik a basszus; azaz kioltás jellegű interferenciajelenség alakul ki bizonyos frekvenciákon.

### Monopólusok

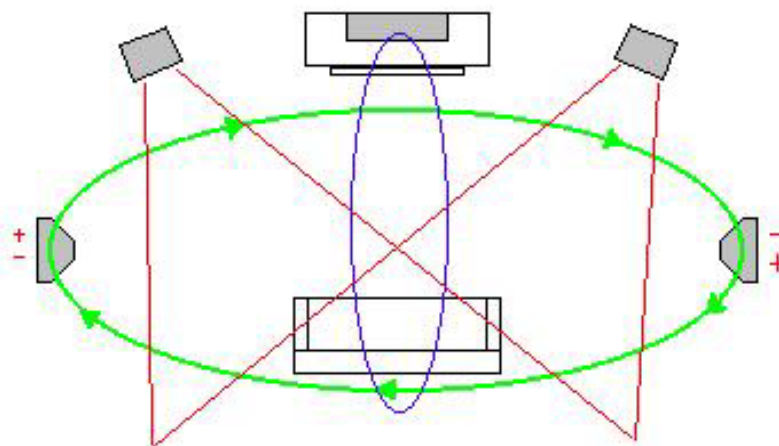
Végére hagytam a legegyszerűbb elvet, amikor az átlagos de lehetőleg kis szögben sugárzó (azaz magas és középtartományukban valamennyire irányított) hangsugárzók nem egymás felé, hanem valamilyen mértékben a füleink felé sugároznak, azaz se nem a fal felé, se nem egymás felé. Az interferencia-jelenségek ezzel nagymértékben csökkenthetők, és tapasztalataim szerint - irányítottasága révén - hatásosabb háttéreffekteket kaphatunk ettől az elrendezéstől.

Fentiekén kívül létezik még olyan megoldás is, hogy a surround hangsugárzó tetején is található magassugárzó, azaz felfelé is sugározza saját magastartományát. Ez is jó ötletnek tűnik, tekintve, hogy így a hátsó falakról történő visszaverődések által egyszerre hoz létre bizonyos mértékű diffúz, és közvetlen hangteret is.

50. ábra – Dipól rendszerű háttérsugárzó:



51. ábra – Dipól surroundokat alkalmazó házimozsi-szoba



52. ábra – A fenti képen látható elrendezés akusztikai elve (felülnézet)

## Célspecifikáció

Számomra a **bipólusos** elrendezés tűnik a legjobb ötletnek, hangsugárzómat ezért ilyen rendszerűre tervezem. Nézzük, összes eddigi vizsgálódásaim alapján miket kell tudnia az effekthangfalaknak!

A surround-hangfalak...

- ✓ Érzékenysége igazodjon a többi hangfal adataihoz. Ezzel kapcsolatban egyelőre egyetlen fix adatom a SONY fronthangfalak érzékenysége, mely  $S=88\text{dB}$  (@1W, 1m)
- ✓ Legyen alkalmas a bipólusos elrendezés elvére. Ez a követelmény a gyakorlatban annyit jelent, hogy hangsugárzói egyetlen oldalán, azonos fázisban helyezkedjenek el; apertúrájuk pedig kerüljön azonos síkba.
- ✓ Mérete legyen kompakt, méretéhez képest azonban műszaki jellemzői ne szenvedjenek hátrányt.
- ✓ Legyen kétutas, a minél szélesebb frekvencia-átvitel kielégítő megvalósítása érdekében
- ✓ Frekvenciamenete legyen egyenletes, legalább a 120 Hz...16kHz sávban. Másként fogalmazva maradjon hanghű, ne színezz a spektrumot tervezési hibájából adódó kiemelésekkel vagy elnyomásokkal.
- ✓ Bemeneti impedanciája 1kHz-en közelítse a 8 ohmot, de egyik frekvencián se legyen 4 ohmnál kisebb, vagy 16 ohmnál nagyobb abszolút értékű.

A képzeletbeli „léc” tehát magasabbra került, mint ami minimálisan szükséges volna.

Mint tudvalévő, a surround csatorna alapvetően háttérzenét, és széles frekvenciasávon előfordulható effekteket hivatott lesugározni. Mondhatnánk, hogy legyen a lesugárzandó sáv 20Hz...20kHz, de ennek a szigorításnak már sem értelme, sem jelentősége nem volna. A leendő mélysugárzó ugyanis körülbelül a 45...500 Hz tartományt fogja lefedni, és mint hangcsatornájának neve is mutatja (**Low Frequency Effects**), gyárilag erre kerülnek majd a mélyfrekvenciás effektek, így azokkal a surroundoknak foglalkozniuk nem kell. Ugyanez a helyzet a magasfrekvenciák terén is: 16kHz fölött gyakorlatilag felesleges volna sugározni – felnőtt fül úgy sem hallaná ezt a tartományt. (Bár a surround csatornához tervezett végfokozat elméletileg 192kHz-ig lineáris átvitellel rendelkezik)

## Tervezés

Mi mindenre lesz szükségem a kivitelezéshez? Mondhatnánk, hogy egy jó, kétutas hangsugárzóhoz csupán három dolog kell: jó **hangszórókészlet**, jó **doboz**, és jó **hangváltó**. Ma már lehet kapni mindegyiket – különféle árfekvésű, agyonreklámozott hangszórókat, előre elkészített dobozokat, és kész frekvenciaváltókat is, csak azt nem hirdeti senki, hogy a találmányra kiválasztott három alkatrész együtt egészen biztosan nem fog szépen, egyenletesen szóló hangsugárzót eredményezni, így hát jobb, ha mindet magam tervezem.

## Hangszórókészlet

...Kivéve talán a hangszórót, szükséges minőségűt ugyanis házi körülmények között képtelenség volna gyártani. A kínálatban szereplő, számomra megfelelő hangszórókat azonban a korábban már említett Thiele-Small paraméterei alapján ki kell tudnom választani.

Nekem az alsó frekvenciatartomány lefedésére **kis** térfogatban tökéletesen működni hajlandó, 7-14 centiméter membránátmérőjű, mély-közép frekvenciatartomány lesugárzására képes dinamikus hangszóróra van szükségem, míg a magas-tartományhoz pedig merev membránú, esetleg irányított, és lehetőleg hűtéssel rendelkező modellek jöhetnek szóba.

Nem untatom dolgozatom olvasóját a szóba jöhető teljes kínálat tételes felsorolásával, sem a három teljes napot (!) igénybe vevő árajánlat és paraméter-gyűjtéssel, válogatással.

Összesen húsz mélyhangszóró, és 5 magashangszóró adataiból számítottam optimális hangfalakat, mire végre középük került a számomra megfelelő konfiguráció.

A választott mély-közép sugárzó típusa **Lyeco LW-5003PPR** (Importőr: STB Audio – 1165 Budapest, Arany János u., besz. ár: 7500Ft/db). A gyártó tajvani cég arról híres, hogy nagynevű hangszórógyártók drága modelljeit készítik el, sokkal olcsóbban. Miket kell tudni a konkrét típusról? Nézzük a fontosabb paramétereit, azok rövid leírásával.

- ✓ *133 mm membránátmérő* – minél nagyobb a membránátmérő, általában annál szebb és szélesebb mélyátvitelt várhatunk. A 133 mm már gyakorlatilag a maximum, ami illik egy kisméretű kompakt dobozba.
- ✓ *Öntött alumínium-kosarú konstrukció* – Ezzel szemben a másik, igénytelennek nevezhető megoldás az, amikor a hangszóró kosarát darabjaiból szegecselik, forrasztják, vagy hegesztik. Ezek az utóbb említett kötések előbb-utóbb szétlazulnak, és rezonálni fognak, azaz egyik sem veszi fel a versenyt az igazi, merevített, öntöttkosaras megoldással.
- ✓ *Polipropilén membrán* – ez egy olcsó műanyagfajta, amely viszonylag könnyű, ugyanakkor kellően merev. Nemigen értem az okát, de a membránra még egy ronda és ragacsos lakkréteg is került. Talán a mozgó tömeget kívánták így utólag megnövelni, amely kihatással van a  $Q_{MS}$  mechanikai jóság tényezőre\*.
- ✓  $F_s=45\text{ Hz}$  – a hangszóró mechanikai sajátfrekvenciája, doboz nélkül, szabadon
- ✓  $V_{AS}=12,6\text{ dm}^3$  – Ekkora térfogatú levegő képvisel a hangszóró membránjával azonos rugóengedékenységet.
- ✓  $Q_{ES}=0,25$  – A hangszóró elektromos oldalának jóság tényezője
- ✓  $Q_{MS}=3,138$  – A hangszóró mechanikai oldalának jóság tényezője
- ✓  $Q_{TS}=0,23$  – A hangszóró (fenti kettő alapján származtatott) eredő jóság tényezője
- ✓  $X_{max}=1,7\text{ mm}$  – A membrán, lineáris (azaz tökéletes rugalmasságának megőrzése mellett értelmezett), maximális kitérése
- ✓  $S_d=85\text{ cm}^2$  – A membrán geometriai felülete
- ✓  $P_{max}=100\text{ W}$  – Maximális bemeneti elektromos teljesítmény

Ezek alapján számítva:

- ✓  $S=88,43\text{ dB}$  – érzékenység, azaz a hangszóró (és majdani hangfal) 1W ráadott elektromos teljesítmény hatására, fő sugárzási iránytengelye mentén 1 méterről mérve 88,43 dB hangnyomást fog produkálni.
- ✓  $SPL_{max}=106,88\text{ dB}$  – , azaz maximálisan ekkora hangnyomást képes produkálni a hangszóró. A 106 dB surround hangszórótól nagyon szép adat! Mellesleg nemigen fogom kihasználni, de sosem baj, ha a hangfal rendelkezik a szükségeshez képesti tartalékkal.

### Számított ideális doboz

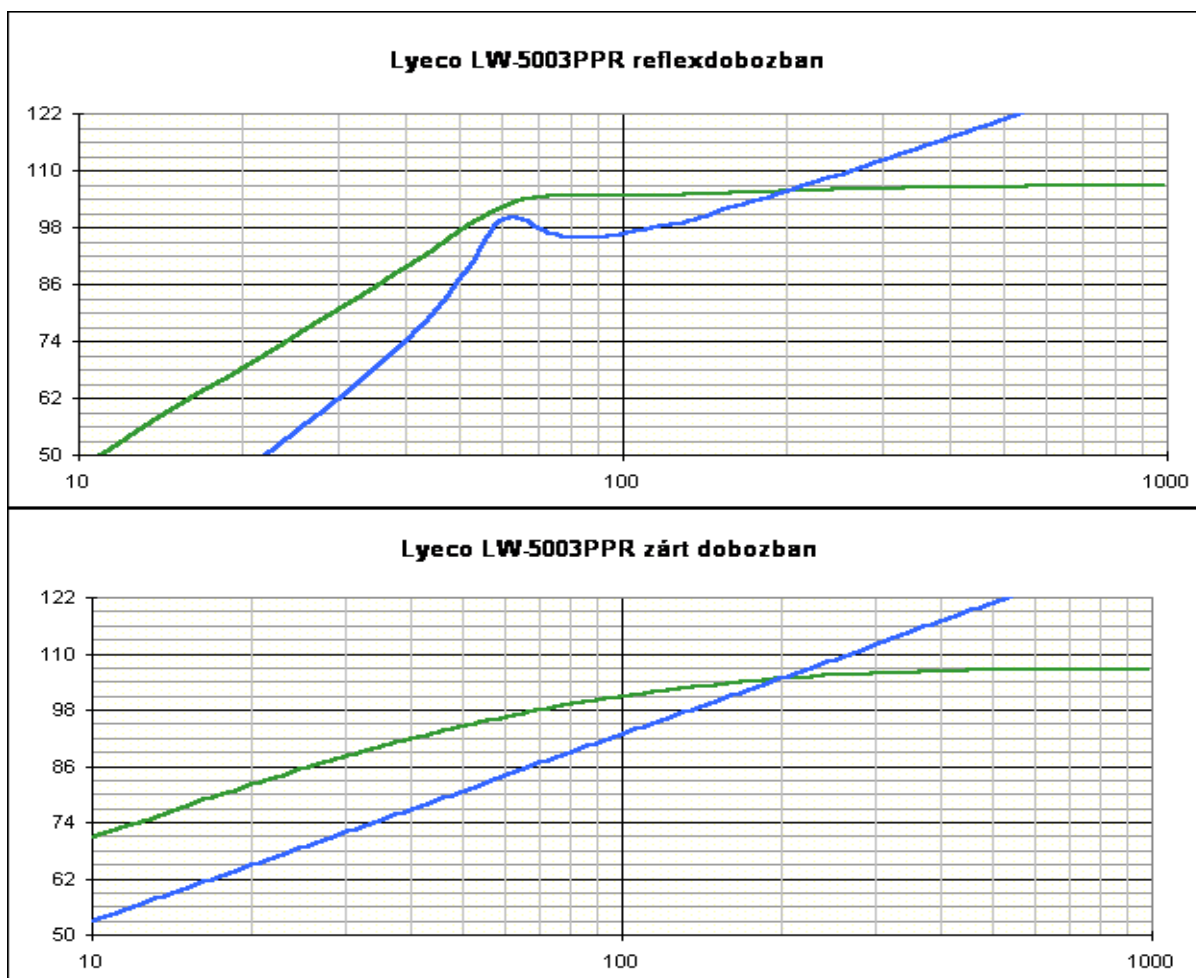
A számításokat a következő oldal 17. táblázata tartalmazza. Elemzéséhez annyit tennék hozzá, hogy kétféle számítás készült; az egyik optimális konstrukcióként zárt dobozt, a másik pedig reflex-dobozt feltételezve. Ezen számítások alatt található az optimálishoz képesti önkényes eltérések, és azok következményei. Az áttekinthetőség kedvéért kék színnel jelzem azokat az adatokat, amelyek fix, vagy módosított bemeneti változók, zölddel pedig a belőlük következő eredmény-paramétereket.

---

\*  $Q_{MS} = \frac{f_0 * \sqrt{r_0}}{f_2 - f_1}$  illetve  $f_0 = \frac{\pi}{2} * \sqrt{c * m}$ , ahol  $c=344\text{ m/s}$ , és  $m$  jelöli a mozgó tömeget.



<i>Lyeco LW-5003PPR</i>			<i>Reflex doboz</i>			<i>Zárt doboz</i>		
Fs	45,00	Hz	<b>Optimális doboz</b>			<b>Optimális doboz</b>		
Vas	12,60	L						
Qts	0,23		Vb	2,06	l	Vb	1,54	l
Qes	0,25		Fb	78,90	Hz	Fb	136,55	Hz
Xmax	1,70	mm	F3	99,85	Hz	F3	136,57	Hz
Sd	85,00	Cm2	Cső hossza	14,35	cm	Kívánt Qtc	0,71	
Pmax	70,00	W				Max power input	9,27	W
S	88,43	dB	<b>Változtatott reflexdoboz</b>			<b>Változtatott zárt doboz</b>		
SPLmax	106,88	dB						
Soros ell.	6,00	$\Omega$	Kívánt Vb	6,00	l	Kívánt Vb	6,00	l
Párhuzamos ell.	0,00	$\Omega$	módosított Fb	61,00	Hz	Fb	79,23	Hz
Hatásos Qts	0,23		Fb	61,00	Hz	F3	162,01	Hz
			F3	64,50	Hz	Qtc	0,41	
			Púp	<0	dB	Púp	0,00	dB
			Cső hossza	7,30	cm	Maximális teljesítmény	1,05	W
<b>Reflexcső</b>								
Csővek száma	1							
Belső csőátmérő	3,00	Cm						
Min. csőátmérő	2,76	Cm						



17. táblázat és 54/a-b. ábrák – Surround doboz tervezése, és elvi közelítő adatai  
(Az ábrán külön, kék színnel jelöltem a doboz átviteli karakterisztikáját, valamint zölddel szerepel a mélyhangszóróval együtt értelmezett eredő átvitel.)

### A valós doboz

Amint a grafikonokból jól kivehető, már csak lesugárzott sáv szélesség tekintetében is jobban járok, ha reflexdobozt építék erre a mélyközép hangszóra. Az optimális zárt doboz alkalmatlan konstrukció volna ( $Q_{tc-opt.}=0,7071$ ), mivel csak legfeljebb 9,27 watt teljesítménnyel volna terhelhető, lineáris működésre vonatkoztatva.

Mekkora legyen? Az 5 literes doboz „már elegáns”, a 10 literes már „túl nagy”. A nagyobb dobozhoz jobb mélyátvitel tartozik, a kisebb pedig esztétikusabb, és közelebb áll a surround-hangfal elvekhez. Az optimális reflexdoboznál azonban 2 literes (nagyon kicsi) nettó doboztérfogat párosulna 14 centis (a 2 literes doboz méreteihez képest túl hosszú) reflexcsővel. Melyiket célszerű módosítani? Mint a „változtatott doboz” táblázatban látható, egy körülbelül 6 literes reflex-dobozhoz tartható méretadatok tartoznak.

A doboz élének aránya legyen a klasszikus 0,8:1:1,25; így, némi kerekítés után külső méretekre 29\*22\*19 cm jött ki. Kivitelezés során ettől kis mértékben úgyis el fogok térni - az itthoni barkás-eszközimmel képtelenség milliméterre pontosan dolgozni. Aki utánaszámol, rájön, hogy a belső térfogat 1,9 mm-es lapvastagsággal számítva is valójában több, mint 6 literre adódik, nevezetesen 6,75 liter. Ez szándékos, hiszen a csillapítóanyagoknak is kell hely, nem beszélve arról, hogy a hangszórók befelé nyúló részei, és a keresztváltó is csökkenteni fogják a doboz belső térfogatát.

Helyezzük bele a reflexcsövet... Ezzel a doboz átviteli jellegét alapvetően megváltoztatjuk; konkrétan plusz 101 Hz-et nyerünk a mélyfrekvenciás átvitelhez. Fizikailag – amint a fenti ábrák is mutatják – a reflexdoboz rezonáns jellegű, míg a zárt doboz csupán csak az akusztikai rövidzárat szüntette volna meg. A cső minimális átmérője a számítások szerint 2,76 centiméter. Ez azt jelenti, hogy 2,76 cm belső átmérőjű cső alkalmazása esetén lesz elenyésző a cső által a hangzásba vitt torzítás. Mint már esett róla szó, torzítás lép fel a levegőrészecskék tehetetlensége miatt, melynek mértéke függ a részecskék sebességétől, és a kompresszió mértékétől. Minél nagyobb tehát a részecskesebesség a csőben, annál nagyobb mértékű a torzítás; de minél nagyobb a csőátmérő, annál inkább csökkenthető a részecskesebesség; a határ pedig a már említett 2,76 cm-es átmérő. Ezt én önkényesen felkerekítettem 3 cm-re; ehhez az értékhez pedig 73 mm hossz adódik. Mindkét adat tartható.

A felső grafikon (54/a ábra) jellegéből kitűnik továbbá, hogy a Lyeco hangszóró akusztikailag valószínűleg kifejezetten jól fogja érezni magát a reflex-dobozban. A -3dB-es alsó határfrekvencia a reflex elv segítségével körülbelül 65Hz-re adódik, ami nagyon jó érték egy ekkorai doboztól! A másik és szintén nagyon fontos adat, az a számított 88,43dB (1W, 1m) érzékenység, hiszen a frontcsatornák (a SONY-k) is ekkora érzékenységgel rendelkeznek. Az azonos érzékenység garantálja, hogy az azonosan hangos részeket azonos hangossággal fogja lesugározni immáron mind a négy hangfal.

Ezzel a tervező munkának azonban csak az egyik fele ért véget. Nézzünk a mélynyomóhoz magassugárzót! (Tweeter, „csipogó”) Ezúttal könnyebb lesz a dolgom a válogatásban, hiszen a magassugárzó doboztérfogattól, és dobozkialakítástól független rendszer-elem. A kínálat és az árak alapján három típus jöhet számításba. Ezek közül is a „noname” kategóriába tartozó Somogyi Audio Line DT20-05-öt választom, az alábbi okok miatt:

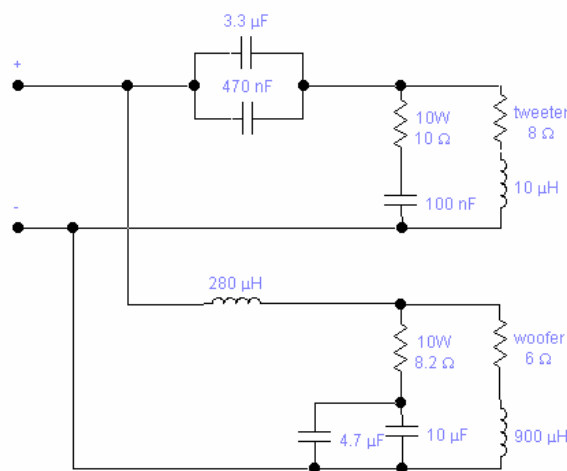
- ✓  $P_{max}=40W$  – ennél több nem is szükséges
- ✓ Frekvencia-átvitel (@-3dB): 3000 Hz – 20kHz. – A Lyeco az imént megállapított kitöltött alsó határfrekvenciától körülbelül 10kHz-ig sugároz; eredő felső korlátnak a 20kHz pedig várákozásokon felüli adat lesz.
- ✓ A membrán átmérője 25 mm, ami kicsinek számít, de ezúttal minél kisebb, annál jobb; anyaga polikarbonát.

- ✓ Rezonanciafrekvenciája 1000 Hz – ez az ilyen kategóriájú magassugárzóhoz képest teljesen szokásos.
- ✓ Érzékenysége éppen 88dB. Ez az adat magassugárzótól már nevezhető volna gyengének is, de nekem jelenleg éppen ennyi kell. Így megspórolok egy ohmos tagokból álló csillapítóelemet a keresztváltóban azáltal, hogy a magassugárzó érzékenységét nem kell a mélysugárzóhoz „rontani”.

### Frekvenciaváltó

Természetesen véletlenül sem dőlök be a kereskedelem által kínált elkészített keresztváltó-kínálatnak. Olcsóbb, gyorsabb, célszerűbb, és szakdolgozatba jogos elvárás is, hogy magam készítsem el a számomra megfelelőt.

Ezúttal is célszerűbbnek látnám előbb közölni a végleges elvi kapcsolási rajzot, majd kifejteni, melyik eleme miért került a konstrukcióba. Az 55. ábrán a végleges crossover látható.



55. ábra – A surround hangfal frekvenciaváltójának elvi kapcsolási rajza

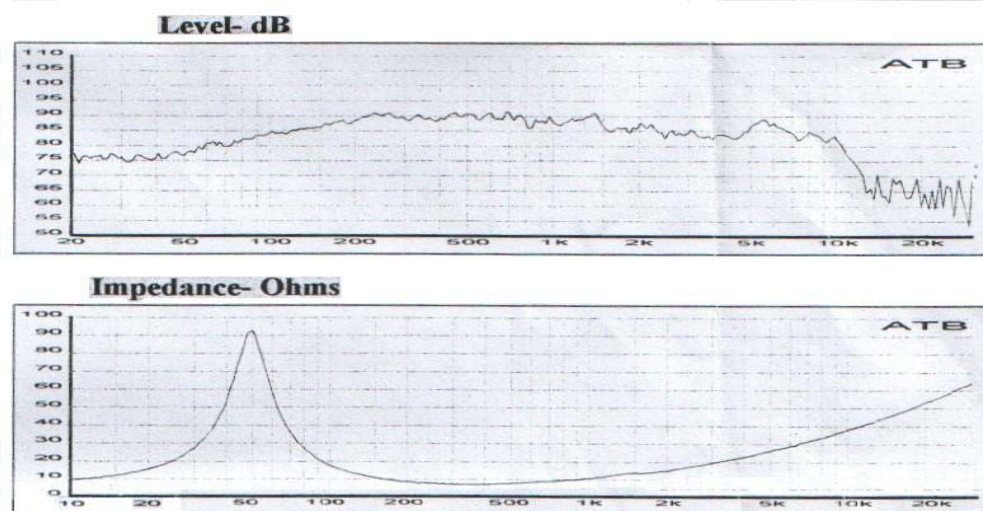
Megjegyzés: az ábra jobb oldalán szereplő RL-tagok az alkalmazott hangszórók alkalmas helyettesítőképei

Lássuk akkor, mi micsoda, és mit keres a helyén! A mélysugárzó – mint fentebb megállapítottuk – 65 Hz...10kHz-ig, a tweeter pedig 3kHz-20kHz között működik a szabvány szerinti -3dB-es határok között. Ez azt jelenti, hogy 65Hz-en és 20kHz-en az eredő teljesítményük 3dB-t esik, a 3kHz...10kHz tartományt azonban mindkettő maximális teljesítménnyel tudná lesugározni. Ez gond, ugyanis azt jelentené, hogy körülbelül 3k...10kHz-ig dupla teljesítményt hallanánk, jelentős kiemelését elérve. Ezt a hatást minimalizálni kell alkalmas váltási frekvencia keresésével.

Mivel a Lyecohoz pontos dokumentációt is kaptam (56. ábra), tudom, hogy van egy kb. 5dB-es esése az átviteli függvényében körülbelül 1500Hz és 5000Hz között. Jellegre 5 kHz közelében még csökkenő a frekvencia-átvitel, majd hirtelen visszaugrik 0dB-re. Tanácsosnak látszik elkerülni ezt az 5kHz után bekövetkező hirtelen 5dB-es emelkedést, éppen ezért a váltási frekvenciát 4800 Hz-re választom. Ez a fenti megfontoláson felül egy olyan frekvencia, amelyet könnyedén le tud sugározni mindkét hangszóró. Legyen hát ez az a határ, amelyen a frekvencia növelésével a mélyhangszóró teljesítménye már monoton csökkenő jelleget fog mutatni, ugyanakkor a magas pedig monoton növekedő teljesítményt fog adni, elhagyva a 4800 Hz-et pedig „leváltja” a mélyhangszórót.

Fentiekből két szűrőtag következik. A kapcsolási rajzon látható módon erre a célra egy LPF, és egy HPF kerül alkalmazásra, mindkettő 6dB/oktáv (=20dB/dekád) meredekséggel. Rezonanciapontja mindkettőnek a választott 4.8kHz – ez garantálja az egyenletes

frekvenciamenetet, nevezetesen hogy a váltási frekvenciát mindkét hangszóró azonosan fél teljesítménnyel sugározva kiegyenesedjen az eredő átvitel.



56. ábra – A Lyeco 5003PPR frekvencia- és impedanciamenete

Van azonban még valami: ezzel a megoldással sajnos még egyenletlen marad az eredő impedancia-frekvencia függvény, ami egyes erősítőknek probléma lehet. Mi az oka ennek? Mint a fenti ábrán látható is, a mélyközép hangszóró rezonanciafrekvenciájának (45Hz) környékén  $\pm 1$  oktávval, azaz elméletileg 22...90Hz között jelentősen induktív jellegűvé válik.

Az ábrán pontosan az látható, hogy a 45Hz-es rezonanciafrekvenciáján 82,8 ohmig szökik fel a hangszóró impedanciájának abszolút értéke; jellege ekkor erősen induktív. Ezt a problémát kompenzálni szükséges, mert az erősítő elvileg ingadozásmentes, tisztán ohmos terhelésre „szeret” dolgozni. Kompenzáló taggal ez a kritérium megközelíthető: kis impedanciaingadozás, és jó közelítéssel minden frekvencián ohmos jelleg érhető el vele. Elterjedt kompenzáló-módszer a Zobel-tag alkalmazása. Ez egy, a mélyhangszóróval párhuzamosan kapcsolt soros RC-kör, melynek számított optimális értékei  $R=8.2 \Omega$ , és  $C=14,7 \mu F$ .

### A kivitelezésről

A doboz anyaga 19 mm lapvastagságú MDF (vizesen hidegsajtolt faforgács). Alkalmas anyag, mert merev, masszív, sűrű, és könnyen megmunkálható. Bevallom, egy néhai bútorunk megőrzött ajtólapjáról van szó. Fára így nem kellett költenem, kéznél volt a tökéletes, felületkezelt faanyag. Megjegyzendő, hogy hasonló módon faforgácslapból is készülhetett volna a doboz, de a két faanyag közül az MDF nagyobb sűrűsége révén megfelelőbb erre a célra.

Reflexcsövet szerezni jóval nehezebb volt. Szóba jöhetett bármilyen merev anyagú, 3cm belső átmérőjű, legalább 73 mm hosszú cső. Ideális választottamat végül egy nemzetközi barkácsbolt szaniter-részlegén találtam meg. Eredeti rendeltetése szerint ez valójában egy konyhai lefolyókhöz készült, krómozott acél anyagú, azaz rendkívül merev, 150mm hosszú, ugyanakkor vékonyfalú lefolyóbetét-cső, egyik végéről lekerekített nyílással és peremmel. Ennél alkalmasabbat nem is találhattam volna – egyetlen dolgom csak hosszának méretre vágása volt.

A doboz kialakításakor kétféle ragasztóanyagot használtam: Palma faragasztót az oldallapok összeragasztásához, valamint tömítésnek – a légmentes élragasztások céljából – sziloplasztot.

A doboz két legnagyobb területű belső fala speciálisan erre a célra készült (Somogyi Audio Line) HT-35 típus-megjelölésű 100% műszál anyagú csillapítóanyaggal vannak bevonva, 1,5 cm vastagságban. Ez a réteg felelős azért, hogy ne alakuljon ki a dobozon belül állóhullám, amely elszínezné annak frekvencia-átvitelét. (Érzeti szempontból: a doboz saját, „kongó” hangját vegye el.) Az alkalmazott csillapítóanyag-mennyiség tapasztalati úton, iterációszerű próbálgatások során került a dobozba.

A hangfalcsatlakozó és a keresztváltó között alkalmazott kábel szintén e célra készült kéterű, egyenként 2 mm átmérőjű rézsodrony hangfalkábel.

A keresztváltó (bár ezt egyesek a szórt kapacitásokra hivatkozva hibának tartanak) nyomtatott áramköri lapra készült. Az alkalmazott ellenállások mindegyike 10 wattos; a kondenzátorok többsége direkt e célra készült bipoláris elektrolitkondenzátorok - tipikusan 100V-osak. A másik alkalmazott kondenzátor-típus a 250V-os fémfólia-kondenzátor, amely szintén bipoláris, és tökéletesen megfelel erre a célra. Az oldalanként egy-egy darab induktivitás precíziós, saját tekerceselésű. Menet menet mellé, 0.9 mm átmérőjű lakkozott rézhuzalból, 1,5 cm belső, és 4,5 cm külső átmérőjű, 1,3 cm magas műanyag tekercestestre készítve, végül kalibrált induktivitásmérő műszerrel ellenőrizve. Légmagos tekercesekről van szó, ferritmagnet szándékosan nem használtam annak hiszterézises viselkedése miatt. A rézdróton előforduló esetleges lakk-kopás hibákat kerülendő, minden menetsor fölé szigetelő, elválasztó-réteget húztam, kevés szigetelőszalagból. A tekerceselés végeztével a pontos értéket előzetesen kalibrált METEX-típusú mérőműszerrel állítottam be 280 $\mu$ H-ra (magam támasztotta követelmény szerint  $\pm 1\%$  pontossággal).

(A mérőműszerért köszönet illeti a Jedlik Ányos Informatikai Szakközépiskolában Szücs Gábor tanár urat.)

### Audiencia – Szubjektív teszt

Munkám befejeztével nem marad más hátra, mint a megannyi szigorú megkötés és bonyolult fizikai elvek alapján készült „hangszert” kipróbálni, meghallgatni. A meghallgatás a már említett neves, angol tervezésű erősítőn, sztereó bekötésben történt. Műsoron a válogatott zenéimből álló teszt CD-m, melyen az alábbi trackeket használtam fel a meghallgatáshoz (teljes CD-Audio minőségükben):

- Mike Oldfield – Tubular Bells II – Sentinel, The Bell, The Great plain, Tattoo
- J. M. Jarre – Oxigen 7-13 – Part 7, 8, és 13
- Scooter – Age of love – Tonight
- Hevia – The other side – Si quieres que te corte
- Hevia – No man's land – Sobrepena

A Scooter-track elvileg folyamatosan mélyen fog búgni a zeneszám aláfestéseként, a Hevia-számok skótdudája és csengői pedig a magastartományt hivatottak tesztelni. Jarre zenéjében a dinamikát, és a sztereó tér egységességét akarom hallani. Lássuk mi „maradt” a zenékből a surround-hangfalak prezentálásában!

Az új hangfalak bizony megérték a sok fáradságot, gyönyörűen szólnak. Hallásra is példásan váltják egymást a hangszórók. Hangjuk színezetlen, már-már zavaróan csak azt adják vissza, ami és ahogy bemenetükre érkezik. Sztereó tere hihetetlenül széles, hangja beteríti az egész szobát. Nem probléma számára sem a halk, sem a hangos lejátszás, köszönhetően az általánosságában véve jónak (rendszerem szempontjából kiválónak) nevezhető 88dB/W/m érzékenységnek, és a 106dB-es elvi maximális SPL-nek. Halk részekenél (közelről hallgatva) kíméletlenül bemutatja egy gyengébb hangkártya legapróbb hibáit (súgását és apró, alig hallható zörejeit) is; sőt, aminek kiemelten örülök, ismét újabb,

ezidáig nem hallott részeit is visszahallottam a már jól ismert tesztlemezemenek! Ez pedig – úgy gondolom – biztos jele egy új hangfal sikerének.

Nem takargatom a rosszat sem: ha valahol hibáztam, az a doboz esztétikai kivitelezése, amelynél bizony produkáltam már jobbat is. A tesztanyagot tekintve egyedül a Scooter - Tonight című száma nem szólt úgy, ahogy kellett volna. Aki nem ismerné a számot, annak leírom, hogy az énekhang alatti mély aláfestő-búgás körülbelül 50-60 Hz-es. Ezt pedig nem hallottam, illetve csak erősen csökkent intenzitással. Ez azonban valójában nem csoda, hiszen a hangfalak átvitele a számítások alapján 65Hz környékén már -3dB-t esik. (Ez egészen pontosan azt jelenti, hogy fenti adatok alapján készült számításaim szerint a zene 50Hz-es komponenseit elméletileg -11dB-lel hallhatjuk ezen a hangfalon kevesebbnek, mint a frekvenciaátvitelhez tartozó 0dB.)

Összességében kijelenthető, hogy surround-hangfal tekintetében várakozáson felül elértem a célokat. Érdekes visszalapozni a célspecifikáció megfogalmazásához, mely szerint az effekthangfalnak valójában sokkal gyengébb specifikációt is elég lett volna teljesíteni. Hab a tortán a konstrukció anyagára, amely 24.000 Ft/pár.

Lássuk végül a végleges adatokat:

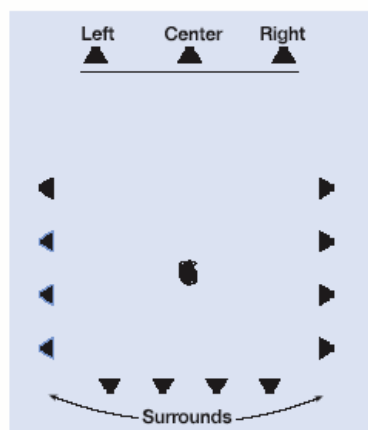
$P_{\max}$	=	kb. 100W folyamatos zenei, és 70W elektromos teljesítmény
S	=	kb. 88dB (@1W, 1m)
B	=	65Hz – 20kHz (@-3dB)
Z	=	8,1 $\Omega$ (@1kHz) - teljes sáv szélességen -2,1 $\Omega$ , +0,9 $\Omega$ ingadozással
		Kétutas, reflex rendszerű hangfal; váltási frekvencia: 4800Hz

(Az objektív tesztet mérőműszerek és süketszoba hiányában nem tudtam elvégezni.)

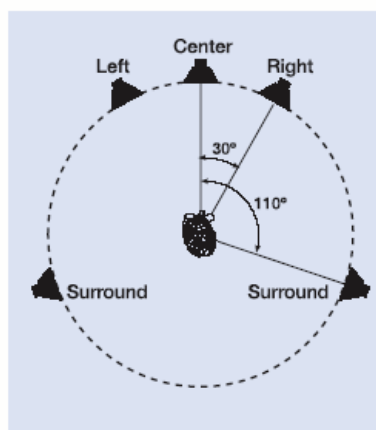
Az effekthangfal fényképe, és részletes doboz-terve a függelék 3. mellékletében látható.

### A háttérsugárzók elhelyezése:

Nem esett még szó arról, hogy házimozsi esetén milyen megkötések vonatkoznak az effekthangfalak elhelyezésére. Mint az 57. ábrán látható, teljesen más hangszóró-elhelyezésekre számítanak a hangmérnökök lejátszási oldalon mozi-hang, DVD-audio, és házimozsi-film-hangok keverésekor.

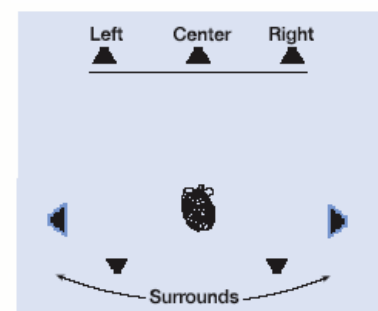


Filmszínházakhoz alakított elvi keverőszoba



DVD-Audio keverésekor használatos elvi keverőszoba

57. ábra



Házimoziszoba elvi berendezése

Az én hallgatósobámra nyilvánvalóan a jobb oldali ábra valamilyen módosítása lesz érvényes.

Surround-hangfal beállításakor két szélsőség lehetséges:

1. A fül közvetlen jelet kap, ha a hangsugárzó sugárzási iránytengelyének képzeletbeli meghosszabbítása áthalad a felé eső fülön. Ekkor az érzet kialakulásában dominánsá válnak a közvetlenül „vett” hullámok. Azért rossz beállítás, mert ekkor túl egyértelművé válik az agyban az érzet, hogy valójában két külön forrásból érkezik az információ.

2. A fül visszavert jelet kap, ha a két hangsugárzó sugárzási iránytengelyének meghosszabbítása egy egyenesbe esik, vagy valamelyik hátsó falra merőleges. Ekkor az érzet kialakulásában dominánsá válnak a falakról visszavert hullámok.

Azonban egyik beállítás sem jó; a kívánt hatás akkor érhető el, ha közvetlen és visszavert hullámok a szoba kialakításának megfelelő arányban jutnak a fülbe. Az optimális szöveget tehát ki kell kísérletezni. Irányadó tanács kísérletezésnél az alábbi két elv: ha a szoba utózengei ideje alapján inkább a zengőszoba-modellhez áll közelebb, akkor a surround hangfalak sugározzanak inkább a sweet spot felé. Ha viszont inkább a süketszoba modelljéhez áll közelebb, akkor a diffúz surround hangtér kialakítása a célszerűbb, azaz a hangsugárzók sugározzanak inkább a hátsó fal felé.

Az én esetem éppen a kettő közötti félúton lehet valahol – lásd a szoba utózengei idejének diszkusziójával foglalkozó részt (II. fejezet – 44. oldaltól).

Ami az elhelyezés magasságát illeti, nem értek egyet a szakirodalomban szereplő adattal, miszerint a háttérhangot a fül magasságától jóval feljebb (60-90 centiméterrel) kell elhelyezni. Jelenlegi ismereteim alapján nem igazán értem, mi lehet az oka ennek. Későbbiekben olvasható lesz, hogy a frontcsatornák magassugárzói vízszintesen és függőlegesen is egy vonalba hozandók, mégpedig a fül magasságába. Miért térne el ettől a hátsó effekthangfal?! Ha egy 50 köbméteres szobában 60 centiméterrel a fül vonala fölé kerülne az effekthangfal, ráadásul a fent kifejtett beállításban, adódik a kérdés, hogy annak irányhatása miatt hogyan kaphatna a fül közvetlen hullámot? Az elv egyébként a gyakorlati próbán is súlyosan megbukott – egyetlen esetben volt hasznos, amikor a fej fölött repült át egy repülőgép. Általánosságában véve azonban rendkívül furcsa volt, hogy messze a fej fölül érkezik a kísérőzene, nem is beszélve a DVD-ről származó koncertfelvétel hangjáról.

Ezt az elvet tehát önkényesen félretéve úgy fúrtam fel a falra az effekthangfalak tartószerkezetét, hogy azok magassugárzója egy vonalba essék a füllel.

## VIII. fejezet – Center és subwoofer hangszórók tervezése és kivitelezése

### 1. A meglévő subwoofer korrekciója

#### Megfontolások

Amint a korábbiakból láthattuk, a multicSATornás hangrendszerek LFE hangcsatornájának anyagát normális esetben egy speciális hangfal, a subwoofer szolgáltatja meg. Feladata a moziban és a lakószobában lényegében ugyan az, az elvárások tekintetében azonban lehet más.

A mozibeli elvárás a -3dB-es pontokra vonatkozóan 3 (azaz három!!!) Hz-től 80 Hz-ig terjedő spektrumtartomány. Ez pedig egy rendkívül nehezen megvalósítható kritérium! Visszautalnék a dolgozatom elején látható 13.-14.-15. ábrákra, illetve a 15. képen látható JBL! 4645 típusú mélyhangfalra és annak specifikációjára, mely szerint tekintélyes méretei ellenére is „csak” 22Hz-ig képes lesugározni. Ebből hat darab (plusz a screenerek mélyszekciója) gondoskodik arról, hogy a 3Hz@-3dB teljesíthető legyen. Miért fontos ilyen mély frekvenciákat lesugározni? A fül ugyanis a 20Hz (egyek források szerint 16Hz) alatti mechanikai hullámokat elvileg nem képes érzékelni. Ezen hangtartomány komponenseit infrahangoknak hívjuk, fizikából pedig arról lehetnek emlékeztetések, hogy nagyon messzire képesek elterjedni – az elefántok például infrahangokkal kommunikálnak a tőlük akár 20 kilométerre (!) levő társaikkal is. Ami az emberek infrahangokkal való viszonyát illeti, minket a monoton infrahang jelenléte tudat alatt idegesít, ingerlékenyé tesz.

Biológiai vonalon folytatva a fejtegetést, szerveink többsége 20Hz alatti sajátfrekvenciával rendelkezik, azaz megfelelő gerjesztéssel rezgésbe hozhatók. Ebben a frekvenciatartományban kap jelentős szerepet a csonthallás, hiszen a csontok sűrűségük, méreteik, és kiterjedésük révén könnyen vezetik a 20Hz alatti hullámokat. De miért lehet cél a gyomorrengetés? Visszautalnék arra a fejezetre, amelyben a hallás folyamatát vizsgáltam. Megállapítható volt, hogy az agy komplex szerkezet révén nem csak a füljeleket értékeli ki egy érzet kialakításakor, hanem gyakorlatilag a vele egyidőben érkező minden más jelet is (az ottani példában a látás befolyásoló szerepe volt bizonyítható). Elmondható tehát, hogy a mozi, amikor 3Hz-re viszi le az alsó határfrekvenciát, komplex érzet megteremtésére törekszik. Ha a természetben lezajló folyamatokat vizsgáljuk, megállapítható, hogy ott akár még 3Hz alatti frekvenciájú hullámkomponensek is létrejönnek – elég ha például csak a mennydörgésre gondolunk.

A házimoziban ehhez képest más a cél, mégpedig a többi hangfal sajátosságaiból adódó mélyfrekvenciás átvitelt korrigálni, kiegészíteni. Egyfelől láthattuk, mekkora nehézségekbe ütközik a 3Hz sikeres lesugárzása, otthoni körülmények között pedig ugyanez irreálisan drága, helyigényes, és jobbára felesleges is volna. Ennek ellenére a Dolby Digital AC3 kódolás az LFE csatornára vonatkozóan 3Hz...121Hz-es határokat, míg a DTS hanganyaggal érkező filmek 18...120Hz-et írnak elő; a műsor hangszabványai tehát elvileg támogatják a teljes mozihang-átvitelt.

Miért szükséges a rendszerembe subwoofer? Hangfalaim átvitele a következőképpen néz ki: a jobb és bal hangfalak (SONY SS-E317V) mélyfrekvenciás töréspontja 50Hz. A leendő centernek nem is lesz feladata frekvenciában 200Hz alá menni, a surround hangfalak 3dB-es pontja pedig elméletileg 65Hz. 50Hz alatti komponensek lesugárzására tehát elvileg mindegyik képtelen, ezért legalább ettől a törésponttól szükséges bekapcsolódnia egy subwoofernek, hogy lesugározza azokat a mélykomponenseket is, amelyeket a többi nem tudna.

Szögezzük le, hogy nem lesz céloom belső szerveink subwooferrel történő átrendezése, sőt: az alsó határfrekvencia kívánalmát sem határozom meg előre, ehelyett kivételesen csak



úgy fogalmaznék, hogy örülnék, ha valamilyen 40Hz alatti értéket sikerülne megvalósítani a tervezendő hangfallal.

Mélyhangfal esetén a kivitelezésére létezik többféle elv, melyeket ezúttal szükségtelennek tartok bemutatni. Én annak idején (1998-ban) a legegyszerűbb elrendezést választottam, és bár azóta rengeteg új információval gazdagodtam ebben a témában is, még most is azt mondom, hogy '98-ban egy alapjaiban véve jó elvet választottam.

#### Az eredeti változat

Ez a konstrukció egy 58,5 liter belső térfogatú, 43x34x54 centiméter külső élhosszúságokkal rendelkező, két reflexcsöves doboz, benne egyetlen 30 cm-es membránátmérőjű, és a kívánalmaknak megfelelő, 87,7dB/W/m érzékenységu hangsugárzóval. (SRP3040, Somogyi Electronic, Győr Árpád u., 6500 Ft, 1998) Dobozának anyaga 19 mm vastagságú bútortlap, belül két darab 10cm élhosszúságú négyzet alapú tömör fa merevítő oszloppal, amelyek szélességében merevítik a dobozt, ezzel jelentősen stabilabbá, merevebbé téve azt. Belső csillapítóanyagot az első konstrukció nem tartalmazott.

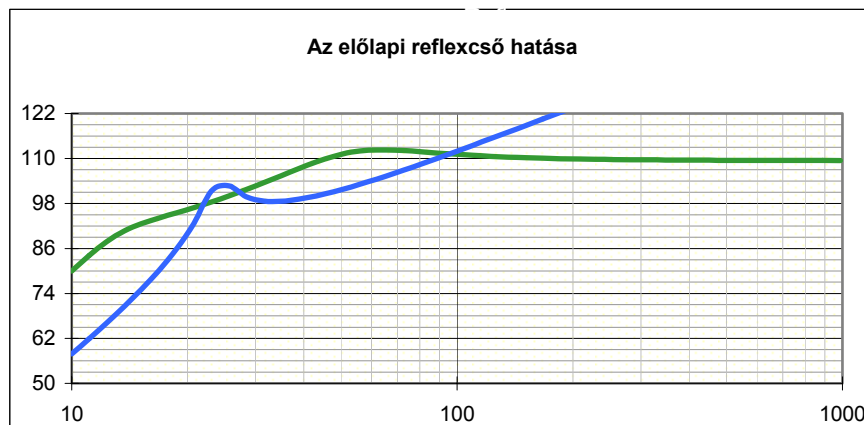
Az eredeti ötletben zárt konstrukciójú, 57 literes megoldás szerepelt, a matematikai és fizikai megfontolásokat sajnos akkor még csak részben figyelembe véve. Az elkészült doboz így nem várt eredményt hozott: a zárt konstrukciójú doboz közepes körülbelül 10% hangerőtől tompa, kongó puffogást produkált, az erőteljes mélyek pedig úgy ahogy van, hiányoztak. Ezek után félredobva a számításokat, empirikus úton folytattam a kivitelezést: reflexcsövekkel „fültre” igazítottam be a dobozon a számomra legkedvesebb hangzást. Először csak egy reflexcső került az előlapba, melynek belső átmérője 4,4 cm, hosszúsága 10,5cm. Az eredmény javult ugyan, de az előtte tapasztalt jelenség még mindig jelen volt. Másodjára még egy reflexcső került a dobozba, melynek belső átmérője 7 cm, hossza változtatható 8-19,5cm határok között. A második cső végre meghozta a kívánt eredményt – a subwoofer végre úgy szólt, ahogy egy ekkora térfogatú doboztól elvárható volt.

#### Korrekción

Mára azonban már tudom, hiszen főiskolai tanulmányaim révén tudnom kell, hogy mi okozta a jelenséget. Ismét elkészítettem a subwooferre vonatkozó pontos számításokat – a 97. oldal formájában az eredmény a 18. táblázatban, és 58/a-b ábrákon összefoglalva látható.

<i>Somogyi SRP 3040</i>			<i>Reflex doboz</i>			<i>Zárt doboz</i>		
Fs	28,80	Hz	<b>Optimális doboz</b>			<b>Optimális doboz</b>		
Vas	121,00	l						
Qts	0,60		Vb	448,45	l	Vb	302,29	l
Qes	0,75		Fb	19,19	Hz	Fb	34,08	Hz
Xmax	2,50	mm	F3	16,18	Hz	F3	33,94	Hz
Sd	502,60	cm <sup>2</sup>	Cső hossza	-0,46	cm	Kívánt Qtc	0,71	
Pmax	150,00	W				Max power input	3,22	W
S	87,70	dB	<b>Változtatott doboz</b>			<b>Változtatott doboz</b>		
SPLmax	109,46	dB						
Soros ell.	7,60	Ω	Kívánt Vb	57,00	l	Kívánt Vb	57,00	l
Párhuzamos ell.	0,00	Ω	módosított Fb	24,00	Hz	Fb	50,89	Hz
Hatásos Qts	0,60		Fb	24,00	Hz	F3	39,04	Hz
<i>Reflexcső</i>			F3	37,00	Hz	Qtc	1,06	
Csővek száma	1		Púp	2,85	dB	Púp	1,60	dB

<b>Belső csőátmérő</b>	<b>4,40</b>	<b>cm</b>	<b>Cső hossza</b>	<b>10,67</b>	<b>cm</b>	<b>Maximális teljesítmény</b>	<b>11,06</b>	<b>W</b>
<b>Min. csőátmérő</b>	<b>10,28</b>	<b>cm</b>						



18. táblázat és 58/a-b ábra – SRP 3040 hangszóró elvi dobozillesztési számításai

A részletes számításokból minden tapasztalt jelenségre magyarázatot kaptam.

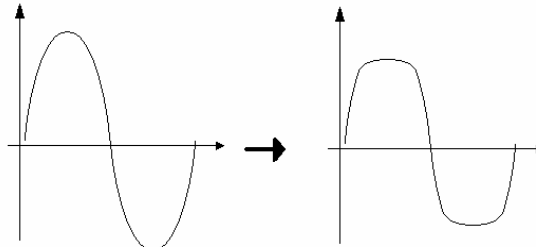
1. Amint a táblázat adataiból jól kivehető, az alkalmazott hangszóró meglehetősen gyenge gyártmány, amelyből már az ára alapján is következtetnem kellett volna. Ez esetben pedig meglehetősen meg van kötve a kezem, sőt: kellemetlen kompromisszumokat kell kötnöm bizonyos adatok között, egy használható subwoofer kialakítása érdekében.

Mint látható, az optimális zárt konstrukciójú doboz 302 liter belső térfogatú. Ez elgondolás szintjén, minimális felülettel számolva egy 67 centiméter élhosszúságú kocka volna, amely meglehetősen hatalmas egy átlagos lakószobába. Mindezek tetejébe, HA mégiscsak megépítené valaki a 0,3 köbméteres dobozt, csak alig több, mint 3W ráadott elektromos teljesítményig maradna lineáris az átvitel. A zárt konstrukció tehát minden szempontból kihúzva.

2. Bass-reflex elvvel vizsgálva ugyanezt a hangsugárzót, nem kevésbé meglepő eredményeket kaptam. A doboz immáron majdnem fél köbméteres (!), a reflexcső megkívánt optimális hossza pedig mínusz fél centiméter... Látható, hogy ez is teljes örültségnek hangzik.
3. Az optimális doboztól egyre eltérve, a kívánalmakat kezdtem módosítani. Elsőként kikötöttem a meglévő 57 literes doboztérfogatot. Zárt konstrukció esetén a helyzet nem

sokat javult – amint a fenti táblázatból is kivehető, a maximális terhelhetőség továbbra is csak 11W maradt. A zárt konstrukciót ezért végleg el kell felejteni.

**EZ volt** az az eset, amit először kiviteleztem! Az ok pedig hogy miért puffogott tompán a doboz a hangerő kb 10%-ától: a ráadott teljesítmény egyre nagyobb kitérésre készítette volna a tekintélyes felületű membránt, a zárt dobozban keletkező kompresszió pedig nem engedte azt egy bizonyos minimális kitérés fölé. A kisugárzott hullám torzításának jellegét szemlélteti az 59. ábra:



59. ábra – Légrugó okozta torzítás rosszul tervezett, zárt konstrukciójú dobozban

Maradt tehát egyetlen választásként a bass-reflex elv. Ha itt is rögzítem az 57 literes doboztérfogatot, az egyetlen szabadon módosítható paraméter a doboz átvitelének rezonanciapontja marad. Itt visszafelé kellett számolni, hiszen a két reflexcsőnek legalább az átmérője már adott. A 58/a és /b ábrákon látható a két cső hatása a doboz rezonanciájára. Kék színnel szerepel a doboz-, zölddel pedig a hangsugárzó és a doboz által együttesen kiadott eredő átviteli függvény.

A 4,4 cm belső átmérőjű, 10,5 centiméter hosszú előlapi reflexcső körülbelül 24Hz-es töréspontot ad a doboznak, míg a 7 cm belső átmérőjű és 25 cm hosszú cső 26 Hz-re hangolja azt. Mint látható, a két frekvencia gyakorlatilag egybeesik, így a két cső hatása viszonylag egyszerű módon összegződik. Ha tehát a fenti két ábra zöld karakterisztikáit pontról pontra összeadjuk, a végső, eredő átvitelről elmondható, hogy ezen feltételek mellett a subwoofer alsó határfrekvenciája valahova 30 és 35 Hz közé adódik.

Mindeközben azonban a „legkisebb rossz”-elvét követve adódott egy kiemelés-jellegű frekvencia-átviteli torzítás 60Hz-re, ahol az eredő átvitel 6dB-lel megemelkedik. A teljes rendszer átviteli függvényét tekintve tehát a subwoofer hibájaként adódik egy frekvencia-átviteli linearitáshiba. Ez két módon korrigálható viszonylag egyszerűen, a jelenséghez képest inverz átvitelű korrektorerősítővel: vagy a keresztváltóban, vagy pedig – mint ahogy tettem – az LFE végerősítő előerősítő-fokozatában. (48/a ábra, 86. oldal)

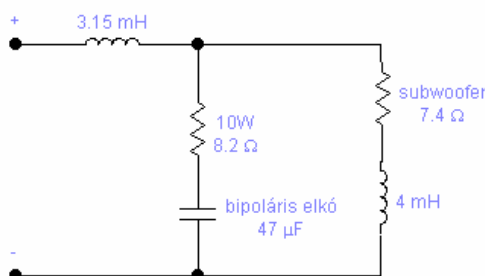
A hangfal eredetileg nem tartalmazott semmilyen típusú csillapítóanyagot, ennek köszönhette „kongó” felhangját. A csillapítóanyag hiánya továbbá – bár ezt füllel nem vettem észre – mindenképpen kedvezett a doboz belsejében kialakuló állóhullámoknak. Mindkét hatást csillapítandó, ismét tapasztalati módszerrel meghatározott mennyiségben került a dobozba csillapítóanyag. Erre a célra most is ugyan azt a típust használtam, mint a surround hangfalaknál, de itt dupla vastagságú rétegben. Végül a doboz belső felületeinek körülbelül 80%-át fedtem be vele.

A subwoofer mindezekén felül tartalmaz még egy súlyos hibát: eredetileg keresztváltó nélkül készült, gondolván, hogy az alkalmazott mélysugárzó felső törésponti frekvenciája (1500Hz) úgyszólván elégséges szűrő-jelleg lesz.

Ma már tudom, hogy nemigen volt szerencsés dolog öt és fél éven át keresztváltó (vagy legalább egy egyszerű aluláteresztő szűrő) nélküli subwoofert használnom. Az csak az egyik dolog, hogy 1500Hz fölött magától is LPF-jellegűvé válik a hangsugárzó, de a rezonanciafrekvenciáján jelentkező jelentős impedancianövekedésről akkoriban még nem

tudtam; márpedig ha valahol, akkor ennél a hangszórónál ez a jelenség erős. Soros ellenállása  $7,6 \Omega$ , öninduktivitása viszont  $4\text{mH}$ (!). Feltétlenül szükséges lesz tehát a szűrőn kívül egy Zobel-tag.

A dobozba mindezen okok miatt az alábbi keresztváltó került:



60. ábra – A subwoofer keresztváltójának elvi kapcsolási rajza

Megjegyzés: az ábra jobb oldalán szereplő RL-tag a hangszóró alkalmas helyettesítőképe

A keresztváltó ezúttal is a legegyszerűbb: tartalmaz egy  $3,15\text{mH}$  légmagos, precíziós inductivitást, amely a hangsugárzóval sorosan kapcsolódva elsőfokú aluláteresztő szűrőként viselkedik. A törésponti frekvenciát  $470 \text{ Hz}$ -re választottam; azért ilyen magasra, mert az LFE-erősítőlánc egyik tagjában equalizer kapott helyet (44. ábra, 79. oldal). A keresztváltó tartalmaz még egy, a hangsugárzóval párhuzamosan kötött soros Zobel-kört. A  $47\mu\text{F}$ -os kondenzátor  $100\text{V}$ -os bipolaris elektrolitkondenzátor; az ellenállás pedig  $8,2\Omega - 10\text{wattos}$ .

### Audiencia

Ismét sok időt fektettem a számításokba és a korrekcióba; most pedig meg akarom hallgatni, hogy megérte-e a munkát!

Azt kell mondjam, a korrekció jól sikerült. Végre tökéletesen „búgott” a Scooter – Tonight c. szám alatt a mélyfrekvenciás aláfestés. Néhány zenei és filmrészlet meghallgatása után subwoofer tesztelésére készült MP3-mak következtek. Ezek  $40, 90$  és  $100\text{Hz}$ -es folyamatos szinuszos hullámot, illetve negyedik egy  $20\text{kHz} \rightarrow 20\text{Hz}$  szinuszos sweep-et tartalmazott. A teszt-erősítő ismét az A30. Tekintve, hogy a sweep amplitúdója végig azonos volt, a hangkártya frekvencia-átvitel pedig közel lineáris, elméletileg csak azt kellett volna hallanom, hogy  $470\text{Hz}$ -nél beúszik a hang, majd  $35\text{Hz}$  alatt folyamatosan elhalkul. Ez így is lett, de ezen felül hallható volt a doboz tervezésekor az átvitelben maradt  $60\text{Hz}$  környéki kiemelés is. Ez tehát hallható hiba maradt, de ettől eltekintve kijelenthető, hogy a korrigált subwoofer beváltotta a hozzá fűzött reményeket – képes azokat a dübörgéseket és erőteljes robbanásokat visszaadni, amelyeket a többi hangfal már nem.

### A subwoofer elhelyezése:

Házimozihoz ideális szobában teljesen mindegy, hogy hol helyezkedik el a mélyszekcióért felelős hangfal, hiszen a kellő mértékben csillapított szobában elméletileg sosem alakulhat ki állóhullám,  $500\text{Hz}$  alatti spektrum-komponensekre pedig egyre csökkenő mértékben lesz számottevő az irányhallás. Elvileg ez a két fizikai tény hatalmazná fel az embert, hogy akárhova tegye subwooferét. A kis és közepes szobákban, amint az enyémben is, ez sajnos nem egészen így van, hiszen a szoba méretei összemérhetőek, vagy akár kisebbek lehetnek is a benne előfordulható hullámhosszokkal. Általános szakmai jótanács, hogy precíz mérések helyett inkább ezt is ki kell kísérletezni. A mélyszugárzó hangfalának elhelyezésére vonatkozó recept az alábbi:

- A subwoofert első körben a képernyőhöz közel kell letenni, majd ott próbaképpen mélyhangokban dús műsoranyagot kell lejátszatni rajta.

- Üzem közben a leendő hallgatási pozícióból kell megkeresni számára azt a helyet, ahol nem is zavarja az embert, de kielégítően is szól.

Szokásos megoldás, hogy a tetszetős bútordarabnak éppen nem mondható 20-60 literes monstrositást a néző fotelje, kanapéja mögé rejtik. Ez kiváló ötlet lehet – ott ahol kivitelezhető...

Végül lássuk a korrigált subwoofer specifikációját:

- Nettó 58,5 literes belső térfogatú, kétsöves, bass-reflex elvű doboz
- $P_{\max}$  = 150W elektromos, 300W folyamatos zenei
- B = 35Hz...470Hz (@-3dB)
- $SPL_{\max}$  = 109dB
- S = 87,7dB (@1W, 1m)
- Teljes kivitelezésének anyagára: **13.000 Ft.**

A kivitelezett subwooferről, és annak dobozkialakításáról készült fényképek a függelék 4. mellékletében láthatók.

## 2. A meglévő center-hangsugárzó korrekciója

Az ajánlások szerint a centerhangfalnak illendő volna a megfelelő SONY szériából lennie, ám a vonatkozó effekthangfal-készlethez adatai alapján nem volt bizalmam, elképesztő áráról nem is beszélve, éppen ezért három évvel ezelőtt elhatároztam, hogy magam építsek egyet. Ez a konstrukció azonban sajnos még meglehetősen hiányos matematikai és fizikai tudással jött létre. Így visszatekintve azt kell mondanom, hogy az a center-változat teljesen hibás darab volt, korrekció helyett ezért most inkább újraépítésről lesz szó. Egyetlen alkatrészét szeretném csupán megmenteni: a viszonylag jól sikerült dobozt – de ezt is alapvetően csak méretei, és épsége miatt tartom meg.

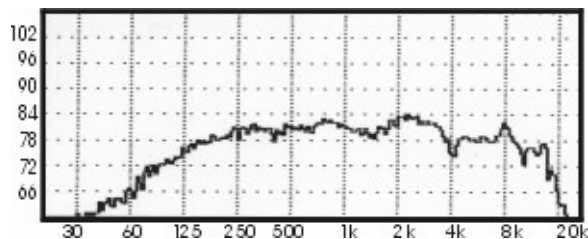
Ami a hangszórókészletet illeti, az eredeti változatban két darab SA1010 (Somogyi Electronic) típusú, 7 cm membránátmérőjű alumíniummembrános mélysugárzó, és egy darab DTF-12 (Somogyi Electronic) tweeter volt megtalálható. Első lépésként az SA1010-eket dobom ki a konstrukcióból. Árához – és forgalmazója egyéb kínálatához – képest ugyan jól eltalált hangszóró, de centerhangfalnak alkalmatlan. Pontosabban fogalmazva: egy darab SA1010-ből lehetséges volna ugyan elfogadható minőségű centerhangfalat készíteni, de például így is kicsi volna az érzékenysége, csupán 84dB/W/m; ez pedig nekem, ide ezúttal nagyon kevés.

Ami ezután következett, az a „gombhoz kabátot varrni”-esete – olyan alkalmas hangszórót kellett keresnem, amely körülbelül 88dB/W/m érzékenységgel, és elfogadhatóan illeszkedik a meglévő doboztérfogathoz, amely esetemben 4,6 liter. Már-már kezdtem feladni ezt a lehetőséget, amikor végre találtam egy alkalmasnak látszó hangszórót, neves gyártótól, megfelelő árfekvésben.

A választott mélyhangszóró típusa: Monacor SP-45/8. Jellemzői az alábbiak:

- $S=88\text{dB}$  (Egyéb paramétereit alapján vett számításaim szerint 87,65dB)
- Terhelhetősége: 20W (elektromos telj.) – ez sajnos kevés, de a leírt hallgatószobába elégséges.
- $F_S=120\text{Hz}$  – még megfelelő
- Alumínium csévetest, öntöttkosaras konstrukció, és hihetetlenül kicsi, csupán 1,6 grammos mozgó tömeg.
- 120Hz-20kHz elvi átviteli sáv szélesség – Elvi, mert ez az adat sajnos messze nem a „hivatalos” és gyakorlati szempontból fontos 3dB-es esésekhez tartozik.

A kapott átviteli függvényről leolvasható a  $-3\text{dB}$ -es határokhoz tartozó törésponti frekvenciák körülbelül  $250\text{Hz}$  és  $3700\text{Hz}$  lehetnek. A felső határt önkényesen választottam ennyire, fölülte ugyanis meglehetősen nagy meredekséggel esik az átvitel egészen  $4\text{kHz}$ -ig, majd onnan ismét kedvezőtlen jelleggel hullámzik. (Ha ez a hullámlás nem volna, a felső határfrekvenciát  $8\text{kHz}$ -re tettem volna.) Az imént leírtak leolvashatók a 61. ábráról:



61. ábra – A Monacor SP-45/8 átviteli függvénye

Ezek szerint jó választásnak tűnik, mondjuk egy  $3\text{kHz}$ -es váltási frekvencia a leendő keresztváltóhoz. Elfogadásához azonban még meg kell vizsgálni, hogy a magassugárzó alkalmas-e erre.

- A hangsugárzó impedanciamelete kedvező, de  $|Z|=20\Omega$  @  $F_s=120\text{Hz}$ , azaz egy Zobel-tag ehhez is kellene fog.
- Sajnos csak árnyékolatlan kivitelben kapható – ennek korrekciójával szintén foglalkozni fogok.

A Monacor mellé választott magassugárzó az előző konstrukcióból megtartott DTF-12, melynek lényegesebb jellemzői az alábbiak:

- Névleges impedancia  $1\text{kHz}$ -en:  $6\Omega$
- Maximálisan  $100\text{W}$  zenei teljesítmény
- Érzékenysége  $91\text{dB/W/m}$ , ami nagyon jó adat így önmagában, de nekem ezúttal sajnos le fog kellene rontanom  $88\text{dB/W/m}$ -re, hogy a mélysugárzóval, és a hangfalszett többi tagjával azonos érzékenységgel sugározzon.
- Frekvencia-átvitele a gyári specifikáció szerint  $1.5\text{kHz}$ -től  $21\text{kHz}$ -ig terjed,  $-3\text{dB}$ -es határokra vonatkoztatva. – Ez tökéletes. Azt jelenti ugyanis, hogy az imént kifejtett  $3\text{kHz}$ -es váltási frekvencia a magassugárzó szempontjából is tartható adat.
- A membrán anyaga textil. Érdekes, de klasszikus anyag magassugárzóhoz; nagyon kellemes, lágy hangja van a merevmembrános, harsogó hangú dómsugárzókkal szemben.
- A tekeresmag anyaga alumínium, fizikailag nagyon kicsi – csupán  $1,6\text{ mm}$  magas –, ez pedig megintcsak jó. Az alumínium merev anyag, jó hűtőfelület, nem mágnesezhető, ám kissé nehéz a szokásos műanyagfajtákhoz képest.
- Az összes mozgó tömeg még így is csak  $0,29\text{ gramm}$ , amely kiváló; fele (!) a szokványosnak, még ha a nagynevű gyártók modelljeit tekintjük is. Az, hogy kicsi a mozgó tömeg azt jelenti, hogy nagyon gyors mozgásra képes a membrán – a DTF-12 valószínűleg ennek köszönheti magas felső frekvenciahatárát.
- Ferrofluid hűtést alkalmaz. Ez azért hasznos, mert óvja a tekercestestet a gyors mozgás okozta felmelegedés hatására létrejövő teljesítményingadozástól; továbbá az impedanciameletére is hatással van a hűtőrendszer, mégpedig kedvező jelleggel.

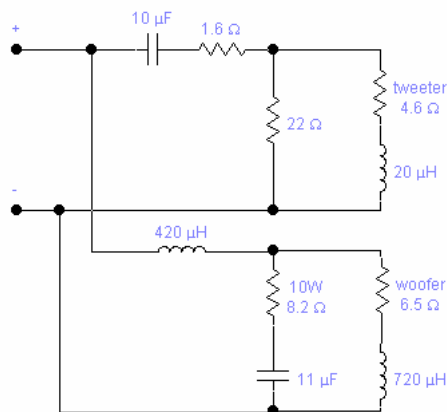
A doboz legyen tehát fix adat. Egy  $19\text{ mm}$ -es vastagságú bútorlapból készült,  $43\times 15\times 17\text{ cm}$  külső méretekkel rendelkező, eredetileg zárt konstrukciójú,  $5,6\text{ liter}$  nettó belső térfogatú dobozról van szó.

A Monacor adatai alapján kiderül, hogy az SP-45/8 gyárilag reflex dobozokba lett szánva; a meglévő építményemre – annak ezúttal az előlapjára – reflexnyílás fog kerülni. A nettó 5,6 liter helyett 4,6 liter megkívánt belső térfogattal számoltam, figyelembe véve a dobozba kerülő csillapítóanyag, valamint a hangszórók által kiszorított becsült térfogatot.

Számításaim szerint ezen feltételek mellett az optimálissá tett reflexdobozba kerülő cső 3cm-es belső átmérő mellett 4,3 cm hosszúságú, és 86Hz-re hangolja a dobozt. Az eredő átvitel alacsonyfrekvenciás töréspontja dobozzal és a mélyhangsugárzóval együtt 73Hz-re adódik.

Az új hangszugárzó-szettekhez új keresztváltót vagyok kénytelen tervezni. Fentiek alapján a keresztváltóval szemben támasztott követelmények az alábbiak:

- A váltási frekvencia legyen 3kHz.
- A 6 ohmos magassugárzó érzékenységét 91dB-ről rontsa le 88dB-re. Ez minden frekvencián azonosan -3dB-s csillapítást jelent, azaz áramkörü megoldásként egy egyszerű ohmos tagokból építkező feszültségosztót.
- A mélyhangsugárzó impedanciamenetét korigálja ki, miközben eredő bemeneti impedanciája semelyik frekvencián se legyen több 16 ohmnál, vagy kevesebb 4 ohmnál.



62. ábra – A centerhangfal keresztváltójának elvi kapcsolási rajza

Megjegyzés: az ábra jobb oldalán szereplő RL-tag a hangszóró alkalmas helyettesítőképe

Egy problémáról még nem beszéltünk, ez pedig a mágneses árnyékolás. Mint tudva lévő, legalább a center hangfalnak illik mágnesesen árnyékoltnak lennie, hiszen ez kerül a legközelebb a televízióhoz (illetve a kivetített képhez). A gond televízióknál adódik, nevezetesen hogy a centerhangfal hangszóróinak erős mágneses elhúzhatja a TV színeit. A jelenség zavaró, és káros is a TV-re, ezért védekezni kell ellene. Sajnos egyik alkalmazott hangszóróm sem mágnesesen árnyékol, és nem is létezik árnyékol változatuk, ezért ismét korrekcióra kényszerülök.

A korrekció ezúttal szokatlan megoldás: egy 1,5 mm vastagságú vaslemez tettem a centerhangfalnak arra a belső oldalára, amely a TV felé fog esni. Ennek célja az, hogy lehetőleg ebben a vaslemezben záródjanak a hangszórók mágneseséből kiinduló mágneses erővonalak; ne folytatódjanak tovább a TV képcsöve felé. Erre a megoldásra az EMC-előadásokon elhangzottak bátorítottak föl.

Tény azonban, hogy ez nem olyan hatékony védekezés, mint gyárilag árnyékol hangszórókat alkalmazni, de ha belegondolunk, a gyár sem tenné lényegesen másként. A hangszórókon alkalmazott mágneses árnyékolás ugyanis hasonló elvű, de ott egy zárt vasdobozzal veszik körül a mágneset, bizonyos légrést hagyva a kettő között. Nagyobb mélyhangsugárzók esetében a kielégítő védelem kettős árnyékolást igényel. Tökéletes megoldást

valami ehhez hasonló megoldás garantálna, de ekkora védelemre (korábbi tapasztalataim alapján) a gyakorlatban nincs szükségem, figyelembe véve a hangszugárzók mágneseit, a televízió felépítését, és a köztük lévő távolságot is.

### Audiencia

Kétféle módon hallgattam meg a centerdobozt. A műsoron ezúttal elsősorban filmrészletek, másodsorban zenei műsorok voltak. Először csak a centersugárzót bekötve, rá DVD forrás center-jelét vezetve hallgattam meg az új hangfalat. A keresett hatás a dialógok érthetősége, és tisztasága. Második tesztként a hat hangfalat együtt hallgattam meg – itt arra voltam kíváncsi, hogy mennyire lett „csapatjátékos” az új jövevény – mennyire képes beilleszkedni a kialakuló hangtérbe. (Ez a fentebb említett első változatban sehogy sem akart összejönni.) Harmadik tesztként a már ismert zeneszámokat hallgattam meg, kizárólag ezt az egy hangfalat bekötve.

Az eredmény a szokásos ötös skálán értékelve: jó. A filmbeli dialógok kitűnőek, tiszták. Rendszerbe illesztve a center hangja nem hivalkodó, de nem is szorul a háttérbe, amikor középről kell megszólaltatni valamit, akkor érezhető a jelenléte, egyéb esetekben viszont csak annyi érezhető, hogy az elülső sík teljessé egészült. Zenei műsorok lejátszása azonban nem erőssége; így egymagában legalábbis igencsak szerény, és monós hatást kelt az általa kialakított érzet. Nem úgy a Mike Oldfield – Tubular Bells II-III Live koncert-DVD, melynek hatsztorrás hangjához a film-hangokhoz hasonló módon járult hozzá a doboz. Közelebbről hallgatva a center-csatornát a DTF-12 lágy hangját, és a MONACOR – méretéhez képesti – erőteljes munkáját és középtartományát lehet hallani.

A kivitelezés várható teljes anyagára: **8.000 Ft**. Az eredményhez képest remek.

Várt végleges specifikáció:

$P_{\max}$	=	kb. 50W folyamatos zenei, és 30W elektromos teljesítmény
S	=	88dB (@1W, 1m)
B	=	74Hz – 21kHz (@-3dB)
Z	=	7,8Ω (@1kHz) - teljes sáv szélességen -2.6Ω, +0,0Ω ingadozással
Kétutas, reflex rendszerű hangfal, váltási frekvencia: 3kHz		

A kivitelezett centerhangfalról, és annak dobozkialakításáról készült fényképek a függelék 4. mellékletében láthatók.

### A frontsugárzók és a centersugárzó elhelyezése:

A frontsugárzók, és a centersugárzó elhelyezésére vonatkozó általános alapelvek a következők:

- A frontsugárzók (és a centersugárzó) lehetőség szerint legyenek azonos típusúak. Ha ez nem teljesül, akkor a center legyen ugyanazon szériának – mint a jobb és a bal – egy kisebb modellje.
- Elhelyezésénél a három (L, R, C) hangfal **magassugárzója** legyen egyvonalban
- Legyen mindhárom hangfal egy azon sugárzási síkban egyvonalban elhelyezve (jellemzően több fős hallgatóság esetén); illetve az 57. ábrán vázoltak szerint körvonalon elhelyezve (jellemzően egy fő hallgató esetén)
- A center hangfalat a televízióhoz lehetőleg minél közelebb kell elhelyezni, sugárzási síkja lehetőleg essen kissé a képernyő síkja mögé



- Minden egyéb esetben minimális alapkövetelmény, hogy a három hangfal magassugárzói legyenek egyvonalban.

A jobb és a bal hangfalak SONY SS-E317V típusú, mágnesesen árnyékolt, 90 cm magas állódobozok, melyek gyárilag házimozi célra lettek kialakítva. Háromutas, bass-reflex rendszerű hangsugárzó párról van szó. A mélynyomó papírmembrános, gumifelfüggesztésű, 18 cm átmérőjű. A hangfal érzékenysége 88dB (@1W, 1m), maximális bemenő teljesítménye 140W (~110dB SPL<sub>max</sub>). Frekvencia-átvitele: 50-20.000Hz.

## IX. Utószó

A rendszer ezzel teljessé vált.

Az elmúlt 110 oldalban színes képekkel illusztrálva láthatta olvasóm egy házimozi rendszer tervezésének előkészületeit és megvalósítását. A munkát hosszas előkészítő fázis előzte meg, melyben a modern mechanikus-, digitális-, és digitális házi mozik ma elterjedt technológiáit kutattam. Tekintve, hogy szakirányos képzésem alatt csak kettő (Stúdiótechnika és Műszaki akusztika című) tantárgyam foglalkozott részletesen akusztikával, részletes külföldi irodalmat kellett keresnem; ezek lettek az angol nyelven íródott JBL! – Sound System Design Reference Manual, és Cinema Sound System Manual. Az elmélet után következett némi gyakorlati kutatás – meglátogattam a budapesti Lurdy Ház Hollywood Multiplexét, melynek technikai folyosóján szívélyesen vezetett végig egy fiatal mozigépész, mint végzős villamosmérnök-hallgatót, így betekintést nyertem a dolgok gyakorlati oldalába is, mégpedig egy olyan moziban, ahol anyagiak kevéssé gátolták a maximális képi és hangélmény kialakítását. Friss élményeim az említett két fontos forrásból szeretteken túl további ismereteimmel kiegészítve írtam meg jelen szakdolgozatom első fejezetét, múlt év őszén. Tettem ezt immáron az első fejezetben fellelhető módon kritikus szemmel, hiszen az elméleti ismereteket akaratlanul is összevettem a gyakorlatban látottakkal.

A második fejezet 90%-ában dr. Wersényi György – A térbeli hallás című munkája alapján készült, melyből újabb elméleti ismereteket szereztem az emberi hallás (és látás) fiziológiai folyamatáról, illetve azok korlátairól. A fejezet végén megvizsgáltam saját hallgatószobámat (melyhez a dolgozatban szereplő hangrendszer készült) akusztikai szempontból. Utözengési időket számítottam, majd összevettem az elméletekkel.

Fentiek után következhetett a „valódi” munka – íróasztalomhoz ültem, és elkezdtem lefektetni leendő rendszerem célspecifikációit, majd ezek megvalósítására kerestem ötleteket a képzésem alatt tanultak alapján. Némileg könnyebb dolgom volt, mint egy abszolút kezdőnek, hiszen valójában már építettem egy hasonló rendszert. 1998-ban ugyanis a Jedlik Ányos Informatikai Szakközépiskolában vehettem át technikus okleveletem, ennek elérésében pedig nagy szerepe volt vizsgamunkámnak, amely egy a jelenlegihez hasonló funkciójú, de még körülbelül 50%-ban egészében adoptált, bevált kapcsolásokkal volt tele. Ez a rendszer sajnos többirányú problémákkal küszködött, azonban kétségtelenül szükséges gyakorlati tapasztalatokat adott!

A dolgozatom harmadik fejezetében található előfokozatok lényegében a réginek egy több ponton korrigált, és csaknem teljes egészében saját tervezésű változata.

Dolgozatom elsődleges részének a negyedik fejezetet tekintem, melyben nem kisebb célt tűztem magam elé, mint egy a Dolby Surround keverési technológiához alkalmazkodni képes, lehetőleg minél sokoldalúbb, és kizárólag analóg jelfeldolgozást megvalósító származtató szűrőt tervezni. Egyszerűen szólva ez egy olyan áramkör, amely a surround kódolt kétcsatornás bemeneti hanganyagból minél élménydúsabb 4.1 csatornás térbeli hangzást származtat. Itt szintén egy „2.0-ás” változatról kell beszélnünk, hiszen az első rendszerem is tartalmazott egy ilyen áramkört, ez azonban annál lényegesen bonyolultabb, és jóval precízebben követi a surround-elvet. Megtervezéséhez a részletes kutatómunkán túl szükségem volt a négyéves képzés Elektronikai áramkörök című tantárgya mindkét moduljának ismereteire.

Az ötödik fejezetben megterveztem életem első sajátjának mondható, ám kétségtelenül meglehetősen „tankönyvillatú” erősítőjét. A tanult elveket igyekeztem a szakközépiskolás évek elejétől kezdve gyűjtött végerősítő-kapcsolások minden pozitív tulajdonságával felruházni; végül a részletes számításokat is háttérbe utasítva; a prototípus hangminőségét előtérbe helyezve. Kétféle végerősítő-változat készült, melyek közül az egyik típusnak szélessávú-, míg a másiknak alapvetően sávkorlátolt jelek teljesítménybeli erősítése a feladata.

Mindez mit sem ér a megfelelő tápellátás nélkül, melynek tervezésekor gyakorlatilag teljes egészében saját korábbi építési és egyéb tapasztalataimra támaszkodtam. A hatodik fejezet elején két, manapság a hifi-gyártó cégek által sajnos nagyon elterjesztett hibát mutatok be, persze csak a rossz példa kedvéért. A tápegység végleges kialakításánál természetesen figyelembe vettem az elektromágneses kompatibilitás esetleges problémakörét is.

A hetedik és nyolcadik fejezetekben a képzésemhez nem tartozó (bár kétségtelenül köthető) témakörből olvashat olvasóm, melyek a hangfalak tervezéséről szólnak. A tervezés során a Thiele-Small paraméterrendszert alkalmaztam kiindulási támpontként, de a tervezés végső fázisában a számításokat itt is félretolva inkább a saját fülemre hallgatva készültek el az eszközök. Maga a feladat a kivitelezését tekintve is minden egyes esetben más volt: a jobb és bal hangfalakat készen vásároltam (1997); a surround hangfalat teljes egészében (újra)terveztem; a subwoofert minimálisan, a centert pedig nagymértékben korrigáltam az előző változataikhoz képest.

Munkám során több helyütt kitérek második szakmám, a számítástechnika házimozira alkalmas lehetőségeire; sőt: elkészült rendszerem kompatibilis is annak multimédiás lehetőségeivel.

Mint minden visszatekintésben most is adja magát a kérdés, hogy vajon elértem-e a célokat?... Ez egy ilyen komplex hangrendszer esetén lefordítható úgy is, hogy „képesek-e a fül számára kifogástalanul együttműködni az egyes rendszerelemek – a bemeneti fokozatoktól az erősítőkön át a hangfalakig, illetve a szobában kialakuló hullámtérig”. Van tehát a kérdésnek egy erős szubjektív jellege, ugyanakkor jól „megfogható” számadatok, objektív mérések is igazolhatnák azt. Mérésekre értelemszerűen akkor lesz mód, ha **minden** fent tervezett eszköz megépítve, egy azon dobozban foglalja el a helyét. Minden addig elvégzett mérés csupán félmunka lehetett volna. Bár nem a legjobb helyen említem, de véleményem szerint akkor is az emberi fül a legjobb mérőműszer. Paraméterek, görbeseregek, kis hibatűrésű de annál nagyobb gonddal elvégzett mérések mit sem érnek, ha a hallgató számára kényelmetlen, agyának „felvázolhatatlan” a kialakuló hangtér.

Bizonyára kiderült, hogy szakdolgozatom témájául nem véletlenül ezt a témát választottam. Nagyrészt a kihívás miatt tettem, mert érdekelt, hogy meglévő, még technikus-jelöltként összerakott rendszeremet mérnök-jelöltként mennyire tudom még jobbá tenni. Ha pedig jobbá tudom tenni, az ez esetben dupla nyereség. Éppen ezért, az előző bekezdésekhez kapcsolódva **össze is fogom építeni** a megtervezett kapcsolásokat, és remélhetőleg hamarosan egy kiváló, megmért, bevizsgált rendszert fogok tudni prezentálni mind a füleknek, mind a pedig a mérnöki szemeknek.

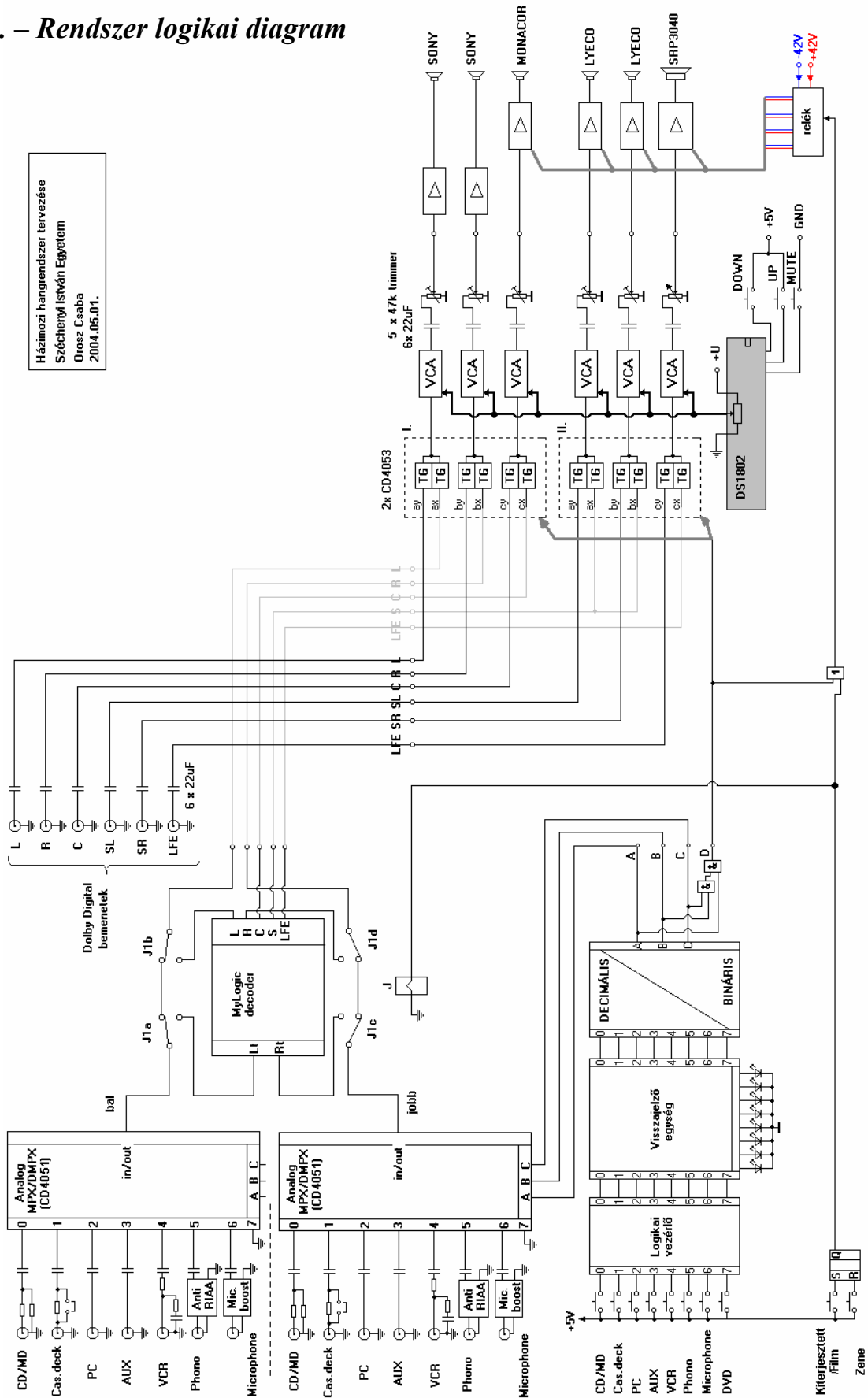
„Olcsón, jól, gyorsan – válassz kettőt, de csak kettőt” – tartja egy kínai mondás. Mint láthatta olvasóm, mindvégig az optimális megoldásokra törekedtem. Előnyben voltak a kicsi, ötletes, és olcsó áramkörök. Szakdolgozatom a kutatómunkáktól, az idegen nyelvű források vonatkozó részeinek fordításától, a tervezésen át a leírásokig két szemesztert vett igénybe, iskolai és családi elfoglaltságaim mellett.

A rendszer lelke kétségtelenül a MyLogic áramkör, mely olcsóságával, és egyszerű megvalósíthatóságával méltán lehetne népszerű az egyre terjedő hazai házimozivilág barkácskedvű amatőrjei között. Ezt az állításomat arra alapozom, hogy a manapság kapható hi-fi tornyok és házimozivilágok silány ár-minőség arányt mutatnak, és többségük nem ismer elfogadható átmenetet a sztereó és a sokcsatornás hangzásvilág között. De nem csak az ilyesfajta áramkörök, hanem a hangfalak terén is hasonló a helyzet: jobb, ha az ember saját igényeihez mérten alakítja ki a számára megfelelőt.

Igény pedig van – tapasztalataim legalábbis ezt mutatják. Számos barátom/ismerősöm fordult már hozzám segítségül „hogyan tehetném jobbá...”, vagy „tervezné-e nekem egy...” kezdetű kérdésekkel.

# X. Függelék

## 1. – Rendszer logikai diagram



## 2. – Hangkártyák mérési eredményeinek összehasonlítása

**Testing chain: External loopback (line-out - line-in)  
Sampling mode: 16-bit, 44 kHz**

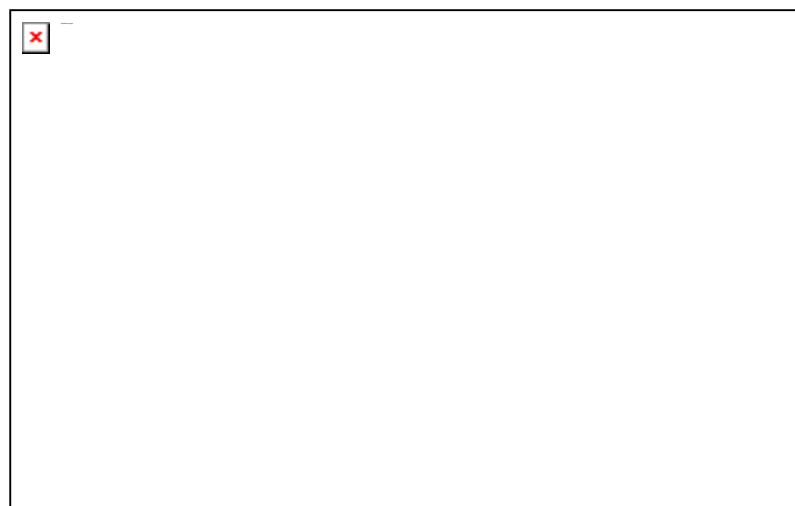
### Summary

Test	SB Live!	Monster Sound II	C-Media
Frequency response (from 40 Hz to 15 kHz), dB:	+0.26, -0.67	+0.08, -0.66	+0.51, -5.28
Noise level, dB (A):	-85.0	-82.2	-72.0
Dynamic range, dB (A):	84.2	81.5	58.2
THD, %:	0.0061	0.0072	0.219
IMD, %:	0.036	0.035	0.355
Stereo crosstalk, dB:	-84.9	-84.2	-72.8

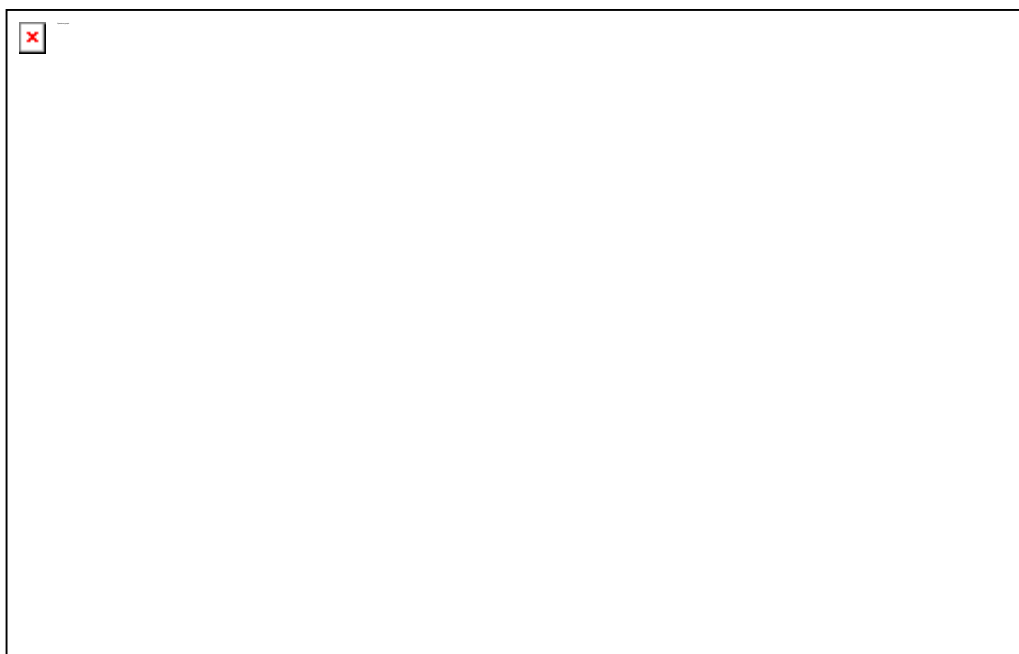
### Frequency response graph



### Noise level



### Dynamic range

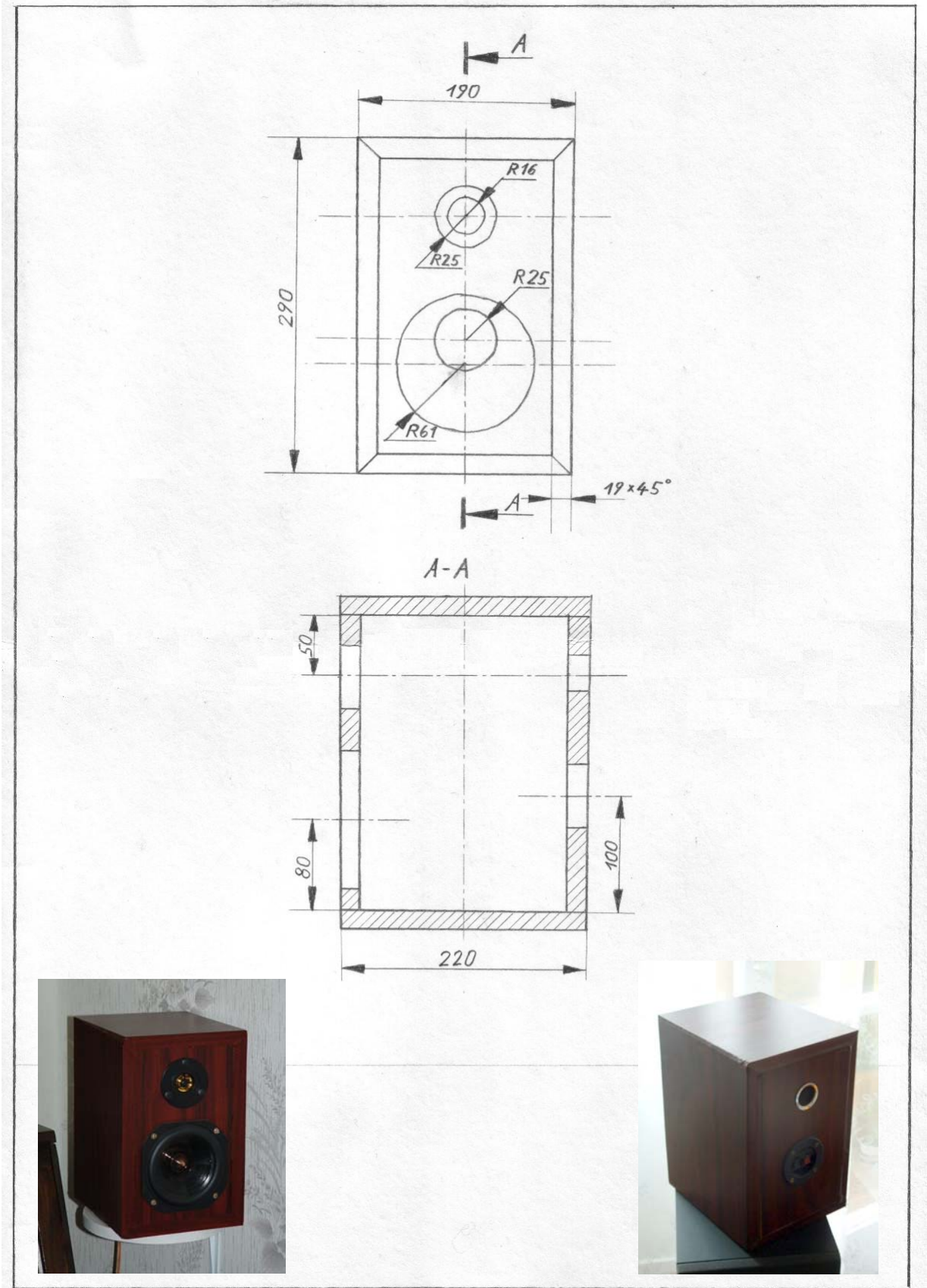


### THD + Noise (@ -3dB F<sub>s</sub>)



This report was generated by RightMark Audio Analyzer 5.2

### 3. – Surround hangsugárzó dobozrajza



#### ***4. – Subwoofer és center hangsugárzók dobozkialakítása, és fényképei***





## XI. Forráslista

- [1.] Dr. Wersényi György – A térbeli hallás (<http://luna.ttt.bme.hu/Num7/terhall.htm>)
- [2.] Tietze – Schenk – Analóg és digitális áramkörök (Műszaki könyvkiadó, 5.vált.)
- [3.] Rácz Csaba – Méréstechnika I. (Nemzeti Tankönyvkiadó)
- [4.] Dr. Borbély Gábor – Elektronikai áramkörök I-II (SZIF-Universitas 1997)
- [5.] Kovács Csongor – Elektronikus áramkörök (Okker Oktatási Iroda – 1996)
- [6.] JBL – Sound System Design Reference Manual ([www.jbl.com](http://www.jbl.com))
- [7.] Oláh Zoltán - 3D grafika és animáció (Gábor Dénes Főiskola – 180/98 Budapest)
- [8.] Dr. Wersényi György – Műszaki akusztika (előadássorozat jegyzet)
- [9.] Dr. Wersényi György – Stúdiótechnika (előadássorozat jegyzet)
- [10.] Kovács Tibor Ferenc - PC-Műhely 8. (Panem, 2001)
- [11.] Gyimes László – Digitális jelfeldolgozás
- [12.] HTE Online tankönyv
- [13.] Digitális Házimozi magazin III. évf. 5. szám (2002. szeptember)  
*Az igazi mozi, A celluloid nyugdíjba megy, 2002-2003 EISA-díj-nyertes készülékek, Fények-színek-képek – Az emberi látás, Mozi „a la carte”, Egységben az erő*
- [14.] Digitális Házimozi magazin IV. évf. 9. szám (2003. szeptember)  
*2003-2004 EISA-díj-nyertes készülékek, A szalagnak végleg befellegzett?, Közelednek a kölcsönzők végnapjai?, Ember a színpalak mögött,*
- [15.] Házimozi magazin IV. évfolyam 6. szám (2002.november/december)  
*Készüléktesztek*
- [16.] Hang & Technika magazin 3/1999 május-június
- [17.] Sztereo Házimozi magazin VI. évfolyam 7. szám  
*A surround technika zenei háttere 3. rész*
- [18.] [www.national.com](http://www.national.com) (National Semiconductor)
- [19.] [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com) (Fairchild Semiconductor)
- [20.] [www.dolby.com](http://www.dolby.com) elágazó oldalai, és letöltött Adobe Acrobat fájlok  
*5.1 channel production guidelines, The evolution of Dolby film sound, Digital Movieprocessor CP500, CAT no 702 Dolby Digital soundhead ref. Man., Design and implementation of AC-3 coders, Dolby evaluates DTS, Are movies too loud?, Dolby news at cinema expo 2002, What is the LFE channel, AC3: Flexible Perceptual coding for audio transmission and storage, Dolby-E multichannel coding, Dolby Surround Mixing Manual, Enter the world of multichannel, The evolution of Dolby film sound, A listener's guide to Dolby Surround ProLogicII, DVD-Audio – A producer's primer, Dolby Surround ProLogicII Decoder – Principles of operation, What is digital sound, Dolby digital – general, Dolby Surround Multimedia – Design requirements, Phase correctors and Dolby Surround, A listener's guide to Dolby Surround, Dolby Digital – The sound of the future-here, today, Dolby and THX in the home, Overview of Dolby technologies*
- [21.] [www.jbl.com](http://www.jbl.com) elágazó oldalai, és letöltött Adobe Acrobat fájlok  
*Cinema Sound System Manual*
- [22.] [www.dts.com](http://www.dts.com) elágazó oldalai, és letöltött Adobe Acrobat fájlok  
*DTS – Digital sound of the movies, Playing DTS on your personal computer, An overview of the Coherent Acoustics coding system, DTS-ES whitepaper, DTS: Brief history and technical overview, DTS 96/24 whitepaper, DTS Neo:6 overview, DTS 6D installation and operation manual*
- [23.] [www.sdds.com](http://www.sdds.com)
- [24.] [www.thx.com](http://www.thx.com)
- [25.] [www.muszeroldal.hu](http://www.muszeroldal.hu) elágazó oldalai
- [26.] Infocomm 2001 Seminar – Digital cinema theatre systems
- [27.] [www.origo.hu/techbazis](http://www.origo.hu/techbazis)