

Széchenyi István Egyetem
Műszaki Tudományi Kar

DIPLOMAMUNKA

Oláh Attila
Villamosmérnöki MSc

2013



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
MŰSZAKI TUDOMÁNYI KAR
TÁVKÖZLÉSI TANSZÉK



DIPLOMAMUNKA

Kiemelkedő hangminőségű CD-lejátszó készülék tervezése és építése

Oláh Attila

**Villamosmérnöki MSc szak
Távközlési rendszerek és szolgáltatások szakirány**

Győr, 2013

Feladatkiírás

Diplomamunka címe: Kiemelkedő hangminőségű CD-lejátszó készülék tervezése és építése

Hallgató neve: Oláh Attila

Szak: Villamosmérnöki

Képzési szint: MSc

A diplomamunka-feladat leírása:

- Teljes körű villamos, szoftveres és mechanikai tervezés
- Megfeleltetés a sorozatgyártás kívánalmainak
- Optimalizálás a vállalati arculatnak megfelelően
- Prototípus illetve „nullszériás” gyártmány megvalósítása és tesztelése
- Termék-és gyártási specifikáció készítése

Államvizsga-tárgyak:

- Digitális műsorszórás
- Hang- és képtechnika a stúdióban
- Optikai hírközlés

Győr, 2013. május 3.

belső konzulens

tanszékvezető

Értékelő lap

Diplomamunka címe: Kiemelkedő hangminőségű CD-lejátszó készülék tervezése és építése

Hallgató neve: Oláh Attila

Szak: Villamosmérnöki

Képzési szint: MSc

A diplomamunka beadható / nem adható be: (a nem kívánt rész törlendő)

dátum

aláírás (belső konzulens)

A diplomamunka bírálatra bocsátható / nem bocsátható: (a nem kívánt rész törlendő)

dátum

aláírás (tanszékvezető)

A bíráló:

- Neve:
- Munkahelye:
- Beosztása:

A bíráló javaslata:

dátum

érdemjegy

aláírás (bíráló vagy tszv.)

A belső konzulens javaslata:

dátum

érdemjegy

aláírás (belső konzulens)

A ZVB döntése:

dátum

érdemjegy

aláírás (ZVB elnök)

Nyilatkozat

Alulírott Oláh Attila, villamosmérnöki MSc szakos hallgató kijelentem, hogy a Kiemelkedő hangminőségű CD-lejátszó készülék tervezése és építése című diplomamunka feladat kidolgozása a saját munkám, abban csak a megjelölt forrásokat, és a megjelölt mértékben használtam fel, az idézés szabályainak megfelelően, a hivatkozások pontos megjelölésével.

Eredményeim saját munkán, számításokon, kutatáson, valós méréseken alapulnak, és a legjobb tudásom szerint hitelesek.

dátum

hallgató aláírása

ÖSSZEFOGLALÓ

A diplomadolgozatom témájául szolgáló CD-lejátszó készüléket a neves nemzetközi díjakkal büszkélkedő, kiemelkedően magas hangminőségű elektroakusztikai termékeket gyártó Heed Audio Kft. számára terveztem. Munkám során számos műszaki, gazdasági és ideológiai kritériumot figyelembe kellett vennem, és törekednem a márkára jellemző hangzásvilág elérésére. Olyan készüléket kellett alkotnom, amely esszenciálisan közvetíti a zene üzenetét, és minden részletében a hang élményeink gyarapítását szolgálja.

A komplex tervezési feladatot a zenei CD technológiájának elemzésével kezdtem, majd megvizsgáltam a digitális-analóg átalakításhoz rendelkezésre álló eszközeink hang- és működési tulajdonságait. A tapasztaltak fényében kiválasztottam az egyes részfeladatok számára leoptimalisabb megoldásokat, melyek végül két önálló készülékben testesültek meg. A különálló CD-transzport kizárólag a lemez kiolvasására és a digitális jel továbbítására született, a D/A konverter pedig kompromisszumoktól mentesen tolmácsolja analóg világunknak a digitális forrásokból származó zenét.

Dolgozatomat az elérni kívánt cél, a vágyott minőségű kimeneti analóg jel oldaláról nézve építettem fel. Ismertettem, milyen megoldásokkal lehet a legjobb digitális-analóg átalakítást elérni, ehhez milyen speciális áramkörök és szűrők szükségesek. A D/A konverzió és az USB kapcsolat ellátására olyan bővítőkártyákat terveztem, amelyek a cég többi készülékével is kompatibilisek. Meg kellett oldanom az eszközök távvezérelhetőségének kérdését, melyre mikrokontrollerekbe írt programok útján találtam választ. A tápellátás minőségének fontosságát minden esetben kihangsúlyoztam, és ismertettem a készülékek energiaellátási struktúráját.

A mechanikai tervezés során ügyelnem kellett a sorozatgyártás kívánalmaira, a készülékházakhoz elegáns és egyben könnyen szerelhető megoldásokat alkalmaztam. A kezelógombokat és az akril előlapokat úgy alakítottam ki, hogy azok arculatilag illeszkedjenek a cég többi termékéhez. Megismertem a cég beszállítóinak technológiai képességeit, a fém és műanyag alkatrészeket ezeket szem előtt tartva terveztem meg. Elkerülhetetlen volt néhány új gyártási és ellenőrzési módszer bevezetése, ezekhez részletes instrukciókat adtam meg.

Írásom befejező részében értékeltem a megalkotott készülékeket, több konkurens termékkel összevetve segédkeztem a piaci pozicionálásban. Felvázoltam, milyen lehetőségeket látok az eszközök tökéletesítésére, amelyek révén azok még nagyobb élményt nyújthatnak zenehallgató embertársaimnak.

ABSTRACT

TARTALOMJEGYZÉK

1.	ELMÉLETI ÁTTEKINTŐ	2
1.1.	A zenei kompaktlemez	2
1.1.1.	Red Book CD-DA formátum	2
1.1.2.	Fizikai tárolás	3
1.1.3.	Kiolvasás	4
1.2.	Digitális-analóg átalakítás	5
1.2.1.	Kommunikációs protokollok.....	6
1.2.2.	Hardveres konverterek	7
1.3.	A készülékkel szemben támasztott követelmények	9
1.3.1.	Műszaki, gazdasági, ideológiai elvárások	9
1.3.2.	A koncepció összefoglalása	10
2.	A DIGITÁLIS-ANALÓG KONVERTER KÁRTYA	12
2.1.	Felépítés és működés	13
2.1.1.	A CS8416 S/PDIF receiver	13
2.1.2.	A WM8727 digitális-analóg konverter	14
2.2.	Villamos és mechanikai tervezés	15
2.2.1.	A tápellátás elemei	15
2.2.2.	A receiver IC beállítása	18
2.2.3.	Járulékos áramkörök	19
2.2.4.	Az analóg kimeneti szűrő	20
2.2.5.	A panel kialakítása	21
3.	AZ USB INTERFACE KÁRTYA	24
3.1.	Felépítés és működés	24
3.2.	Villamos és mechanikai tervezés	25
3.2.1.	A tápellátás	25
3.2.2.	Az órajel-generátorok.....	26
3.2.3.	Kimeneti fokozat	27
3.2.4.	Csatlakozások.....	27
3.3.	Szoftveres tervezés	28
3.3.1.	Firmware	28
3.3.2.	Windows driver	29
4.	A DIGITÁLIS-ANALÓG KONVERTER KÉSZÜLÉK	30

TARTALOMJEGYZÉK

4.1. Felépítés és működés.....	30
4.1.1. Bemeneti interfészek.....	30
4.1.2. Analóg kimeneti fokozat.....	31
4.1.3. Kiszolgáló áramkörök.....	31
4.1.4. Tápellátás.....	31
4.2. Villamos tervezés.....	32
4.2.1. Csatlakozások.....	32
4.2.2. Az analóg fokozat.....	34
4.2.3. Az előlapi vezérlőpanel.....	36
4.2.4. A tápellátás.....	38
4.3. Szoftveres tervezés.....	40
4.4. Mechanikai tervezés.....	42
4.4.1. A fémház.....	42
4.4.2. Az akril előlap.....	43
4.4.3. Feliratozás.....	43
5. A CD TRANSZPORT.....	44
5.1. Felépítés és működés.....	44
5.1.1. A loader és az OPU.....	45
5.1.2. A feldolgozó egység.....	46
5.1.3. Vezérlés.....	47
5.1.4. Tápellátás.....	48
5.2. Villamos tervezés.....	48
5.2.1. A tápellátás.....	48
5.2.2. Az előlapi user inteface.....	50
5.2.3. Központi vezérlő egység.....	51
5.2.4. A kimeneti fokozat.....	52
5.3. Szoftveres tervezés.....	53
5.3.1. A kijelző vezérlése.....	53
5.3.2. A DSA protokoll.....	54
5.3.3. Egyedi belső protokoll.....	54
5.4. Mechanikai tervezés.....	56
5.4.1. A loader elhelyezése.....	56
5.4.2. Az előlapi user interface.....	57
6. GYÁRTÁS-ELŐKÉSZÍTÉS, SPECIFIKÁCIÓK.....	59

TARTALOMJEGYZÉK

6.1. DAC kártya	59
6.1.1. Beültetés	59
6.1.2. A működés vizsgálata	60
6.1.3. Ellenőrzés, bemérés.....	62
6.1.4. Specifikációk.....	62
6.2. USB kártya	63
6.2.1. Beültetés	63
6.2.2. Programozás.....	63
6.2.3. Ellenőrzés.....	64
6.2.4. Specifikációk.....	64
6.3. Obelisk DA.....	65
6.3.1. Beültetés.....	65
6.3.2. Mechanikai előkészítés és szerelés	65
6.3.3. Ellenőrzés, bemérés.....	67
6.3.4. Specifikációk.....	68
6.4. Obelisk DT.....	68
6.4.1. Beültetés.....	68
6.4.2. Mechanikai előkészítés és szerelés	68
6.4.3. Ellenőrzés, bemérés.....	69
6.4.4. Specifikációk.....	70
7. ÉRTÉKELÉS	71
7.1. Termékpozicionálás	71
7.1.1. Meghallgatás, kvalifikálás.....	71
7.1.2. Piaci reakciók	72
7.2. Továbbfejlesztési lehetőségek	72
7.2.1. Obelisk DA.....	72
7.2.2. Obelisk DT.....	73
7.3. Összegzés.....	73

ELŐSZÓ

A CD-lejátszó tervezésére felkérő cég, a Heed Audio Kft. egy világszerte elismert, kiemelkedő minőségű elektroakusztikai termékeket gyártó vállalkozás. A márka készülékei végtelen egyszerűségükkel tűnnek ki a sorból, hihetetlenül letisztult és masszív vonalvezetéssel, működésre tervezett megjelenéssel, kezelhetőségük, megbízhatóságuk kimagaslóan jó. A termékek külseje nem vonja el figyelmünket a belbecsről, ezek az eszközök elsősorban a zene megszólaltatására, és nem vizuális örömszerzésre születtek.

Ortodox audiofil körökben még napjainkban is az analóg hanglemezt tartják a zene legalkalmasabb tárolási módjának, melynek lejátszása során valóságos, katartikus élményt élhet át az ember. Ennek feltétele, hogy a lejátszó berendezés igen precíz legyen mind mechanikai, mind villamos kivitelében. Értelemszerűen az utóbbi kritériumhoz magas ár, előbbihez pedig még magasabb ár társul. Egy LP lemez lejátszása ugyanakkor egyértelmű és követhető folyamat, melynél vevői szemmel azonnal értékelhető a minőségi alkatrészekbe fektetett összegek hatása.

A CD ezzel szemben egy misztikus tárgy. Bitek vannak rajta és nem crescendók, „fénytűvel” lehet lejátszani, de igazából nem is tudjuk, mi történik a Play megnyomása után, mert elnyeli a gép a lemezt és nem látjuk bő egy órán át. Míg az analóg hanglemeznél élvezzük a kis rituálét, melynek során a tú sajátkezű ráhelyezésével azonnali, fizikai kapcsolatba kerülünk a zenével, a CD esetén ez személytelenné válik.

Kétségtelen, hogy a mintavételezés és kvantálás során elveszett információt többé visszanyerni nem lehet. Az átalakításnak hallható eredménye van, és mint minden felvételi formátum, a CD is jellegzetes karakterisztikát hordoz, melynek finomítása, elfedése, formálása valódi kihívás. Az optikai lemezen rögzített anyagból zenét alkotni igen komplex megoldásokkal lehet, melyek távolról sem olyan egyértelműen igazolhatók, mint az LP lemezjátszók esetében.

Ugyanakkor hiszem, hogy létezhet olyan CD-lejátszó, amely képes a zene természetes folyását megragadni, elénk tárni a felvétellel elérhető perspektívákat és közvetíteni a zene emocionális aspektusait. A jelen dolgozatban ismertetett készüléket ennek szellemében alkottam meg.

1. ELMÉLETI ÁTTEKINTŐ

1.1. A zenei kompaktlemez

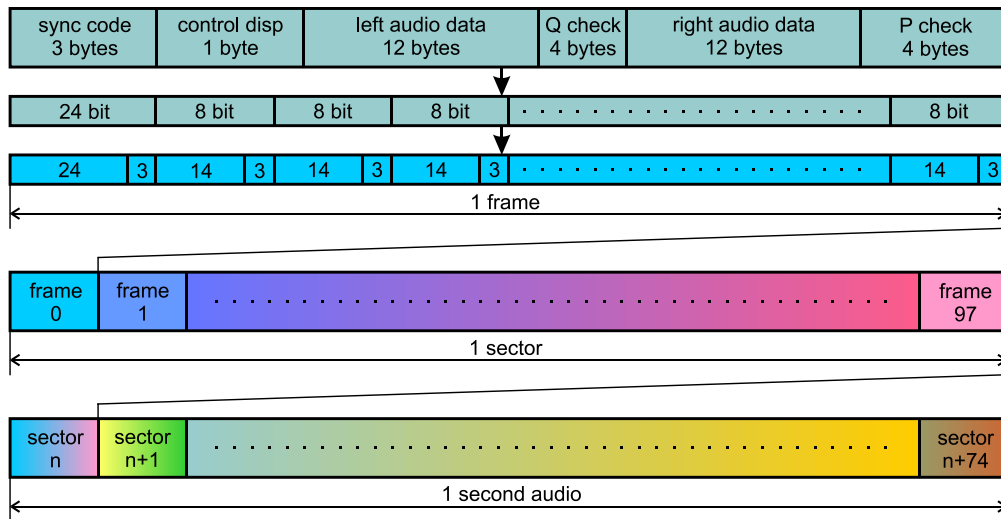
Felhasználói szemmel nézve a CD megjelenése igazi megváltás volt. Az új formátum fizikailag sokkal kisebb, kevésbé sérülékeny, nem használódik el a lejátszások során úgy, mint azt az analóg hanglemez vagy a magnószalag, egyszóval egyszerűbb, kényelmesebb és jóval hosszabb ideig nyújt élvezhető minőséget. A hangja ugyan más, mint az LP muzsikája, viszont nem nyávog, nem torzít, és zaja is alig van. Ezen jó tulajdonságai miatt igen széles körben elterjedt, rengeteg kiadvány jelent és jelenik meg CD lemezen, melyekből egyeseknél több ezer darabos gyűjtemény halmozódott fel. A számítástechnika és a dedikált adathordozó nélküli zenei formátumok térhódítása mellett napjainkban is fontos szerepe van a 12 centis korongoknak, lassan felemelkedve az LP kultikus pozíciója mellé a zenehallgató ember szemében. Érdemes tehát megismerni és támogatni a technológiát új készülékekkel is, mert meggyőződésem, hogy a szinte napról napra fejlődő technológiai háttér megfelelő felhasználásával még számos kiaknázatlan potenciál rejtőzik a 44.1 kHz / 16 bites lemezekben.

1.1.1. Red Book CD-DA formátum

Az 1970-es években a Philips mérnökei egy új, a vinil lemezt leváltó, hosszú műsoridejű formátumon kezdtek dolgozni. A könnyű szerkeszthetőség érdekében digitális rendszerű eszközökben gondolkodtak, és lézerrel működő olvasó-író készülékekkel kívánták elkerülni a mechanikai kapcsolatot az olvasó és az adathordozó között. A fejlesztés során a Philips és a Sony közös fejlesztőcsoportot hozott létre, amely 1980-ra előállt egy befejezett, használható és gyártható szabvánnyal, melyet 1987-ben jegyeztek be IEC 60908-as katalógusszámmal. A szabvány az évek során számos kiegészítést és átdolgozást kapott, de az alapjai mindmáig változatlanok.

A hanganyag lineáris PCM formátumban kerül rögzítésre. A mintavételezéshez 44,1 kHz-es frekvenciát, a kvantáláshoz 16 bites skálát használnak. Az értékek eredete a fejlesztés során adódott, a kezdeti digitális felvevők ugyanis átalakított videomagnók voltak, melyeket a 44.1 kHz-es mintavételi frekvencia használatával NTSC és PAL anyagokhoz is használhattak. Az emberi hallás felső, 20 kHz-es határfrekvenciájához [1] igazodva a Nyquist-frekvencia 40 kHz-re adódik [2], így az előbb említett frekvencia megfelelő volt, és bekerülhetett a szabványba.

A digitalizálás során előállt adatfolyam 33 bájtos keretekre oszlik, melyek mindegyike hat sztereó hangmintát, a CRC kódolás paritás bitjeit, valamint a lejátszót segítő szubkódokat tartalmaz. EFM kódolással (8-ból 14 bit), szinkron bitek hozzáadásával és egy egyedi szinkronbájttal együtt 588 bitesre nő egy keret. Ezekből 98 db alkot egy időköddal ellátott szektort. Másodpercenként 75 szektort kiolvastva pontosan 44,1 kHz-es, vagyis egyszeres sebességet kapunk (1.1. ábra). A CD teljes adatsebességére így $555 \text{ bit} \times 98 \times 75 \frac{1}{s} = 4,3218 \text{ Mbit/s}$ adódik, amelyből mindössze 1,4112 Mbit/s a hanginformáció.



1.1. ábra: A CD-DA adatstruktúrája [3]

1.1.2. Fizikai tárolás

A CD mechanikai alapját egy 1,2 mm vastag, 12 cm átmérőjű polikarbonát lemez adja, közepén egy 15 mm átmérőjű furattal. Maga az adathordozó réteg egy vékony alumínium fólia, amely felületi kialakításával tárolja az adatokat, vagyis mechanikai úton sokszorosítható. A digitális jel pitek formájában, apró lyukak sorozataként jelenik meg a rétegen, amelynél az eredeti, sima felszín, illetve a ~ 100 nm mélységűre benyomott pitek közti különbség reprezentálja a digitális 1 és 0 állapotokat (NRZI kódolásnak megfelelően). Az adatok belülről kifelé, egybekezdésű spirális alakzatban helyezkednek el, ahol a pitek $0,5 \mu\text{m}$ szélességűek és spirál ágai $1,6 \mu\text{m}$ távolságra vannak egymástól. Az alumínium fóliát általában egy lakk védőréteg fedi.

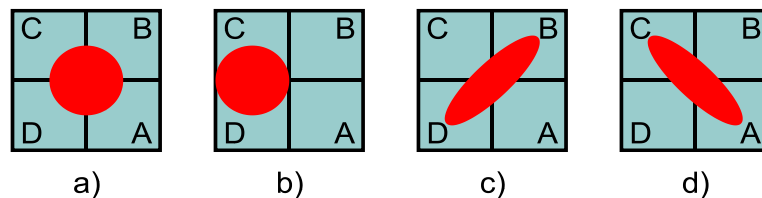
A 12 cm-es méret eredetileg 74 percnyi hanganyag tárolására volt alkalmas. A fejlesztés során megcélzott 60 percnyi játékidőt, és az ahhoz tartozó 11,5 centis átmérőt

a Sony vezérigazgatójának kérésére bővítették ki, hogy egy lemezre ráférjen Beethoven 9. szimfóniájának egy 1951-es felvétele. A későbbi fejlesztések során 80, illetve 99 percig bővítették a kapacitást, valamint létrehoztak több kisebb méretű lemezt, egy 8 centis Mini-CD, valamint többféle névjegykártya méretű, négyszögletes verziót. A 120 mm-es kivitel azonban továbbra is a legkedveltebb, a később kialakított, kereskedelmi forgalmú optikai lemezekhez (DVD, SACD) is ezt a méretet választották.

1.1.3. Kiolvasás

A lemezen tárolt adat kiolvasása optikai úton, 780 nm-es lézersugár segítségével történik a forgó lemezről. Az adatok konstans kerületi sebességre optimalizáltan helyezkednek el. Ez azt eredményezi, hogy a lemez belső részén elhelyezkedő adatokhoz nagyobb, míg kifelé haladva egyre kisebb szögsebességgel kell a lemezt forgatni, hogy az olvasófej előtt a lemez relatív sebessége állandó 1,2 m/s legyen. Az ideális kiolvasáshoz 495 és 212 fordulat/perc között folyamatosan változó lemezforgatásra, az ezzel összhangban lévő, pontos fejpozicionálásra, gyors és pontos fókuszálásra van szükség. A lemez spirális struktúrája segít abban, hogy a lejátszó a legegyszerűbb és leggyorsabb algoritmusok használatával követhesse a felírt „adatösvényt”.

A legpontosabb optikai fejegységekben a lemezre fókuszált, és onnan visszavert lézersugár egy négy- vagy hatcellás fénydetektorra vetül [4]. A különféle kollimátor lencsék¹ által formált, reflektált fénysugár alakja attól függően változik, hogy a lemezre irányított lézervény fókuszpontja pontosan az adathordozó fóliára, avagy elé illetve mögé esik (1.2 ábra). Négy cella esetén szimpla aritmetikai művelettel eldönthető (ld. 1.1 egyenlet), hogy helyes-e a fókusz, és az is, hogy a fénypont nem lépett-e ki oldalirányban a pitek vonalából. Az egyes fejekben található két kiegészítő cella annak gyorsabb eldöntésében segít, hogy elé- vagy mögé fókuszált-e a sugár, illetve pontosabb sávtartást tesz lehetővé.



1.2. ábra: A fókuszálás ellenőrzése

¹ A széttartó fénynyalábot párhuzamosá tévő optikai eszköz

A négy részre osztott fényérzékeny cellákról származó jelet rendszerint az alábbi logikai művelettel lehet kiértékelni a helyes fókuszáláshoz:

$$e_F + (V_A + V_C) \cdot (V_B + V_D) \qquad \text{1.1. egyenlet}$$

ahol az eredő feszültség tekintetében

$e_F = 0$ tökéletes fókuszáltságot (1.2.a ábra),

$e_F < 0$ távolfókuszot (1.2.c ábra),

$e_F > 0$ közelfókuszot jelent (1.2.d ábra).

A kiolvasás pontosságát alapvetően befolyásolja a lemez minősége. Lévén, hogy a lézersugár alulról, a polikarbonát rétegen keresztül éri el az adathordozó réteget, a műanyagban lévő karcok optikai zajként jelentkeznek. Nehezíti a kiolvasást a hullámos lemez, mert ekkor a lézersugár fókuszát folyamatosan változtatni kell. A vibráció miatt a fejpozicionálás is pontatlanabb lehet.

A lejátszó lézerének konstans fényintenzitása, a fotoszenzitív lapka pontosan definiált feszültség-karakterisztikája, valamint az elsődleges aritmetikai feldolgozás komparátorainak döntési szintjei mind az analóg áramköri elemekre jellemző problémakörbe tartoznak. Miután ez utóbbiak határozzák meg a későbbiekben feldolgozott 0 és 1 digitális állapotokat, ezen áramkörök precíz kivitele döntően befolyásolja az egész készülék végső minőségét. Az analóg és digitális jel közötti különbség egy filozófiai döntés, amely ezen a ponton valósul meg.

Ha egy maximális technológiai pontossággal legyártott optikai fejegységről beszélünk, „kívülről” csupán egyetlen módon garantálhatjuk annak tökéletes működését: megfelelő tápellátással. Ezen áramkörök stabil, pontos működése kiemelkedően precíz tápfeszültség meglétét követeli, ugyanis ha ezen a ponton történik egy téves döntés, az lavinaként zúdul végig a rendszer többi elemén.

1.2. Digitális-analóg átalakítás

A CD-lejátszás első sarokpontját, a fénysugár analóg-digitális átalakítását követően számtalan lehetőségünk nyílik a digitális jel megváltoztatására. Szinte bármelyik, az analóg tartományban megismert jelfeldolgozási eljárásra létezik digitálisan is elvégezhető változat, ugyanakkor számtalan új lehetőség nyílik meg előttünk, például a szűrők kialakításakor. A digitális-analóg átalakítás egyik kulcskérdése az alias-frekvenciák [2] hatékony eltüntetése, amelyre a CD szabvány

esetén rendkívül keskeny frekvenciasáv áll rendelkezésre. Szimpla analóg módszerrel olyan meredekségű és bonyolultságú szűrő szükséges, amelynek működése káros hatással van a hasznos átviteli tartományra is.

A manapság elterjedt hardveres konverterek szinte kivétel nélkül bevetnek valamilyen digitális szűrőzési eljárást, amelyek időnként gyökeresen más tulajdonságokkal rendelkeznek, kihatva így az eredő hangminőségre. A konverterek jellemzően egy jól meghatározott digitális bemeneti formátumot fogadnak, amely protokollok hosszabb-rövidebb úton képesek a PCM-kódolt² hanganyagot továbbítani.

1.2.1. Kommunikációs protokollok

Széles körben elterjedt, kevésbé kényes és egyszerű kialakítású az S/PDIF kapcsolat, amely az egyik első, készülékek közötti, digitális hangadat továbbítására létrehozott szabvány. A Sony és a Philips által megalkotott ajánlás lehetőséget nyújt a CD, a 48 kHz-es DAT magnó, maximum 768 kHz / 24 bites szimpla PCM, valamint DTS, ATRAC, AAC, AC-3, valamint MPEG2 Audio egyirányú továbbítására. A protokoll az AES/EBU szabvány módosításán alapszik, amely a csökkentett feszültségértékeknek köszönhetően alkalmassá vált számítógépes felhasználásra is.

1.1. táblázat

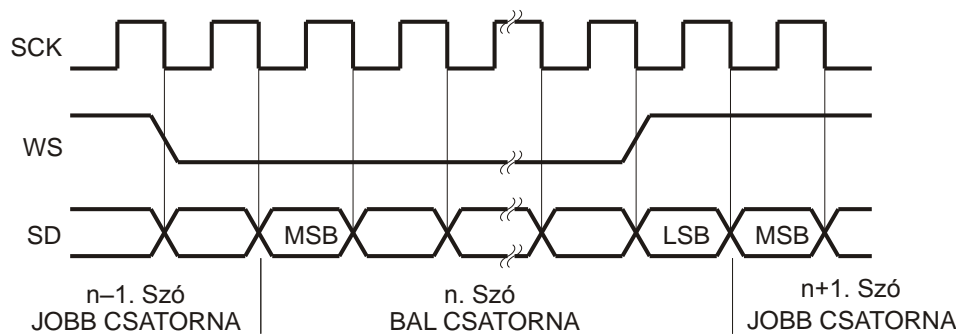
Csatlakozó	RCA	TOSLINK	Nem szabványos
Interfész	aszimmetrikus	optikai	aszimmetrikus
Kábel	75 Ω , koaxiális	1 mm műanyag optikai szál	-
Max. kábelhossz	10 m	1 m	-
Kimeneti jelszint	0,5 V _{PP}	-	5 V _{PP} (TTL)
Max. feszültség	0,6 V _{PP}	-	5 V _{PP} (TTL)
Max. áram	8 mA	-	-
Min. bemeneti szint	0,2 V _{PP}	-	2 V _{PP} (TTL)
Csatorna-moduláció	BMC		
Szubkód információ	SCMS másolásvédelmi információ		
Max. felbontás	20 bit (opcionális 24 bit)		

Egyvezetékes fém, vagy optikai úton továbbítható BNC / RCA vagy TOSLINK kapcsolódással. Az órajelet maga az adatfolyam tartalmazza, melynek pontos kinyerése a jelfolyamból meghatározza a rendszer további működését. Ebből következik, hogy

² A mintavételezés és kvantálás során előállított nyers digitális jel

minél pontosabb és stabilabb az adó oldalán formált jel, annál tökéletesebben sikerülhet az átvitel és a vétel. Jellemzően néhány 10-100 ps jitter értékekkel tudunk manapság dolgozni ezen szabvánnyal.

Az I²S az Inter-IC-Sound rövidítése, amely jellemzően készüléken beüli jeltovábbításra született. Próbálkoznak ugyan készülékek közötti átvitelrel is, de jómagam ezt nem erőltetném. A szabvány alapvetően három vezetékot használ, amely kiegészíthető egy plusz rendszer-órajellel. Az ágakon a bitórajel, csatorna-szeperációs jel és maga a PCM adat található, melyek igen magas, 128-szoros, vagy akár 768-szoros órajelen közvetítik a hanganyagot. Egy ilyen jelet szívem szerint maximum néhány centiméterre vezetnék el nyugodtan, akkor is kínosan ügyelve a panel vezetősávjainak kialakítására.



1.3. ábra: Az I²S idődiagramja

A protokoll több változata is elterjedt. Jellemzően a keretek kitöltésének módjában különböznek, vagyis abban, hogy a nem nulla értékek a keret melyik oldalára vannak súlyozva. Én a normál változatot preferálom, amelynél a szinkron biteket követően egy nulla kihagyással MSB → LSB³ formátumban következnek az adatok, így a hanganyag felbontásától függetlenül mindig ugyanoda esnek az adott mélységig felhasznált bitek. Ennek akkor lehet jelentősége, ha külső zavar hatására a keret végére már kicsit kizökken az átvitel a szinkronból, a hiba viszont ilyen módon minden használt felbontás esetén ugyanabba a dinamikai tartományba esik.

1.2.2. Hardveres konverterek

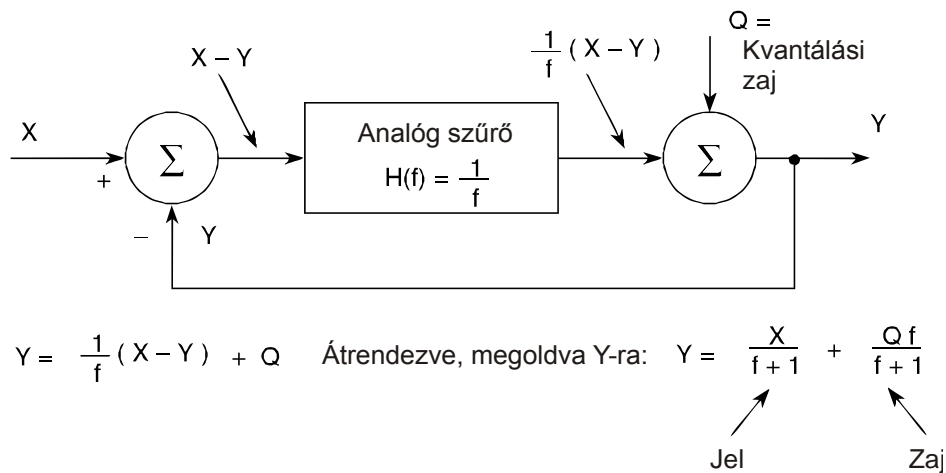
Általánosságban jellemző a technikai világra, hogy az egyetlen feladatra készített eszközök gyorsabban, hatékonyabban, pontosabban végzik feladatukat, mint az

³ Most Significant Bit – legnagyobb helyiértékű, Least Significant Bit – legkisebb helyiértékű bit

univerzális munkára fogható társaik. Jelen esetben sincs ez másként, egy integrált S/PDIF – analóg átalakító rendszerint gyengébben teljesít, mint egy megosztott rendszer.

Nagyon jó hírű a Cirrus Logic digitális receivere, amely tulajdonképpen egy S/PDIF – I²S konverter, kitűnően végzi a feladatát, egyszerű és olcsó. A Wolfson Micro is készített ilyen eszközt, amely katalógus-adatokban felülmúlja az előbbit, viszont már a normális működéshez is célszerű szoftveresen vezérelni, amely feleslegesen bonyolítja a rendszert.

A digitális-analóg átalakító chipok százaiból lehet választani, jelentős hányaduk kimondottan audio felhasználásra készült. A ma kapható típusok jó része többfokozatú átalakító, belső túlmintavételezéssel, digitális szűrőzéssel és dithereléssel⁴ rendelkezik, rendszerint szigma-delta modulációs eljárást (1.4. ábra) használ a konverzióhoz. Hangilag leginkább a kapcsolt kondenzátoros, feszültség-kimenetes példányokat szeretem. A Wolfson kínálatában számos ilyen eszköz található, szerintem velük lehet elérni a legjobb eredményeket, technikai oldalról nézve is, de főként a zeneiséget szem előtt tartva.



1.4. ábra: A szigma-delta moduláció [5]

Az átalakítók rendszerint I²S – analóg konverterek. A bemenetükön fogadott digitális anyag jellemzően egy jitterre kevésbé érzékeny fokozattal találkozik elsőként, így nem hiszem, hogy a receiver és a DAC IC közti átvitel gyenge pont volna. Sokkal meghatározóbb a receiver nyújtotta teljesítmény, amelyet a DAC mintegy szolgálként követve szó nélkül analóg jellé alakít. Átgondolandó azonban, hogy a kommunikáció

⁴ A kvantálási hibákat elfedő művelet

során milyen nemkívánatos jelenségek léphetnek fel, ugyanis minden, a DAC chipbe bekerülő jel valamilyen formában kihatással a kimenetre is.

A teljes lejátszó rendszer második legfontosabb pontja a DAC IC maga, amely elválasztja a digitális oldalt az analógtól. Ez a szeparáció és főként annak jósága szintén döntő lehet a hangminőség szempontjából, az IC lábáról kijövő jel már a fülünknek, lelkünknek szóló információt hordozza. A CD kiolvasó egységével ellentétben itt számos lehetőségünk van elrontani, megzavarni ezt a határvonalat, jövátéhetetlen károkat okozva a zenei megszólalásban.

1.3. A készülékkel szemben támasztott követelmények

A Heed márka az elmúlt években egy folyamatosan fejlődő, kimondottan robbanékony branddé vált, amelynek nevét mára szinte minden hifi rajongó ismeri. Köszönhető ez a jól átgondolt koncepciójú készülékeknek, a kiemelkedő megbízhatóságnak és az áránál néhány kategóriával magasabbra tehető hangminőségnek. No és persze a folyamatos technikai fejlesztéseknek, de legfőképp a digitális vonal erősítésének. El kell fogadni, hogy egy elektronikai gyártó nem létezhet manapság valamilyen digitális eszköz, leginkább egy digitális forráskészülék nélkül. Ugyan reneszánszát éli az LP, de a piaci szegmens annyira szűk, hogy azt megcélozni pusztán vakmerőség volna. A CD-játszó és D/A konverter tehát adta magát, mint kötelező produktum.

1.3.1. Műszaki, gazdasági, ideológiai elvárások

Az *Obelisk Si* integrált erősítő mind küllemével, mind technikai kialakításával kitűnik a tömegből. Részben ez a deviancia váltotta ki azt a közösségformáló szimpátiát, amely a márkát övezi. Az erősítő egy termékcsaláddá nőtte / növi ki magát, amely specifikus eszközökkel kívánja a fogyasztók egyéni igényeit kielégíteni. A hasonló kvalitású készülékeket így ezen család formájára kell szabni, elsősorban a küllemet illetően.

Az integrált erősítő és az önálló előerősítő egy bővítőkártya-hellyel rendelkezik, amelybe MM fonó⁵ kártya, illetve DAC kártya tűzhető. A kompatibilitás miatt egy önálló D/A konverternek célszerűen kezelni kell a kártyát. A továbbfejlesztésre gondolva azonban elő kell készíteni egy nagyobb, komolyabb átalakító fogadását is, amely az Si-ben helyhiány miatt nem férhet el.

⁵ Mozgó mágneses lemezjátszó hangszedő

A CD-lejátszó, mint forrás feladata a CD lemezek tökéletes kiolvasása. Miután ez a művelet a legközelebbi szállítható protokollig leginkább a digitális tartományban történik, a készülék tisztán digitálisnak tekinthető. Ez a felfogás egyszerűsíti a dolgot, így ugyanis jóval könnyebb megfelelő tápellátást biztosítani számára, amennyiben a készülék csak és kizárólag ezt a feladatot látja el.

A vállalat kialakult beszállítói köre a jelenlegi készülékek technológiai kiszolgálásában jeleskedik. Az új modellek viszont előrevetítik a kör bővítését, mert ezek az eszközök már igen nagy integráltságot követelnek. A várhatóan felületszerelt panelek mellett azonban a lehető legnagyobb mértékben meg kell tartani a jelenlegi, kézi beültetéses THT⁶ szerelést, mert ez fontos eleme a vállalati image-nek. Az alkatrész-bázis logisztikai kontrollálása egyszerűbb, ha sok átfedés van a készülékek közt, így amennyire lehetséges, a meglévő bázisra kell építeni.

A család minden készülékének tükröznie kell a zene iránti szenvedélyt, ugyanakkor a kor technikai elvárásainak is optimális mértékben meg kell felelni. Biztonsági és életvédelmi szempontból ugyanakkor a maximálisra kell törekedni, az eddig is jól bevált módszerek alkalmazásával, a vonatkozó szabványok betartásával.

1.3.2. A koncepció összefoglalása

Az elvárások alapján megvitattuk a lehetséges alternatívákat, majd felvázoltam elképzeléseim a feladat megoldását illetően. A kigondolt verzió némileg módosít az Obelisk-család és tagjainak pozícióján, kissé más célcsoportra pozicionálva a termékeket. Utólag azt kell mondjam, jónak bizonyult az ötlet.

Az integrált CD-lejátszó készülék léte számos disszonanciával járt volna az Si mellett. A kevésbé érzékeny digitális hangátvitel és az integrált erősítőbe tűzhető DAC feleslegessé teszi a lejátszóba épített konvertert. Az adott fizikai méret sem nyújt túlzottan sok alternatívát a lejátszó belső kialakítást illetően. A tápellátás szintén jóval bonyolultabb egy hibrid analóg-digitális készülék esetén, ugyanis a kis helyigényű, ámde borzasztó hangminőséget produkáló kapcsolóüzemű tápegység szóba sem jöhetett, a kétféle lineáris táp pedig teret követel magának.

Úgy gondoltam, megalkotok egy olyan kiszolgáló központot, amely a digitális világ oldaláról csatlakozik a zenéhez. Egy önálló D/A konverter készüléket, amely számos digitális bemenettel rendelkezik, jól átgondolt tápellátással bír a tökéletes konverzió érdekében, kimenete pedig az analóg oldal kiszolgálásában jeleskedik. A CD, mint forrás így csupán egy olyan oldalág, amely hangminőségben meghatározó, funkciójában másodlagos szerepű, a rendszer lelkét a DAC adja.

⁶ Through Hole Technology – furatszerelt technológia

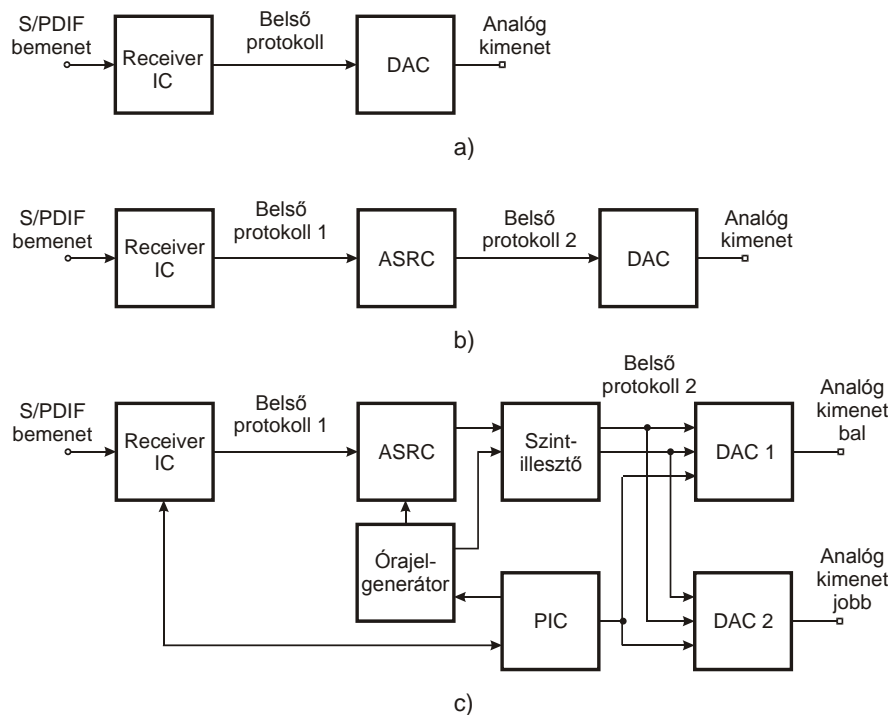
Manapság, amikor az emberek jó része CD, DVD, számítógép, TV, mobiltelefon, és számos egyéb, szinte naponta változó és megújuló forrásból hallgatnak zenét, egyetlen dolog változatlan: az áttérés a digitális és az analóg domén között. A hanganyagokhoz ugyanis javarészt digitális formában jutunk hozzá, a hallásunk azonban még mindig az analóg rezgéseket érzékeli. A jól bevált S/PDIF, USB és TOSLINK digitális kapcsolat még jó ideig megmarad minden készüléken, így ha ezeket képes fogadni az átalakító, köztük kényelmesen, távirányítóval választhatunk, hosszú ideig ez az eszköz maradhat a zenehallgató lánc központi eleme. A CD-futómű feladata így csupán a lemez kiolvasására és a digitális adat megfelelő továbbítására degradálódik, amely így véleményem szerint sokkal jobb minőségben megoldható.

A fenti gondolatok két készüléket szültek, melyek egymással és a család többi tagjával tökéletes összhangban működnek. A feladat során elkészített CD-lejátszó így két dobozba került, az egyik a CD kiolvasását, a másik a D/A konverziót végzi. Az új bővítőkártyák ez utóbbi készülékben mutatják meg igazán tudásukat, ugyanakkor kompatibilisek és kifogástalanul működnek más anya-készülékben is.

A külön-külön is használható, de igazi minőségüket együtt megmutató termékek filozófiája közel áll szívemhez, egy teljes, szinergikus láncot megbontani és idegen elemekkel megtörni vétek. A fejlesztések során mindig igyekszem ezt szem előtt tartani, és a komponenseken úgy változtatni, hogy a rendszer egésze jobb, teljesebb és tökéletesebb legyen. Véleményem szerint nem érkezett még el az az idő, amikor a digitálisan rögzített hanganyagot ujjlenyomat nélkül visszaadhatnánk az analóg dimenzióknak, de jelen írásomban ismertetett készülékekkel, és jövőbeli munkáimmal is ezt a célt kívánom elérni.

2. A DIGITÁLIS-ANALÓG KONVERTER KÁRTYA

A készülék lelke, alapvető funkciójának megtestesítője az a kártya, amely áttérést biztosít a CD digitális tartománya és az emberi hallás analóg világa között. Erre a műveletre számos eszköz született már, némelyik egyetlen lapkán elfér, minimális külső alkatrészigényű és nagyon olcsó. Az a hangminőség, amelyet ezek az eszközök nyújtani képesek, semmiképp sem nevezhető high-endnek⁷, hifinek, de még szimplán jónak sem. A túlzottan integrált megoldások jelen esetben sem a minőség, hanem az ár felől közelítik meg a problémát. Én egy kompromisszumokban szegény, a saját ízlésemnek és a márka identitásának megfelelő megoldást kerestem, amely a lehető legnagyobb zenei élményt képes nyújtani az adott lehetőségek mellett.



2.1. ábra: Néhány lehetséges DAC struktúra

Az S/PDIF – analóg átalakító két végpontja között igen változatos struktúrájú megoldásokkal találkozhatunk (2.1 ábra). Ezek bonyolultsága a végletekig fokozható, a rendszer elemeinek száma a tervező fantáziájától függően változhat. Úgy gondolom,

⁷ A legmagasabb minőségű zenelejátszó készülékek

hogy technikailag egy szoftveresen vezérelt, aszinkron sample-rate konvertert alkalmazó, mono DAC IC-kkel kialakított, hőkompenzált, 1 ppm alatti stabilitású rendszer-órajellel táplált áramkör jelentené manapság a csúcst (2.1.c ábra). Korábban már építettem egy prototípust hasonló kialakítással, SRC4192 ASRC chippel, dupla WM8740-es DAC IC-kkel, stabilizált, 10 ppm-es órajellel, de be kell valljam, nem tetszett a hangja. A kísérletezés közben arra jutottam, hogy ha nem egész számú szorzót használunk a túlmintavételezés során, a hangminőség drasztikusan romlik. A rendszer bonyolult volt, a panelen megahertzes nagyságrendű órajeleket és buszokat kellett viszonylag messzire vezetni, egyszerűen nem tartottam stabil és jó megoldásnak, és a hangja egyik beállításban sem nyerte el a tetszésem. Egyszerűbb, használhatóbb és fizikailag kisebb kiterjedésű megoldást kerestem.

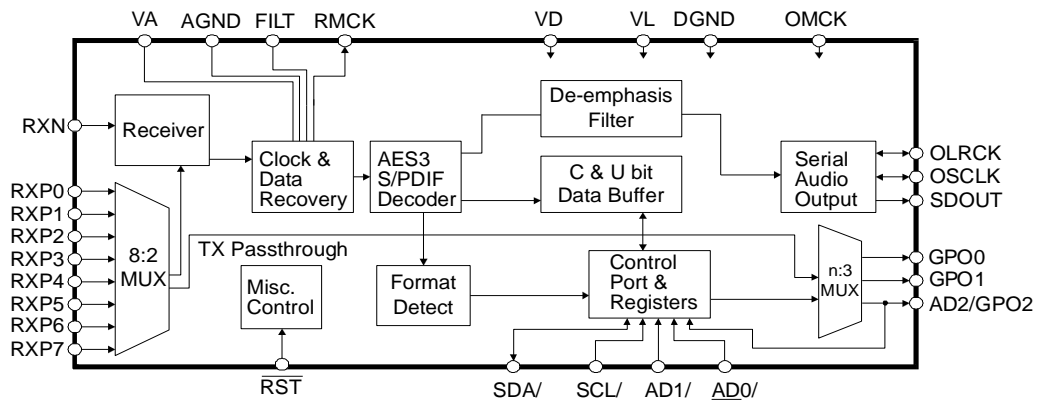
2.1. Felépítés és működés

A kártyarendszer az Obelisk családban régebbi hagyomány, a kompatibilitás miatt meg kellett őriznem a fizikai méretet és kialakítást. Ez nagyban behatárolta a kialakítható áramköri struktúrát is, ugyanis a maximálisan 86×45 mm-es kártyára ugyanis egyszerűen nem fér rá bármelyik, a kapcsolási rajzon jól mutató áramkör.

Előbbi megfontolásból a legegyszerűbb, egyetlen vevő + DAC párossal működő konvertert terveztem (2.1.a ábra), amely tisztán hardveres beállításokkal, hatékonyan végzi el a feladatot. A Cirrus Logic CS8416-os vevőjére [6] esett a választásom, ezzel ugyanis jók a korábbi tapasztalataim. DAC gyanánt korábban a szintén Cirrus gyártmányú CS4334 jelű IC-vel próbálkoztam, de hangilag nem voltam vele maradéktalanul elégedett. Újabb jelölt után nézve találtam rá a Wolfson Microelectronics WM8727-es számú chipjére, amely a kínálat legegyszerűbb, legolcsóbb, mégis az egyik leghasználhatóbbnak tűnő darabja volt.

2.1.1. A CS8416 S/PDIF receiver

Az áramkör az S/PDIF és AES/EBU jelek fogadására és feldolgozására készült, kimeneti oldalán I²S protokollal továbbítva az adatokat. Hardveresen és szoftveresen is vezérelhető, előbbivel ugyan némileg limitált, de jelen esetben tökéletesen megfelelő beállítási lehetőségeket nyújtva. Képes 192 kHz / 24 bites jelek fogadására, ami esszenciális tulajdonság a mai világban.



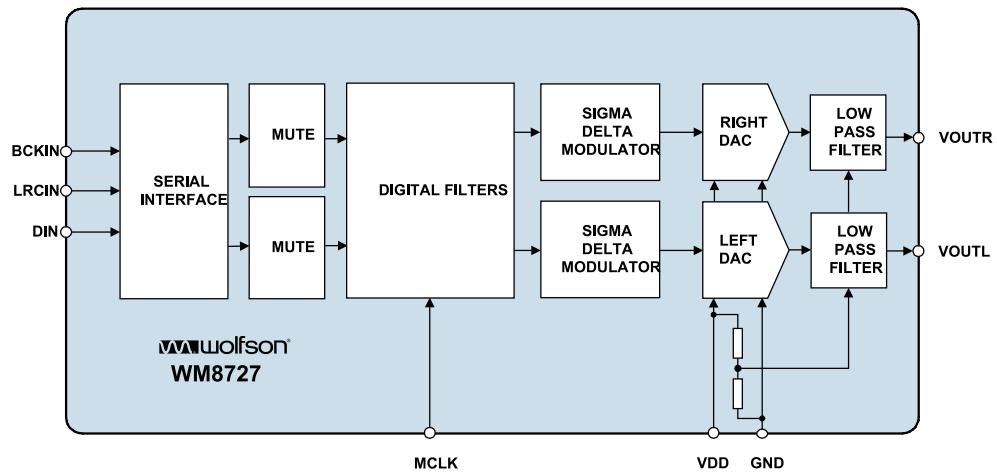
2.2. ábra: A CS8416 blokkvázlata [6]

A vevő bemeneti fokozata PLL-szinkronizált felépítésű, amely az adatlap szerint max. 200 ps jittert visz a kimenetén előállt jelbe. Ez nem kimagasló eredmény, de tekintve, hogy a DAC IC-k többsége kvázi immunis a jitterre [2], ezt nem tartottam negatívnak. Fontos megjegyezni, hogy az IC támogatja a master módú beállítást, amely szerintem az egyetlen elfogadható verzió egy aszinkron bemenetű, szinkron kimenetű áramkör esetén.

2.1.2. A WM8727 digitális-analóg konverter

Az áramkör ugyan a legkisebb elem a családjában, mégis szinte mindent tud, amit nagyobb testrévei, némileg rosszabb torzítási és zajtényező mellett. Sigma-delta modulációs eljárást használ (1.4. ábra) túlmintavételezéssel és dithereléssel [7], a fizikai átalakítója pedig kapcsolt kondenzátoros típusú, amely személyes kedvencem, szerintem ugyanis ez nyújtja a legtermészetesebb hangot. A beépített fix karakterisztikájú, automatikusan hangoló FIR⁸ szűrő igen jó alias-szűrést nyújt. Az IC aszimmetrikus kimenettel bír, amely szintén fontos szempont, ugyanis a cég erősítői szintén ilyen rendszerben működnek.

⁸ Véges válaszütemű digitális szűrőtípus



2.3. ábra: A WM8727 blokkvázlata [7]

2.2. Villamos és mechanikai tervezés

2.2.1. A tápellátás elemei

Az Obelisk csatlakozósorán található 24 volt a RIAA korrektor számára szükséges feszültség, viszonylag magas értéke a DAC szempontjából hátrányt jelent. A nagy frekvencián jelentős fogyasztással működő CMOS áramkörök stabilizált 3,3 - 5 voltját további szabályozással kell előállítani, melyre értelemszerűen csak a kártyán kerülhet sor. A több mint 20 V feszültségkülönbség komoly hőterhelést vetít előre, ugyanis a bővítőkártán nincs hely hűtőborda elhelyezésére. A CS8416 a katalógusadatok alapján [6] 48 kHz-en összesen 14,4 mA áramot fogyaszt, míg 192 kHz-en ez az érték 40,2 mA. A WM8727 maximum 27 mA-es fogyasztását hozzávéve ez legrosszabb esetben, a többi áramköri elemet is beleszámolva akár 1,5 - 1,7 watt is lehet a szükséges stabilizált feszültségek előállításának „költsége”, melyet hűtőborda nélkül kell eldisszipálni.

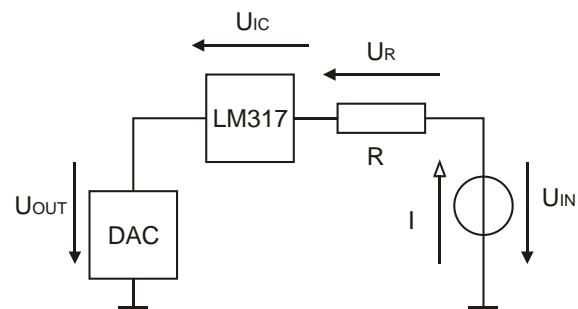
A megfelelő feszültségek előállításához mindenképp valamilyen stabilizátor szükséges, azonban ekkora teljesítményt egymagában semelyik tokozás nem képes hűtőborda nélkül, hosszú távon elviselni. Kézenfekvő megoldásnak tűnik, a változó fogyasztás miatt azonban a soros ellenállás, mint feszültségcsökkentő eszköz csak korlátozottan alkalmazható. A nagyobb értékű ellenállás nagyobb fogyasztás esetén nagyobb feszültséget ejt, így a stabilizátor bemeneti feszültsége leeshet a stabilizálási határ alá, amikor már egyáltalán nem szűri a feszültséget. A kelleténél kisebb ellenállás esetén, kisebb fogyasztáskor pedig nagy feszültségdifferenciát kell a stabilizátor IC-nek

elviselnie, amely akár végzetes hőterheléssel is járhat, vagy legalábbis a beépített hővédelem leold, és nem működik az áramkör.

A kevés rendelkezésre álló hely miatt a villamos tervezést a fizikai tervezéssel párhuzamosan kellett végezni, és annak megfelelően kialakítani a kapcsolást. A tápellátásra így a minőség és a helyigény megfelelő elegyét megvalósító fa struktúrát alkalmaztam. A kártyacsatlakozón található 2 db 24V-os pont két külön ágot szolgál ki, melyekre egy-egy stabilizátort téve azok képesek a szétszott fogyasztókat kiszolgálni. A megosztás elve logikusan analóg / digitális, mely a DAC IC egyetlen tápcsatlakozója miatt a gyakorlatban a két chip két külön ágra helyezését jelentette. A receiver IC analóg tápját – mely a bemeneti PLL áramkör pontosságáért is felel – a jelfeldolgozó és az interfész tápjától egy ellenállással illetve egy induktivitással szeparáltam el, természetesen minden ág külön zavarűző kondenzátort kapott.

Stabilizátor IC-nek az LM317LZ-t [8] választottam, ez az állítható kimenetű stabilizátor-család egy TO-92 tokozású változata. 100 mA kezelésére képes, hőmegfűtés ellen védett, maximális hőleadása 625 mW. A változó fogyasztási értékek és a hőterhelés jobb megosztása érdekében előtét-ellenállást iktattam a stabilizátor elé. Ennek pontos értéke kísérleti úton határozható meg, az áramkör teljes fogyasztásának ismeretében, de egy $330 \Omega / 0,6 \text{ W}$ értékű az előzetes becslések (ld. lent) szerint jó választásnak bizonyult.

$$\begin{aligned} I_{\min} &\approx 15 \text{ mA} \\ I_{\max} &\approx 40 \text{ mA} \\ U_{\text{DROPOUT}} &< 2,5 \text{ V} \\ U_{\text{IN}} &= 24 \text{ V} \\ U_{\text{OUT}} &\approx 3,3 \text{ V} \end{aligned}$$



2.4. ábra: Stabilizátor fokozat

(I_{\min} a teljes DAC áramkör minimális áramfogyasztása, I_{\max} a teljes DAC áramkör maximális áramfogyasztása, U_{DROPOUT} a stabilizátor IC minimális $U_{\text{BE}}-U_{\text{KI}}$ feszültsége)

$$U_{\text{BE min}} = 3,3 \text{ V} + 2,5 \text{ V} \approx 6 \text{ V}, \text{ ekkor } U_{\text{R max}} = 24 \text{ V} - 6 \text{ V} = 18 \text{ V}$$

$$I_{\max} \text{ értékénél tehát } R_{\max} = \frac{18 \text{ V}}{0,04 \text{ A}} = 450 \Omega, \text{ ekkor}$$

$$P_{R_{\max}} = 18V \cdot 0,04A = 0,72W, P_{STAB_{\min}} = 2,5V \cdot 0,04A = 100mW$$

$$R = 450\Omega \text{ esetén } U_{R_{\min}} = 450\Omega \cdot 0,015A = 6,75V, \text{ ebből}$$

$$P_{R_{\min}} = 6,75V \cdot 0,015A \approx 100mW, \text{ és}$$

$$P_{STAB_{\max}} = (24V - 6,75V - 3,3V) \cdot 0,015A \approx 210mW, \text{ amely még nem jár túlzott}$$

hőtermeléssel, 50°C-os készülékház esetén is

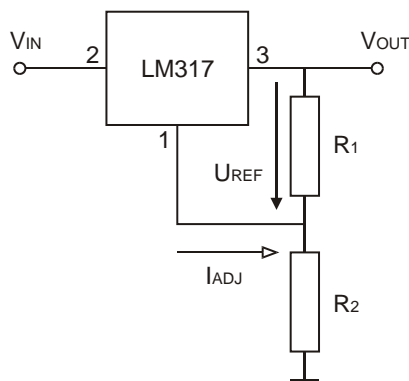
$$T_{IC_{\max}} = 50^\circ C + (0,21W \cdot 160^\circ C/W) \approx 83^\circ C,$$

ami a maximális 125°-os megadott értéket bőven teljesíti.

$R = 330\Omega$ esetén jó közelítéssel egyenlő hőterhelés éri az ellenállást illetve a stabilizátor IC-t, a megengedett disszipáció felén dolgozva.

A másik ág kiszámítása hasonló módon történt, a DAC IC számára 5V-os tápfeszültséget állítottam be, így a 27 mA-es fogyasztás mellett szintén egy 330 Ω -os ellenállás ígérkezett megfelelőnek.

A stabilizátorok külső elemeit a katalógusadatok alapján határoztam meg, csekély módosításokkal. Az LM317LZ kimeneti feszültségének beállítása R1 és R2 ellenállásokkal lehetséges, az alábbi módszerrel.



2.5. ábra: Az LM317 beállítása [8]

$$V_{OUT} = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2, \quad \text{2.1. egyenlet}$$

$$\text{ahol } V_{REF} = 1,25V, \quad I_{ADJ \text{ typ}} = 50\mu A$$

Az E-24 ellenállás-sorból választva $R_1 = 470\Omega$ és $R_2 = 820\Omega$ értékeknél

$$V_{OUT} = 1,25V \cdot \left(1 + \frac{820\Omega}{470\Omega}\right) + 0,00005A \cdot 820\Omega = 3,47V,$$

ami a további 10 Ω -os ellenállás, illetve a nem 0 ellenállású induktivitás miatt megfelelő feszültség a CS8416 táplálásához.

2.2.2. A receiver IC beállítása

A CS8416 receiver IC hardveres programozása a kitüntetett lábak táphoz illetve földhöz kötésével végezhető el, egy-egy 47 kOhmos ellenálláson keresztül. A beállításokat - tápfeszültség meglétekor - az \overline{RST} láb magas szintjére váltásakor érzékeli az áramkör.

A Hardware-mód kiválasztásához az $SDOUT$ lábat a földre kell kötni.

Az $RCBL$ lábbal megadhatjuk, hogy az IC a soros kommunikációs hálózaton masterként vagy slave-ként funkcionáljon. Jelen esetben az áramkör forrásnak tekinthető, amely előállítja a hálózat további elemei számára a szükséges adatokat, így célszerűnek láttam master állapotot kiválasztani. Az áramkör többi eleme – ez esetben mindössze a DAC IC – a CS8416 által az S/PDIF adatfolyamból kinyert órajel alapján kell, hogy működjön.

Az \overline{AUDIO} és a C lábak beállításával kiválaszthatjuk a kimeneti kommunikációs protokoll típusát. A fogadó fél, vagyis a WM8727 ezt leszűkíti az I²S protokollra.

Az U láb szintje meghatározza az $RMCK$ órajel-kimenet frekvenciáját. Alacsony szinten $256 \cdot f_s$, magas szinten $128 \cdot f_s$ az értéke, ahol f_s a beérkező adat mintavételi frekvenciája. A magas érték általában jobb eredményt jelenthetne, azonban a WM8727 az elvárt 192 kHz-es jeleket csak $128 \cdot f_s$ vagy $192 \cdot f_s$ értéknél képes feldolgozni. A választás tehát az előbbire esett.

A TX kivezetés a fázisdetektor frissítési frekvenciáját hivatott beállítani. A két lehetséges alternatíva közül a normál módot választottam.

A 96KHZ lábbal a de-emphasis szűrő használatát engedélyezhetjük. A korai lemezek némelyikén előfordult, hogy alkalmazták ezt a technikát, de a mai CD-k szinte mindegyike mellőzi a szűrő használatát, így ezt a funkciót fixen kikapcsoltam.

Az *NV/RERR* láb lehetőséget nyújt a hibajelző kimenet típusának megválasztására. A *RERR* funkció választásánál az összes lehetséges hibaforrás detektálásra kerül, így ezt választottam. A kivezetés valamely hiba észlelése esetén magas szintre kerül, miközben az *SDOUT* kimeneten a hiba megszűntéig az előző minta értékét továbbítja.

Az IC képes megállapítani, hogy a beérkező jel megfelel-e az S/PDIF audio szabványnak, avagy egyéb módszerrel kódolt hang, kép vagy adat érkezik a digitális bemenetre. Amennyiben a vett jel a megadott kódolású hangjel, úgy az *AUDIO* kimenet alacsony szintre vált, egyéb esetben magas szintű.

2.2.3. Járulékos áramkörök

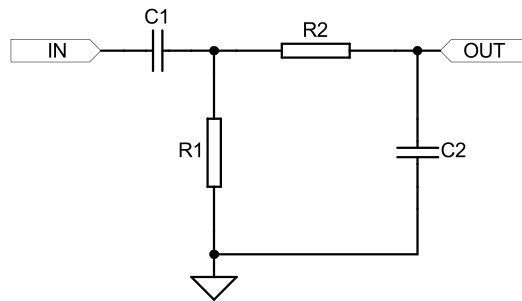
Az indítás utáni reset céljára nem kívántam semmilyen bonyolult időzítő áramkört használni, így egy egyszerű RC-tagot vettem be, amelyben egy 47 k Ω -os ellenálláson keresztül töltődik egy 2,2 μ F-os kondenzátor. A tápfeszültség megjelenésének pillanatában a kondenzátor rövidzárként funkcionál, így az *RST* lábakat hatásos alacsony szintre kényszeríti. A kapcsolás időállandója $\tau = 47\text{k}\Omega \cdot 2,2\mu\text{F} \approx 0,1\text{s}$, ami bőven elegendő a 200 μ s-ra megadott minimális reset időtartam eléréséhez.

A kártyára egy némító áramkört is terveztem. Legjobb megoldásnak még mindig a jelfogót tartom a hasonló, jelutat érintő kapcsolási feladatokra. A relé a receiver *AUDIO* és a *RERR* lábairól származó információ szerint működik, vagyis hibás vétel esetén lenémítja a kimenetet. Miután az említett kimenetek 0 hatásos szintűek, a jelfogót egy egyszerű, kettő darab BC546-os tranzisztorból álló inverterrel működteti. Így a relé elengedett állapotban némít, behúzott állapotban átengedi az audio jelet.

A CS8416 elegendően gyorsan szinkronizál ahhoz, hogy kövesse az egyes CD-játszók kimenetén történő pillanatnyi változásokat, illetve egyes esetekben a számok közötti szünetekben megszűnő S/PDIF kapcsolatot is hibás, megszűnő átvitelként értelmezi. Ez némely esetben pergésre készíti a relét, ami igen zavaró tud lenni. Ennek kiküszöbölésére a relé váltását „lelassítottam” egy 47 μ F-os kondenzátorral, amely a kísérletek alapján éppen megfelelő késleltetést biztosít az említett hatás elkerülésére, ugyanakkor a számok kezdetét sem vágja le érezhető mértékben.

2.2.4. Az analóg kimeneti szűrő

A kimeneti analóg szűrőnek egy másodrendű CR sáváteresztő szűrőt választottam, figyelembe véve a DAC IC adatlapját is. Az alkatrészek végső értékei a meghallgatások során fixálódtak, a finomhangolás hetei során a zenei kvalitást előtérbe helyezve adtam meg a szűrő karakterisztikáját. Ez az elem határozza meg a konverter eredő hangját, a frekvencia-átvitelének, csoportfutási idejének, impulzusválaszának precíz egyensúlya az alkotóelemek segítségével jól beállítható, együttesen az általam kedvelt hangi jelleget nyújtják. A szűrő átviteli karakterisztikája az alábbi módon határozható meg [9]:



2.6. ábra: A DAC-kártya kimeneti szűrője

$$\frac{v_{OUT}}{v_{IN}} = \frac{s \frac{1}{C2 \cdot R2}}{s^2 \cdot s \left(\frac{1}{C1 \cdot R1} + \frac{1}{C1 \cdot R2} + \frac{1}{C2 \cdot R2} \right) + \frac{1}{C1 \cdot C2 \cdot R1 \cdot R2}}$$

amelyből a kikísérletezett alkatrésztértékekkel

$$|p_1| = 0.33839742638 \text{ [Hz]}$$

és

$$|p_2| = 41823.3112735 \text{ [Hz]}$$

adódnak az alsó és felső törésponti frekvenciáknak. A szűrőnek nincs túllövése, csoportfutása az alsó átviteli frekvenciától fölfelé tökéletes.

Tisztán számítással nem lehetett meghatározni a várható működést, ugyanis a DAC IC kimeneti fokozatának felépítése számomra ismeretlen. Ennek lényeges tulajdonsága, hogy milyen meredekséggel képes a kimeneti, nem ideális elektrolit kondenzátort tölteni. Tapasztalataim szerint ez az alsó törésponti frekvencia fölött néhány oktávval is érezteti hatását, ezért egyáltalán nem mellékes, hogyan választjuk

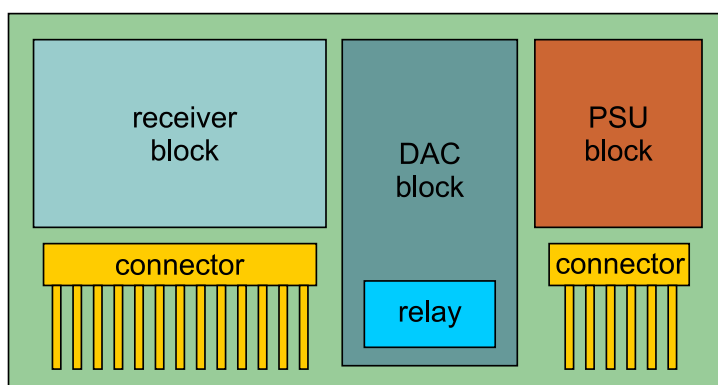
meg a DAC kimenetét terhelő értékeket. Ebből a megfontolásból a felső 6 dB-es szűrőtag lezáró kondenzátora is hasonló jelentőséggel bír, függetlenül a tag eredő időállandójától.

2.2.5. A panel kialakítása

A cég jelenleg kétféle készülékmérettel dolgozik. Mindkét sorozatnak vannak bővítőkártya fogadására alkalmas elemei, egymással kompatibilis aljzattal. A készülékházak magasságban is eltérnek, értelemszerűen az alacsonyabb készülékek belmagassága határozza meg a bővítőkártya maximális méretét, ez jelen esetben 48 mm-nyi teret enged meg. Az Obelisk Si paneljén ugyanakkor széltében is korlátozott a hely, ebben az irányban 91 mm áll rendelkezésre. A kártyának ezek tükrében 86×45 mm-es mechanikai méretet választottam, ekkora területen kezdtem el a munkát.

A bővítőkártya lábkiosztása és a csatlakozók fizikai helyzete szintén adott volt. A villamos és mechanikai kapcsolatot egymástól 1#-es távolságra eső, 90° -ban hajlított, dupla túsoros biztosítja, két aszimmetrikus blokkban. Ezek szerencsétlen kialakítása aránylag sok értékes helyet foglal a panelen, de ezen változtatni sajnos nem lehetett.

A baloldali csatlakozó-blokk a ki- és bemenetek, a jobb oldali pedig a táp kontaktusaiból áll. A kártya felépítését a jelutak minimalizálása érdekében az alábbi módon határoztam meg.



2.7. ábra: A kártya elrendezési vázlata

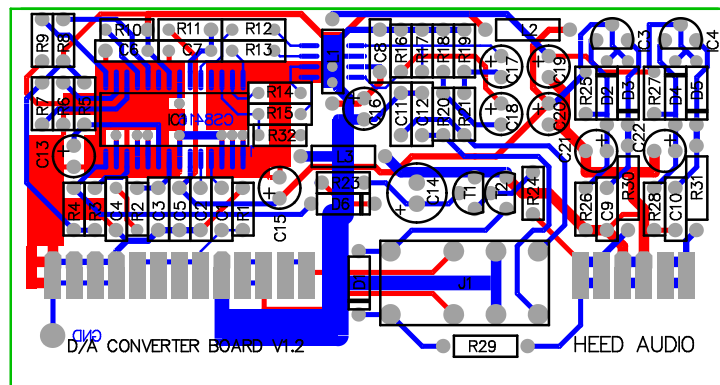
Többféle földelési módszer is lehetséges a hibrid digitális-analóg áramkörök kialakításánál. Valamilyen mértékű különválasztás mindenképp előnyös, ugyanis a digitális áramkörök keltette zaj a földvezetéken keresztül is messzire eljut. A WM8727 csak egyetlen tápot, így egyetlen földpontot használ, így a benne található blokkok

szétosztása ilyen szempontból nem lehetséges. Ezért gondoltam úgy, hogy a teljes DAC IC-t elkülönítem a többi áramkörtől, és külön földágot használok az analóg elemeket is tartalmazó kimeneti egységnek. A két földet egyetlen ponton, várhatóan a legkisebb zajt eredményező ponton kötöttem össze.

A két IC közötti I²S busz vezetékeit általában direkt módon össze szokták kötni. Megfelelő vezetékvezéssel ez tökéletes, a szabványnak megfelelő jelterjedést garantál. Én mégis úgy döntöttem, módosítok a kapcsolaton. A jelútba soros 22 Ω-os ellenállásokat terveztem. Ezek hatására egyrészt még kisebb áram folyik a buszon, másrészt kevésbé kerül át egymásra a receiver kimeneti, és a DAC bemeneti fokozatának tápja. Nem utolsósorban a THT ellenállások parazita kapacitásai nagyfrekvenciás szűrőként funkcionálnak, amelyek a hasznos információ fölötti tartományt nem engedik át. Pontos méretezésnek nem éreztem szükségét, ennek oszcilloszkópos ellenőrzése amúgy is komoly kihívást jelentett volna a műszer bemeneti impedanciája miatt. Számomra elegendő volt, hogy a tervezett maximális működési frekvencián is 100 %-os biztonsággal működik a kapcsolat.

A táp kialakítása során figyelembe vettem a kártya már tárgyalt áramszükségletét. Ennek fényében a bevezető ejtő-ellenállásokat 4#-es, 0207-es kivitelűre választottam, ezek ugyanis gond nélkül eldisszipálnak akár 800 mW teljesítményt is. Két egyforma blokkot terveztem az 5 illetve a 3,3 V-os ágnak, ezek csak a beállító ellenállásokban különböznek. A tápvonalakat a panel szélén vezettem el, így az LM317LZ stabilizátor IC-k is a kártya felső oldalára kerültek, a rövidebb vezetékvezés és a jobb hőelvezetés érdekében.

Külön figyelmet érdemelt a némító relé helyzete. Akad olyan készülék, amelyben a két csatlakozó-blokk közötti részen helyezkedik el az alaplemez egyik rögzítő csavarja. Emiatt a jelfogó nem kerülhetett a kártya legaljára, hagytam némi helyet a csavarfej számára.



2.8. ábra: A kártya PCB rajza

3. AZ USB INTERFACE KÁRTYA

A hardveres USB Audio interface IC-k maximálisan 96 kHz-es mintavételi frekvencián működnek. Ennek egyik oka, hogy USB 1.1 alapú adatátviteli, és USB Audio 1.0 hangátviteli szabványt használnak, ezek ugyanis támogatottak minden elterjedt számítógépes operációs rendszerben. Ennél magasabb frekvenciát az USB Audio 2.0 szabványnak megfelelő átvitelrel érhetünk el. Ezt a Mac OS X 10.6.4-nél újabb operációs rendszerek, a Linux és Unix újabb változatai natívan, a Windows azonban csak külön driverrel támogatják. Újabb sarkalatos pont az aszinkron adatátvitel használata, mely Windows alatt szintén nem megvalósítható önálló driver nélkül. Ezek mérlegelése után úgy döntöttem, hogy egy mikroprocesszor-alapú megoldást választok a feladat ellátására.

Kellő technikai és zenehallgatási tapasztalat megszerzése után az XMOS cég [10] komplex hardveres-szoftveres megoldását találtam méltónak a továbbgondolásra. Saját gyártmányú, 500 MHz-es mikroprocesszoruk elég gyors a nagy felbontású zenei anyagok kezelésére, nagyszerűen integrálható szinte bármilyen digitális (vagy akár analóg) környezetbe, C alapú, saját programnyelvén egyszerűen felépíthető a futáshoz szükséges firmware. A konkrét feladatra (USB Audio streaming) is létezik ajánlásuk, ennek alapján építettem fel az áramkört.

A feladat elvégzésére jelen esetben is egy kártyát terveztem. A kártya elvárt mechanikus paraméterei hasonlóak a DAC-kártyánál ismertetett dimenziókkal, ugyanazon méretű készülékekbe kerül majd beépítésre. A villamos és egyben mechanikus kapcsolatot biztosító csatlakozósor különös gonddal kellett megterveznem, az USB átvitel ugyanis rendkívül kényes, amikor épp nem a szabványos kábelében halad.

3.1. Felépítés és működés

Az USB adatkapcsolat egy SMSC USB3318 transceiver⁹ segítségével valósul meg. Ez mind a vezérlési, mind az adatátvitellel kapcsolatos teendők ellátására alkalmas, kivéve az ID-kezelést. A kimenete ULPI szabványos, ez viszonylag egyszerű és széleskörűen támogatott megoldás.

⁹ Kétirányú adatátvitelre képes eszköz



3.1. ábra: ULPI busz fizikai kialakítása

A kártya lelkét az XMOS L1 testesíti meg. Ez az 500 MHz-es mikroprocesszor végzi az összes számítást és USB-port vezérlést, amely a hatékony és jó minőségű hangátvitelért felelős. A számos busz-beállítás közül a tapasztalatok szerint az aszinkron átvitel nyújtja a legjobb hangminőséget. Ennek alapja, hogy a bejövő, változó időben érkező adatok egy pufferbe kerülnek, ahonnan pontosan a mintavételi frekvenciának megfelelően kerülnek kiolvasásra a hangadatok. Az L1 processzor belső memóriája bőven elegendő erre a célra, számítási kapacitása pedig több csatornát is képes ilyen módon kezelni, amelyből számunkra csak kettő a lényeges.

3.2. Villamos és mechanikai tervezés

Az XMOS révén elérhető egy referencia ajánlás az USB Audio 2.0 szabványnak megfelelni képes rendszer felépítéséről. A villamos kapcsolás jó részét megtartottam, hiszen azért választottam ezt a megoldást, mert tetszett a struktúrája. Módosítottam ugyanakkor a tápellátáson, töröltem a teljes I²S blokkot, adaptáltam a ki- és bemenő kapcsolatait a kártyarendszerhez, valamint újragondoltam a logikai felépítést és ezáltal a vezetékvezést.

3.2.1. A tápellátás

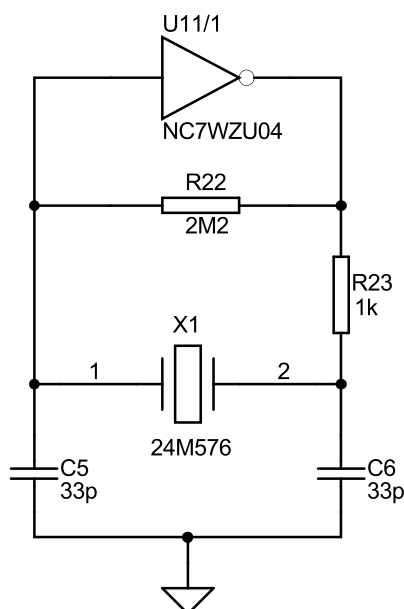
A kártyán 5V, 3,3V és 1V feszültségeket kellett kialakítanom. Ezek közül talán az 1V-os ág kialakítása a legfontosabb, ez szolgáltatja ugyanis a processzor áramát. A szokásos LM317, vagy azzal egyenértékű regulátorok nem alkalmasak erre a célra, így

jobb minőségű, nagy áramú LDO¹⁰ stabilizátorok kerültek a panelre, a szükséges helyeken induktív szűrőkkel, az órajel-generátorok előtt ferrittel.

Fontosnak tartottam átgondolni az USB 5V-os tápjának kérdését. Ez a feszültség ugyanis rendszerint olyan mértékű zavaroktól szenved, amelyet nem szívesen vezetnék hangtechnikai berendezés közelébe. 5V viszont nem áll rendelkezésre mindenhol, így végül meg kellett tartanom a buszról táplált opciót is. Erre a célra egy relés tápválasztó áramkört terveztem, amely az USB-kábel csatlakoztatásakor aktiválja a külső tápelérést, ha az jelen van a kártya dedikált lábain. Ha nincs, akkor a kártya a busz áramáról működik. Ezzel a megoldással az egységes kivitelű kártya a különböző készülékekben különböző tápokkal működhet. Egy jó minőségű, külső 5V-os forrásról táplált kártya hangminősége garantálhatóan jobb, mint a zajos PC-tápról működő párja.

3.2.2. Az órajel-generátorok

A digitális hangadatok két legfontosabb jellemzője, az idő és a hozzá tartozó mennyiség közül az előbbi ezen a kártyán jelenik meg eredő formájában, ez a pont számít a forrásnak. Esszenciális tehát, hogy a hangadatok frekvenciája rendkívül pontos, fluktuációktól mentes, stabil legyen. A processzor belső órajel-generátora nem alkalmas erre a célra, külső áramköröket kellett alkalmazni.



3.2. ábra: Kapuzott Pierce-oszcillátor

¹⁰ Low Dropout – alacsony U_{be} - U_{ki} feszültségkülönbség

A párhuzamos rezonancián alapuló kristály-oszcillátorok [11] viszonylag egyszerűek, mégis igen pontos órajelet szolgáltatnak. Gondos mechanikai tervezéssel és jó minőségű kvarccal néhányszor tíz ppm stabilitású órajel nyerhető, amely szerintem elegendő a 192 kHz / 24 bites S/PDIF jel tökéletes megalkotására. A generátorokból (3.2. ábra) rögtön három is helyet kapott a kártyán, egy 13 MHz-es az USB buszt szolgálja ki, míg a másik kettő a 44,1 kHz és 48 kHz mintavételi frekvenciák, illetve azok többszöröseinek pontos, osztás nélküli beállításához kell. A két órajel között a processzor a bejövő adat függvényében kapuval vált.

3.2.3. Kimeneti fokozat

A kimenő S/PDIF adatfolyam az L1 egyik lábán szabványos, de 3,3V-os minőségében előáll. A jel viszont a belső órajelen alapszik, amely nem elég pontos. A megoldást egy egyszerű, kapus retrigger áramkör [11] adta, amely az éppen használt órajel-generátor jelének segítségével függetleníti a hangadatot a processzor időalapjától. Az eredmény egy igen pontos, alacsony jitterű jelfolyam, amely szerintem nagyságrendekkel jobb minőségű, mint amit az általános kommersz megoldásokkal kaphatunk.

3.2.4. Csatlakozások

A kártya 2 db 2×10 -es tükkesoron keresztül kommunikál a külvilággal, melyek egyben a mechanikai rögzítést is biztosítják. Az első blokkot az adatkapcsolatnak szántam, itt csatlakozik a kártya az USB-buszra és itt található az S/PDIF kimenet is. Az USB rendkívül kényes kialakítást igényel, amely nem igazán támogatja a hasonló, szabványtól eltérő csatlakozókat. Az egyszerűség kedvéért azonban mégis a DAC-kártyáéval megegyező, raszteres tükkesor használata mellett döntöttem, kisebb megszorításokkal.

A másik kártyánál minden csatlakozás minimum kettő kontaktust használ, ez villamos szempontból csökkenti a hibalehetőséget. Az USB jel esetén ezt nem lehet megvalósítani, mert olyan komplex, térbeli alakzatot hozna létre a jelútban, amelyen keresztülvezetve a nagysebességű jel garantáltan károsodik. A parazita kapacitások minimalizálása, és a lehető legrövidebb jelút elérése érdekében a D+ és D- jeleket a csatlakozósor két első, külső pinjére osztottam ki.

Az USB tápnak és földnek ezzel szemben dupla, az S/PDIF kimenetnek négyes tükkesoportot szántam. Utóbbi nem kényes a hasonló kialakításokra. Az első blokk további földcsatlakozási lábakkal is rendelkezik.

A jobb oldali blokkon vezethető be a külső forrásból származó 5V-os tápfeszültség. A kártya ezen blokk fölötti részén a tápellátás elemeit helyeztem el, beleértve a stabilizátorokat és a tápválasztó relét is. A kártya közepe felé haladva követik egymást az egyes stabilizált fokozatok, a legbelső a processzor számára szükséges 1V-ot szolgáltatja. A CPU alatt, a két túsoros közötti részre az órajelek áramkörét helyeztem el. Ezek elemeit szigorúan egyoldalas vezetékvezetéssel kapcsoltam egymáshoz, a vezetősávok között „folyatott”, a panel másik oldalán teli földfóliázással. A két oldalt sűrű átvezetésekkel hoztam a lehető legegységesebb potenciálra, így biztosítva a két órajel megfelelő szeparálását, valamint védelmét a külső zavarok ellen. A föld kialakítását a panel egészén hasonlóképp oldottam meg, ügyelve a jelvezetékek védelmére.

A kártya processzora bekapcsoláskor részben egy külső memóriából tölti be a programot. Miután ennek feltöltése csak az L1-en keresztül történhet, az egyszerűbb gyártási és aftersales támogatás miatt célszerűnek láttam fizikálisan kivezetni a rendszer debug kapcsolatát, amelyen keresztül a firmware¹¹ beírása is lehetséges. A panelen kialakított 2 db, 2 × 10-es túsoros jobb oldali blokkjában maradt még szabad láb erre a célra.

3.3. Szoftveres tervezés

Az XMOS L1 a C nyelvhez hasonló, annál némileg specifikusabb utasításkészlettel fogható munkára. Saját fejlesztőkörnyezet is rendelkezésre áll, melynek segítségével egyszerűen összeállítható a kívánt kód. Az alapvető rutinok blokkok szintén rendelkezésre állnak, ezekből jól használható, stabil rendszert lehet alkotni.

3.3.1. Firmware

A gyári ajánlás számos módosítási lehetőséget hagy nyitva. Néhány ponton szükségét éreztem a változtatásnak, amelyek kapcsán át kellett gondolnom a márka jövőbeli USB-s termékeinek várható tulajdonságait is.

Az enumerációs eljárás során a host információt szerez a csatlakoztatott eszközről. Itt kerül megadásra a brand és az egyedi eszköz-azonosító. Az átviteli módot aszinkronra választva teljesül a felvázolt cél, a hardverközpontú audio átvitel, amely a kártyára épített precíz órajelek segítségével kontrollálható. A számítógép így

¹¹ A kártyán futó vezérlőprogram

tulajdonképpen slave üzemmódban működve szolgáltatja az adatokat, amely a már ismertett áldásos hatással van a hangminőségre.

Egyirányú hangkapcsolatot állítottam be, így az adatbusz csak egyirányú terhelést kap. A HID vezérlés jelen esetben nem fontos, így letiltottam. A hangerőt 0 dB maximális értéken fixáltam, de ez tulajdonképpen megkerülhető, ha nem a hardveres mixert használjuk, hanem az operációs rendszer sajátját. Ez gyengébb hangminőséget ad, de egyeseknek fontos kényelmi szempont lehet a digitális hangerőszabályzás.

A csak USB 1.1 porttal rendelkező számítógéppel lehetséges a dropback üzemmód használata. Ekkor maximálisan 48 kHz-es frekvencián működhet a rendszer.

Az összeállított és lefordított firmware-t egy erre a célra gyártott egyedi programozó header segítségével lehet a kártyákba írni, a művelet viszonylag egyszerű betanítás után bárki által elvégezhető.

3.3.2. Windows driver

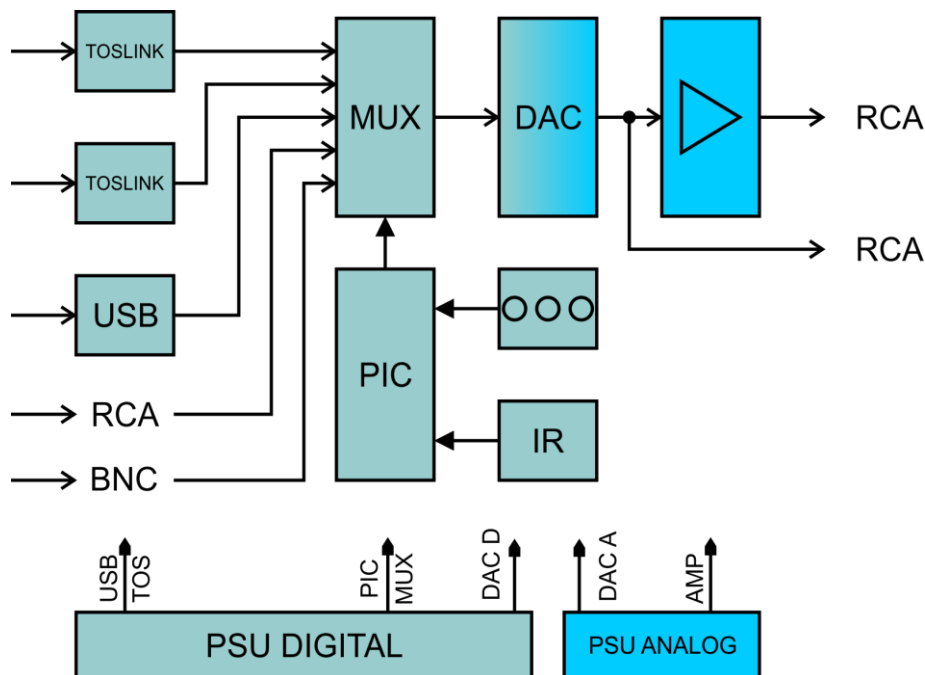
Sajnos még a Windows 8 sem támogatja natívan az USB Audio 2.0 szabványt, így a kártya kezeléséhez egy driver szükségeltetik. Ezt a hardverhez illő, testre szabható fejlesztőcsomag segítségével készítettem el.

A driver képes a kártyát egy külső hangkártyaként kezelni, amely lejátszásra limitált és HID vezérléssel sem bír, kizárólag a hanginformáció egyirányú átvitelére szolgál. Ezt viszont képes az alacsony késleltetésű ASIO, és a kernelt megkerülő WASAPI rendszerben is nyújtani. Ez utóbbi különösen jó minőséget eredményez, hiszen a rendszer a teljes hangfeldolgozást a külső kártyára bízta, és hagyja érvényesülni a firmware-ben beállított, általam jónak gondolt mixelési és egyéb változókat.

A telepítő csomag egyedi arculatot kapott, képpel és ikonnal jelezve a márkát. A driver támogatja a Windows 8 / 7 / Vista / XP 32 és 64 bites verzióit is. A csomag zip fájlban letölthető a vállalati honlapról, a készülék mellé csomagolt CD a mai internetközpontú világban szerintem értelmetlen költség lett volna.

4. A DIGITÁLIS-ANALÓG KONVERTER KÉSZÜLÉK

4.1. Felépítés és működés



4.1. ábra: Az Obelisk DA blokkvázlata

4.1.1. Bemeneti interfészek

A manapság elterjedt átviteli módokat mindegyikét, így a koaxiális RCA és BNC csatlakozást, a TOSLINK optikai kapcsolatot, valamint az USB Audio stream-et is szerettem volna elérhetővé tenni a készülékben. Előbbi kettő szabvány S/PDIF jelet közvetít, így átalakítás nélkül továbbíthatók a kártyához. A TOSLINK kapcsolat egyszerű cél-IC (pl. TORX177) segítségével megoldható, mely lényegében egy csatlakozó tokba integrált optikai vevőegységből és konverterből áll, kimenetén CMOS-szintű S/PDIF jellel.

Az USB kapcsolat valamivel bonyolultabb eljárást kíván. Kapható ugyan a célnak megfelelő specializált áramkör, ennek minősége azonban a tapasztalatok alapján kevésbé vállalható. Elvárás ugyanakkor, hogy nagyfelbontású (min. 192 kHz / 24 bit), aszinkron átvitelt tegyen lehetővé, mert a hiedelmek szerint kizárólag így érhető el a

legkisebb jitter és legjobb hangminőség. Így utólagosan azt kell mondjam, van ebben igazság.

A rendszer bonyolultságát figyelembe véve az USB - S/PDIF átalakítást is kártya-rendszerűre terveztem, mert így a gyártása kiadható egy erre specializálódott vállalatnak. Más elfogadható megoldást nem találván ugyanis egy mikrokontroller-alapú megoldást választottam, amely nem igazán egyeztethető össze a cég termékeit fémjelző kézi forrasztással.

4.1.2. Analóg kimeneti fokozat

A DAC-kártya analóg kimenete viszonylag alacsony szintű (1.25 V), ezért úgy éreztem, az off-brand rendszerekbe való tökéletesebb integrálhatóság érdekében egy bufferelt kimeneti fokozatot is használni kell. Ez biztosítja, hogy egy érzéketlenebb előfokra kötve is értékelhető hangerő és hangminőség jöjjön ki a lánc végén. További jó tulajdonsága, hogy megfelelő tervezés esetén hosszabb analóg IC kábelek¹² is alkalmazhatók számottevő minőségromlás nélkül.

A cég termékeinek meghatározó eleme az aszimmetrikus tápellátás és az AC-csatolt erősítő fokozatok alkalmazása. Nincs ez másként az előerősítő esetében sem, tiszta A-osztályú üzemben működő [11], be- és kimeneti csatolókondenzátoros egységek teszik a dolgukat. A hangi egység megőrzése érdekében az Obelisk PRE előfokban is fellelhető kapcsolási elvet használtam a DA kimeneti fokozatának, megfelelően átalakítva az adott környezethez.

4.1.3. Kiszolgáló áramkörök

A bemenetválasztást relék segítségével oldottam meg. Minden konverziós alegység kimeneti oldalán jelfogók választják ki a DAC-kártya bemeneti sínjére kapcsolódó jelutatót. A relék vezérlésére előlapi nyomógombok és infravörös távvezérlő szolgál, így egy újabb egységgel, egy mikrokontroller-alapú user interface-szel is ki kellett egészítenem a rendszert.

4.1.4. Tápellátás

Tápellátás tekintetében nem kívántam kompromisszumot kötni. A készülék belső tápról üzemel, két különálló transzformátorral, több oldalról szeparált és stabilizált ágakkal, véleményem szerint így biztosítható a digitális és analóg részek megfelelő izolálása.

¹² Készülékek közötti, hangátvitelre szolgáló kábelek

4.2. Villamos tervezés

A készülék jól elkülöníthető blokkokból épül fel, mindegyikük egyetlen, specifikus feladattal. Alapvető működése, a digitális – analóg konverzió teljesen hardveres és egyértelmű folyamat, választási lehetőségünk ezen mag bemeneti és kimeneti oldalán van csupán. A megbízhatósága érdekében minőségi alkatrészeket használtam, a kellő helyeken többszörös túlméretezéssel, gondos NYÁK¹³ - kialakítással. A hangfeldolgozásban résztvevő blokkok a főpanelen kaptak helyet, a bemenetválasztás vezérlése pedig egy külön előlapi panelen, ezáltal is biztosítva a kellő szeparációt.

4.2.1. Csatlakozások

A vezérlést kivéve minden funkció, így a tápellátás is ezen a panelen kerül kialakításra. A tervezést így a ki-és bemenetek, vezérlő kapcsolatok számbavételével kezdtem.

Bemenetek:

- 1 db USB
- 2 db TOSLINK
- 1 db RCA S/PDIF
- 1 db BNC S/PDIF

Kimenetek:

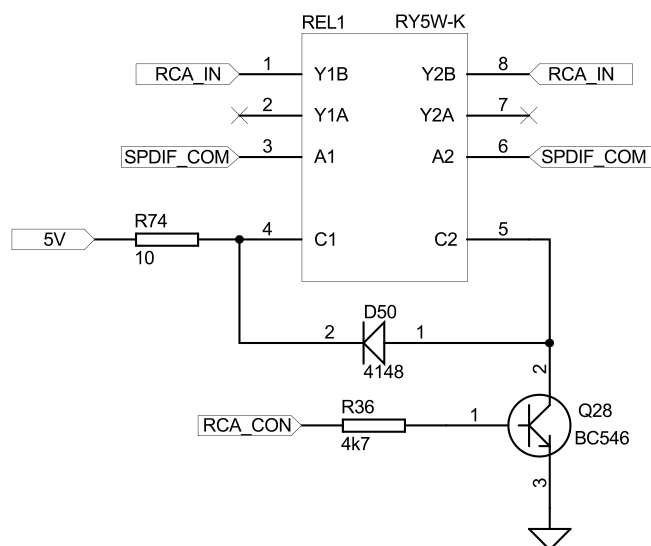
- 1 pár RCA direkt kártyaszintű analóg
- 1 pár RCA erősített analóg

Vezérlés:

- az öt relé külön vezérlőjele

A készülék fő funkcióját a DAC kártya végzi. Az összes többi áramkör lényegében ennek kiszolgálására készült. A kártya bemenetére egy közös S/PDIF sítet terveztem, amelyre jelfogók segítségével tud rácsatlakozni a kiválasztott bemenet (4.2. ábra). Ezek közül kettő, a BNC és az RCA direkt villamos kapcsolatot teremt a külvilággal, a két optikai és az USB számára viszont a már ismertetett átalakító szükségeltetik.

¹³ Nyomtatott áramköri panel



4.2. ábra: Bemenetválasztó relé és meghajtása

A TOSLINK kapcsolathoz célspecifikus alkatrészek kaphatók, ezek az egyedi csatlakozóhoz szükséges házzal egybeépített optikai vevőegységből, valamint a dekódoló és a logikai szinteket meghatározó áramkörökből állnak. Az általam választott receiver 5V-ról működik, kimenetén 3,3 V-os, CMOS szintű S/PDIF jelet prezentál. Miután a CS8416 képes a magasabb jelszintű AES/EBU vételére is, nem láttam szükségét külön szintillesztő tag beépítésére.

Az USB – S/PDIF fordítást a már tárgyalt kártya végzi. A szükséges USB B csatlakozón kívül más kiegészítést nem igényel ez az ág, ebben a készülékben a kártya kimeneti jelét egy relén keresztül közvetlenül az S/PDIF sínre lehet kapcsolni. A kártyahelyet a csatlakozóhoz közel helyeztem el, minimalizálva az USB busz útját a NYÁK-on. A bemenet földelésének kialakítására többféle opciót hagytam, melyek közül kísérleti úton választottam ki azt az optimális megoldást, amely a legkisebb kimeneti zajt és legstabilabb működést biztosítja.

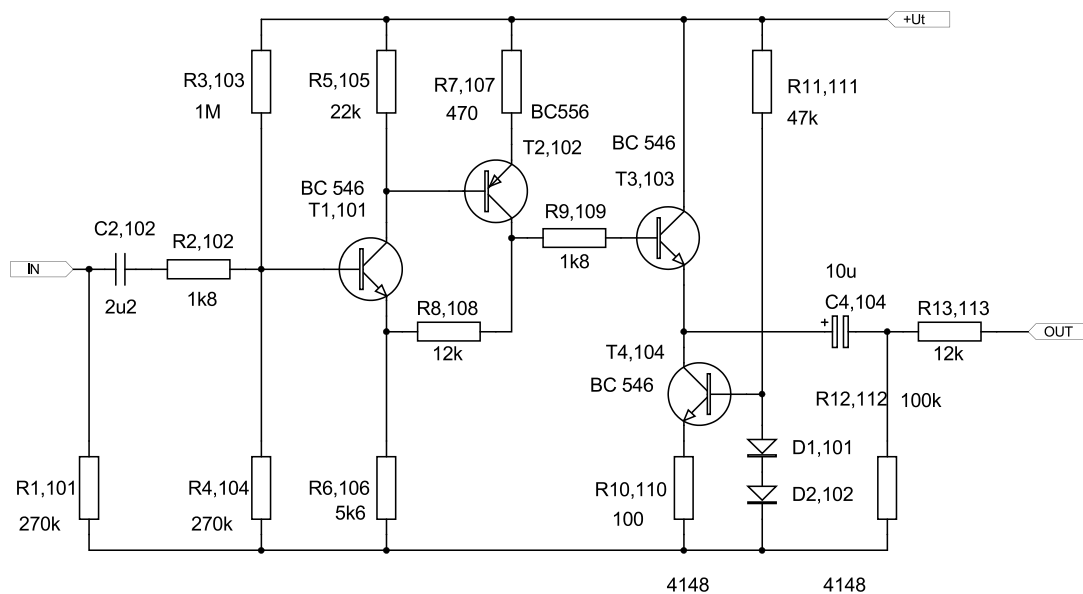


4.3. ábra: Az Obelisk DA az installált kártyákkal

A DAC kártya kimenetét egyrészt közvetlenül az egyik pár RCA-csatlakozóra, másrészt a beépített analóg buffer fokozat bemenetére kötöttem. A kialakítás velejárója, hogy az analóg fokozat bemeneti szűrőzése akkor is beleszól a hangképbe, amikor a direkt kimenetet használjuk. Ezt nem lehet elkerülni, de különösebb problémát nem okoz. Megépítés után kipróbáltam a rendszert leválasztott erősítőfokozattal is, és nem tapasztaltam jelentős eltérést a tervezett kialakításhoz képest.

4.2.2. Az analóg fokozat

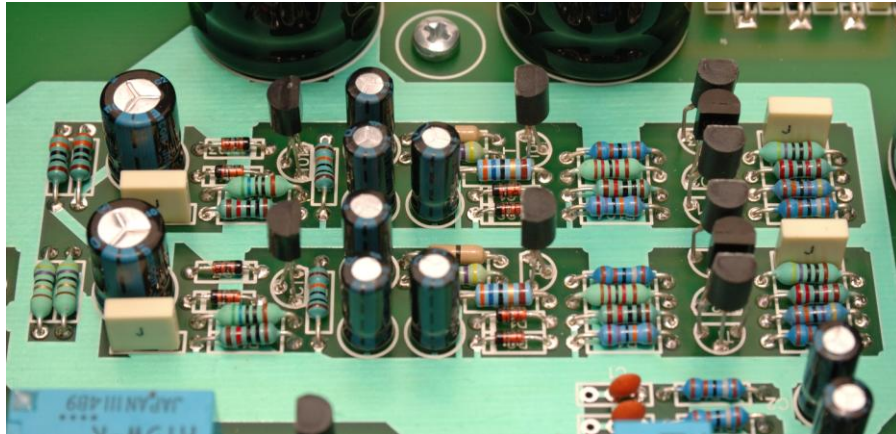
A készülékre kétféle analóg kimenetet terveztem. Egyik egy alacsony szintű, direkt kimenet közvetlenül a DAC kártyáról, a másik magas (2,5V full range) jelű, kétszeres erősítésű, alacsony kimeneti impedanciájú line driver (4.4. ábra). A márkaidentitáshoz híven diszkrét THT alkatrészekből kialakított fokozatról van szó, mely technikai adatait tekintve ugyan elmarad tőle, hangzásban viszont köröket ver az integrált műveleti erősítés megoldásokra.



4.4. ábra: Aszimmetrius erősítő fokozat

Az áramkör egy szimpla tranzisztoros visszacsatolású bemeneti fokozattal nyit, BC546 - BC556 npn-pnp párossal. A megoldás rendkívül alacsony bemeneti impedanciát biztosít T1 bázisán, ugyanis szinte minden áramot T2 szolgáltat a következő fokozat számára. Az erősítés beállítása R6 és R8 ellenállásokkal történik, értéke gyakorlatilag megegyezik $1 + (R8 / R6)$ -tal. R7 áramkorlátozó ellenállás torzításcsökkentő szerepe kísérleti úton nyert igazolást. T3 egy szimpla emitterkövetőként működő BC546, melyet egy ~ 6 mA értékre beállított áramgenerátor stabilizál. Az áramgenerátor beállítására diódás szintmeghatározást használtam, ennek termikus jelleggörbéje is nagyjából kiegyenlíti T4 változásait, és eléggé megbízható. A be- és kimeneti csatolókapacitások kellően nagy értékűek, nem befolyásolják érdemben az átvihető frekvenciatartomány alsó töréspontját. Az áramkör 20 voltól üzemel, kimeneti impedanciája alacsony, elegendő teljesítménnyel és headroom-mal rendelkezik ahhoz, hogy egészen hosszú kábeleket használva is jó minőségű hangot kapjunk.

A C2 bemeneti kondenzátor (4.5. ábra, jobb alsó sarok) értéke a végleges változatban $10 \mu\text{F}$ -ra módosult, általa kissé testesebb lett az alsó frekvenciatartomány. R10 értékét 36Ω -ra változtattam, amely egyrészt alacsonyabb kimeneti impedanciát eredményez, másrészt T3 közel ideális munkaponton üzemelhet a tranzisztor dinamikus adatai tekintetében.



4.5. ábra: A két csatorna iker kialakítása

4.2.3. Az előlapi vezérlőpanel

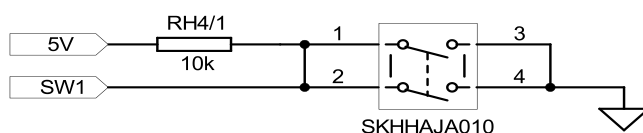
A készülék több bemenettel rendelkezik, melyek közül mechanikus relék választják ki az épp hallgatni kívánt forrást. A felhasználó előlapi nyomógombok, illetve infravörös távszabályzó segítségével választhatja ki a neki tetszőt. Az aktuális pozíció visszajelzésére egy egydigites hétszegmens LED kijelzőt választottam, mely elegendő az 5 bemenet identifikálására, ugyanakkor 468 nm-es kék színével illeszkedik a többi készülék világításához.



4.6. ábra: A user interface, előlap nélkül

Fenti funkciók eléréséhez a szükséges interfész alkatrészeket (nyomógomb, infravevő, kijelző) célszerűen a készülék elején kell elhelyezni. Ennek legegyszerűbb módja, ha az előlap belső oldalára egy NYÁK-lapot rögzítünk, és rápakoljuk a kívánt elemeket.

Esetünkben egy TSOP31238 IR vevő, három TACT kapcsoló, és egy, a készülék vezérlését végző PIC16F886 kapott helyet a panelen. A főpaneli kapcsolatot egy 10 pólusú szalagkábel biztosítja, melyen 5V feszültség, föld, valamint az öt relé vezérlőszintje továbbítódik.



4.7. ábra: A mikrokapcsoló bekötése

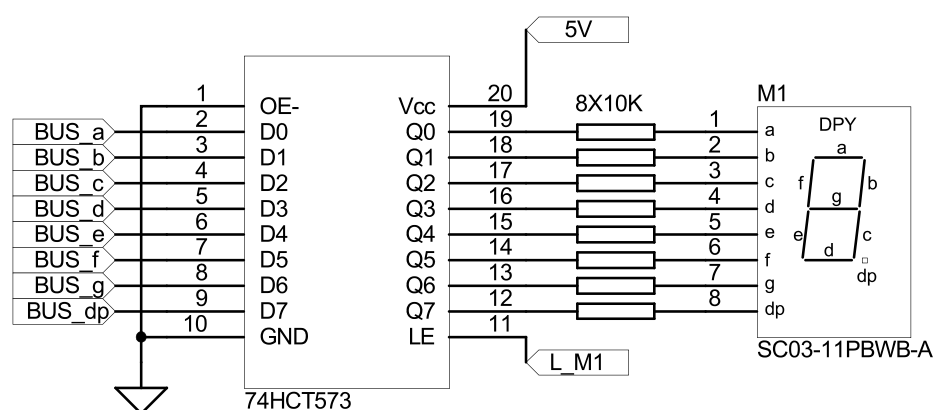
A nyomógombos vezérlés FEL és LE léptető gombokból, valamint egy kijelző „némító” gombból áll. Ez utóbbi megnyomásakor a kijelzőn mindössze a DP helyiérték-pont világít, így kímélve a teljes sötétséget szerető zenehallgatók idegeit. A léptetés egyszeri megnyomásra a következő bemenetet kapcsolja a DAC kártya bemenetére, a végállásokban csak ellenkező irányba lehetséges a módosítás. A relék meghúzási és elengedési idejét betartva [12] késleltetett a váltás, így nem fordulhat elő, hogy két bemenet villamos kapcsolatba kerüljön. A készülék bekapcsolásakor automatikusan az 1-es számú, vagyis az RCA bemenet aktiválódik. Mintegy a némítás funkciót szimulálva a léptetés elejére egy „0” állapotot is betettem, ekkor egyetlen bemenet sem aktív.



4.8. ábra: Az Obelisk-család távvezérlője

A család rendszer-távvezérlője (4.8. ábra) majdnem szabványos RC-5¹⁴ kódot használ, 36 helyett 38 kHz-en működik. Ez az esetek többségében elegendő különbség, hogy más gyártmányú készülék ne reagálhasson erre a távirányítóra. A készülék a 10h címen érhető el, a FEL a 01h, a LE a 02h kódra reagál. A kijelző sötétítés nem távirányítható.

A PIC programját a sok bitszintű utasítás és időzítés miatt Assembly nyelven írtam. Az időkritikus folyamatok (RC5-kód vétele) miatt az órajelhez külső 4 MHz-es kristály-rezonátort használtam. Ez kis helyet foglal, de elég pontos jelet biztosít a feladathoz.



4.9. ábra: A hétszegmens kijelző meghajtása

A hétszegmens kijelző vezérléséhez szegmensenként egy portot definiáltam, valamint egy enable vezetéket. A közös katódos kijelzőt egy 74HCT573N latch-en keresztül hajtom (4.9. ábra), így könnyebb megoldani a digitenkénti vezérlést. Jelen esetben ugyan nincs szerepe, de a megírt kódrészlettel könnyen megalkotható egy több digités kijelző is, mindössze az enable vezetékek számának növelésével, párhuzamosított szegmens-busszal. Fontosnak tartom a kijelző ilyen rendszerű kialakítását, ugyanis így teljesen statikus működésű (nem mátrixolt), nem hoz létre esetleges zajfrekvenciát a tápágon, és a szemünk sarkából nézve sem vibrál.

4.2.4. A tápellátás

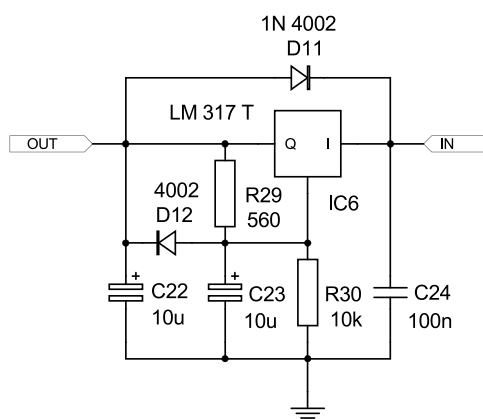
Lineáris rendszerű tápegységet terveztem a készülékbe, ez ugyanis hangfrekvenciás alkalmazásokra nagyságrendekkel használhatóbb, mint egy kapcsolóüzemű forrás. A megfelelő stabilizátorokkal egészen jó, mintegy 80 dB

¹⁴ A Philips infra távvezérlési protokollja

PSRR¹⁵ érték érhető el a teljes hallható frekvenciatartományban. Többfokozatú stabilizálás esetén ez az érték természetesen tovább növelhető.

A táp kialakítása során elsődleges szempontnak tekintetem az analóg és digitális blokkok elkülönítését. Ennek eléggé jó módja a külön transzformátorok használata. A vállalat termékpalletájában már használ 2x7 V-os, illetve 2x22 V-os, 30 VA-es trafókat. Ezek bőven elegendő teljesítményűek jelen felhasználásra.

Az analóg táp a 2x22 V-os transzformátorból nyeri az energiát, egyik ága az analóg erősítő fokozatot, másik a DAC kártya 24 V-os bemeneteit látja el árammal. A diszkrét diódás, Graetz-hidas egyenirányítás [11] után mindkét ágon egy-egy 10.000 μF kapacitású kondenzátor végzi a szűrést. A stabilizálást LM317-es, állítható feszültségű stabilizátorok végzik. A kártyára menő két ághoz TO-220-as tokozásúakat választottam, ezeket is hűtőbordára szerelve.



4.10. ábra: Megfelelő szűrőzéssel ellátott stabilizátor

A digitális táp a 2x7 V-os transzformátor párhuzamosított szekundereivel kezdődik, majd a diódahíd után 2 db 10.000 μF -os kondenzátorral szűr. 5V-ra állított stabilizátorát egy viszonylag nagyméretű hűtőbordára terveztem, ugyanis ez hivatott ellátni az összes 5V-os blokkot árammal.

A földelés kialakítása aszimmetrikus tápellátás esetén sosem egyszerű. Igyekeztem megkeresni a digitális és az analóg föld összekötésének legmegfelelőbb pontját, ehhez a panelen opcionális rövidzár beültetési lehetőségeket alakítottam ki. A kísérletek után végül a kimenet közelében elhelyezett összekötés eredményezte a legkisebb zajt, a NYÁK-ot utólag nem kellett módosítani.

¹⁵ Tápnyomás, az energiaellátás felől érkező zajok kiszűrésének képessége

4.3. Szoftveres tervezés

A készülék vezérlése négyféle feladatot ölel át. Egyrészt fogadja az infravevőből érkező jeleket, amelyekkel távszabályozható az eszköz. Az előlapi panelen található három gombbal a bemenetválasztás és a kijelző-sötétítés funkciókat érhetjük el. A belső szalagkábelén keresztül pedig a főpanelen található relék beállítása történik. A negyedik feladat a hétszegmens kijelző vezérlése.

A programot egy PIC16F886 mikrokontrollerre írtam. Ez az IC bőven elegendő számú porttal rendelkezik az összes funkció ellátásához, ugyanakkor DIP tokozású kivitele is még elfér a vezérlőpanelen. A külön foglalatba nyomott tokozás előnye a későbbi, kereskedők által elvégezhető egyszerű firmware upgrade lehetősége.

A kódot a PIC saját assembly nyelvén fejlesztettem. A rendszer fizikai ismeretének révén közel áll hozzám a gépi kódolás lineáris felépítése, a bitszintű műveletekkel számomra egyszerűbb az egyes portok és az időkritikus folyamatok kontrollálása. Ez utóbbi különösen lényeges, a távvezérlés ugyanis majdnem szabványos RC-5 kódolással működik, amelynek kötött időzítései vannak.

A program fő ciklusa igen rövid, lényegében három műveletből áll:

```
main:
    btfss    DISPLAY
    call    display_counter
    call    chk_keys
    btfss    IR
    call    chk_ir
    goto    main
```

Az első művelet az automatikus kijelző-vezérléshez kötődik. Az előlapi gombbal kiválasztható a kijelző ON vagy AUTO OFF állapota. Előbbi esetben folyamatosan jelzi a bemenet számát, utóbbiban pedig a legutolsó kiadott parancs után nagyjából hét másodperc után kialszik, és csak egy státuszjelző pont (a DP szegmens) marad égve.

Legnagyobb kihívást az RC-5 dekódolás jelentette. A szabványos átviteli protokoll egy 36 kHz-es vivőfrekvenciára ültetett adatsomagból áll, amelynek a *4.1. táblázatban* ismertetett időzési intervallumai [13] a fénysugarak környezeti reflexióinak káros hatásait igyekeznek minimálisra szorítani.

4.1. táblázat

Description	Min.	Typical	Max.
RC5 Half bit period	640 μ s	889 μ s	1140 μ s
RC5 Full bit period	1340 μ s	1778 μ s	2220 μ s
RC5 message time	23.644 ms	24.889 μ s	26.133 ms
RC5 message repetition time	108.089 ms	113.778 ms	119.467 ms
Carrier pulse bit time	27.233 μ s	27.778 μ s	28.349 μ s

Az Obelisk Si távvezérlője 36 helyett 38 kHz-en működik. A kompatibilitás megőrzése miatt úgy kellett megterveznem a DA vevőegységét, hogy alkalmas legyen mindkét frekvencia vételére. Ezt az alsó határadatok módosításával értem el. A tesztek során kiderült ugyanakkor, hogy a felső korlátok tágításával jelentősen nő a vétel biztonsága, az így valamelyest megnövekedett számú fals kódokat pedig egyszerű dupla ellenőrzéssel minimalizáltam.

A bemenetválasztás során ügyelnem kellett a mikrokapcsolók pergésére is. Az első jelváltozást követően mintegy 100 ms időtartamot adtam a parancs validitásának ellenőrzésére. Ennyi késleltetés nem zavaró a használatkor, és megnyugtatóan kizárja a mikrokapcsoló működési zavarait.

Az egyes végrehajtott parancsok között tiltott időszavakat definiáltam. Ezen 1 másodperces intervallumok alatt a program végrehajtja a parancsot, kiírja a kijelzőre az aktuális csatornaszámot, majd az idő leteltekor visszaenged a főciklusba. Zenehallgatás során a forrás kiválasztása rendszerint egyetlen alkalommal, a lejátszás elindítása előtt történik meg. A gyors váltogatásnak nem látom értelmét, és nem is szeretném, ha a termék vásárlói a relék gyors kattogását élveznék fő műsorforrásként. Előbbi gondolatot továbbvezetve a csatornaválasztást nem körbeforduló, hanem a végeken visszaforduló rendszerűre terveztem.

A relék vezérlése szempontjából lényeges azok meghúzási és elengedési ideje, ami az alkalmazott Takamisawa RY5W-K jelfogók esetében 3 és 6 ms lehet [12]. A bemenetek átkapcsolásakor így hagytam némi időt az egyik relé elengedése és a másik meghúzása között, hogy a készülék ne zárja össze villamosan két különböző eszköz kimenetét. Mivel a relék hangja kívülről is hallható, lényegesnek tartottam a nyugodt kapcsolás érzetét keltő, bizalomgerjesztő csettenéseket, amelyet 200 ms késleltetéssel értem el.

A készülék bekapcsoláskor automatikusan az egyes számú, az RCA bemenetet aktivizálja. Az aktuális bemenetet nem memorizálja, újbóli bekapcsoláskor újfent ez a bemenet fog élni.

Megadtam továbbá egy 0 jelű bemenetet is, amely nem fizikai kapcsolat, csupán annyit takar, hogy a DAC kártya bemenetére nem kapcsolja egyik forrás jelét sem. Ez egy idegen rendszerben pótolhatja a hiányzó némítő funkciót, mivel ilyenkor a DAC kártya jelfogója lezárja a következő fokozat bemenetét.

4.4. Mechanikai tervezés

A készülékek fizikai paramétereinek tervezése sosem önálló művelet. Különösen igaz ez olyan esetben, amikor az adott, viszonylag kicsi készülékház-méret, és a kötelező elemek miatt olyan kompromisszumos megoldást kell találni, amely a kapcsolásra is kihat. A gyakorlatban ez jórészt a tápegységet szokta érinteni, kisebb transzformátor, kevesebb szűrőkondenzátor használatát követeli.

4.4.1. A fémház

A készülék a Heed Obelisk családod gyarapítja, így méretben és dizájnban illeszkednie kell társaihoz. A doboz mérete sok felhasználás számára viszonylag szűkös, a 21x31x7 cm-es méret nagyjából a szokásos, 43 cm-es készülékház fele. A DA azonban nem kíván nagyméretű transzformátorokat és hűtőbordákat, ezért kényelmesen elfér a házban, és így lehetőséget biztosít egy optimálishoz közeli kialakításhoz (ld. 2. melléklet)

A bemeneti IEC tápcsatlakozó a hátlap bal oldalán foglal helyet, ahonnan a 230V-os vezetékek a készülék elülső szekciójában helyet foglaló trafókhoz futnak. A főpanelt így az ellentétes oldalra eltolva terveztem, hogy az érzékenyebb áramkörök minél távolabb essenek a zavarforrástól. A transzformátorok az aljlapra rögzülnek.

A főpanel 12mm-es távtartókon került beépítésre, ez határozta meg a külön csavarozható hátlap csatlakozóinak pontos helyzetét. A fémmunka lézervágással dolgozó üzemben készül, így eléggé pontos illesztést lehet használni, természetesen hagyva némi tűrést a festés és az alkatrészek devianciájának elviselésére.

Az aljlap 90°-ban felhajlított része adja a készülék elülső oldalának alapját. Erre a részre belülről 5 mm-es távtartókra szerelve nyugszik a vezérlőpanel. A kétoldalas NYÁK külső oldalán kapott helyet a három TACT kapcsoló, a kijelző, valamint a távirányítás infra vevője (ld. 4.6. ábra), a belső oldalon található minden más. A mikrokapcsolók 4,3 mm kiállásúak, ez határozza meg a használt alumínium nyomógombok méretét.

A doboztető egy zárt, U alakú lemez, amely 6 db M3-as csavarral rögzül az aljlaphoz. Az összes elem 2 mm-es acéllemezből készült, az alj- és hátlap matt fekete, a tetőlap strukturált fekete porfestett felületkezelést kapott.

4.4.2. Az akril előlap

A készülék 10mm vastag, 22x7,6 cm-es akril előlapot kapott. Az alaplaphoz 4 db M3-as csavar rögzíti, melyek az előlap hátoldalán, rejtve helyezkednek el. A négy menetes furaton kívül szükség volt még háromra a nyomógombok számára, illetve egy ablakra a kijelzőnek.

A nyomógombok 9,3 mm átmérőjű, anodizált alumíniumból készültek. Az előlap vastagságán épp annyira lógnak túl, hogy kényelmes legyen őket kezelni. Szerelése végtelenül egyszerű: hátulról az előlapba kell helyezni őket, majd a komplett előlapot felcsavarozni a helyére. A gallér megakadályozza, hogy a gomb kihulljon a helyéről, belül pedig a mikrokapcsoló aktuátora támasztja, ~ 0,3 mm holtjátékot hagyva. A 9,5 mm-es furatban nem lötyög túlzottan a gomb, a kezelése minőségi érzést nyújt.

A kijelző 0,3", azaz 7,62 mm magas karakterű, de mechanikailag 19 mm-es. Az ablakot ezért úgy terveztem, hogy viszonylag nagy szögből látható legyen mögötte a számjegy, ugyanakkor a lehető legkisebb mértékben lehessen belátni a készülékhez. További funkciója, hogy utat adjon az infra érzékelőhöz érkező sugaraknak, szintén elegendően nagy betekintési szögekkel. Az ablak ezen megfontolások alapján szürke füstszínű akrilból készült, amely nem gátolja az IR hullámhosszt, átengedi a kijelző erős kék fényét, ugyanakkor kellően gátolja a belátást. Az ablak kívülről, ragasztással került az előzőleg megfelelően kimart fekete akril előlapba, amely így kívülről tökéletesen sík felületű (ld. *1. melléklet*). Gondolva a fehér előlapra is, az ablak méretét és formáját esztétikusan kellett kialakítanom, ugyanis a fekete ablak fehér előlapon elég erős kontrasztot eredményez.

4.4.3. Feliratozás

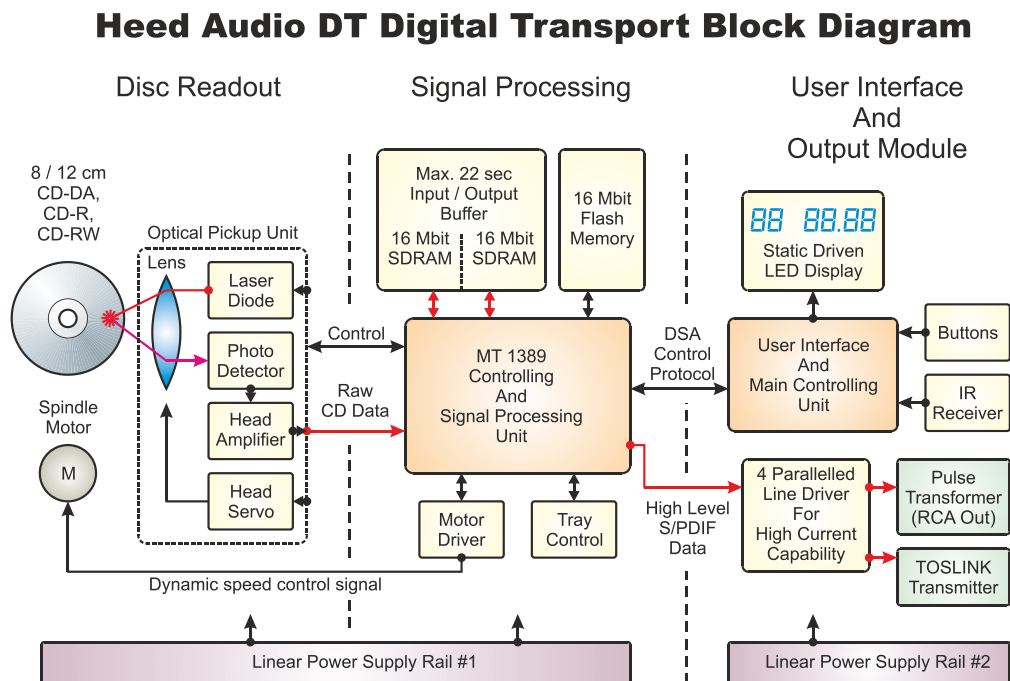
A készülék része az információs és dizájn célokat szolgáló feliratozás. A hátlap fehér, míg az előlap ezüst színű szitázással készült rajzolatot kapott. A szabványok által előírt biztonsági és egyéb jelzések egyrészt a készülék hátulján, másrészt a doboz alján, matrica formájában található. Alulra kerül a készülék hivatalos típusmegjelölése és sorozatszámja is.

5. A CD TRANSZPORT

5.1. Felépítés és működés

Megjelenésekor a CD-játszó high-tech eszköznek számított, a kor legfejlettebb hardveres megoldásaival és jelfeldolgozási képességeivel. Mára az optikai lemez kiolvasása egy magasan integrált, egyszerű és olcsó folyamattá vált a különféle fejlettebb adathordozókhoz képest. Maga a művelet a kellő számítási teljesítmény birtokában igen egyszerű, mindössze szervó-kezelési és dekódolási műveletekre vezethető vissza. A kezdetekben minden jelfeldolgozást fizikai eszközök, léptetőregiszterek és logikai kapuk végeztek. Napjainkban ez szinte teljesen a mikroprocesszorok és a bennük futó szubrutinok territóriumára, általuk a fizikai kialakítás is egyszerűbb és jóval olcsóbb lehet.

Én viszont nem a legolcsóbb, hanem a legjobb elvi megoldást kerestem a feladatra. A processzorok alkalmazásával ugyanis nem csak a szükséges jelfeldolgozás végezhető el, hanem annál jóval több. A nagysebességű kontrollerek és optikai olvasófejek elterjedésével a Red Book szabvány szerinti jelfolyam alternatív módszerrel is előállítható.

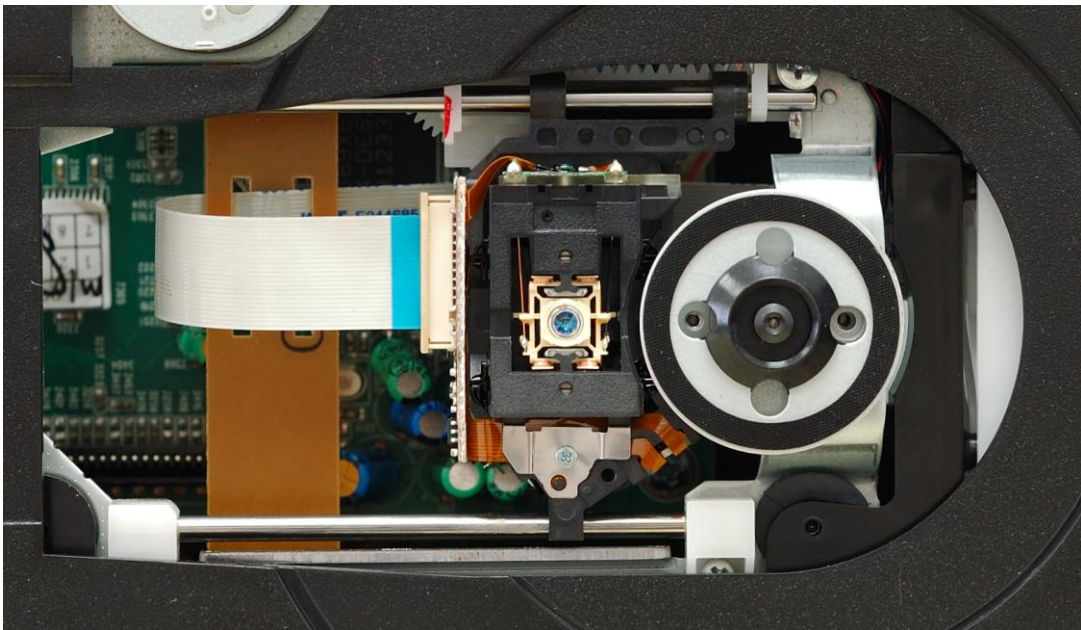


5.1. ábra: Az Obelisk DT blokkvázlata

5.1.1. A loader és az OPU

Számos gyártó készíti CD-lejátszóit fém mechanikával. Ennek legnagyobb előnye, hogy nehéz és drága, így lehet mivel igazolni a magas eladási árat. Véleményem szerint a tálcás loader kialakítása úgy 80%-ban a vásárló szemének, és csak 20%-ban a fülének szól. Elismerem, hogy a lemez vibrációinak kiszűrése hatékonyabb lehet egy jól megépített, fémvázas egységgel, de szerintem sokkal fontosabb a loader és az OPU¹⁶ kapcsolata, illetve utóbbi minősége. A célra így egy ASA gyártmányú, műanyag, tálcás loadert választottam, amelynek kisebb fizikai mérete és egyszerűsége sokszorosan nagyobb értékkel bír, mint a fémből készült verzió csekély hangbéli előnye.

Az optikai kiolvasásra egy SANYO SF-HD62 jelű [4], dual lézeres DVD fejet választottam (5.2. ábra). Sokkal jobb minőségű optikával rendelkezik, mint a szimplán CD-re alkalmas társai, és többszörös adatátviteli sebességen is igen pontosan működik, hatékonyabb a deformált lemezek kiolvasásában. A fényérzékelő lapkája hatmezős, amely igen gyors és pontos sávtartást tesz lehetővé. A típus alkalmazható többszörös kiolvasási sebességekhez is.



5.2. ábra: Az OPU és a szervo modul

¹⁶ Optical Pickup Unit – optikai „hangszedő”

5.1.2. A feldolgozó egység

A lejátzó számára egy olyan megoldást kerestem, amely a lehető legnagyobb pontossággal elégíti ki a digitális jel időbeli kritériumait. Az USB kártyánál már említettem, mennyire fontos a hangjelek mintáinak pontos elhelyezése az időtartományban, így nyeri el ugyanis az előállított analóg jelünk a felvett anyaghoz leginkább hasonlító kópiát. A megoldás itt is a kimeneti oldal konstans órajelen történő járatása, amely a hagyományos CD-lejátzás módszerével nem lehetséges.

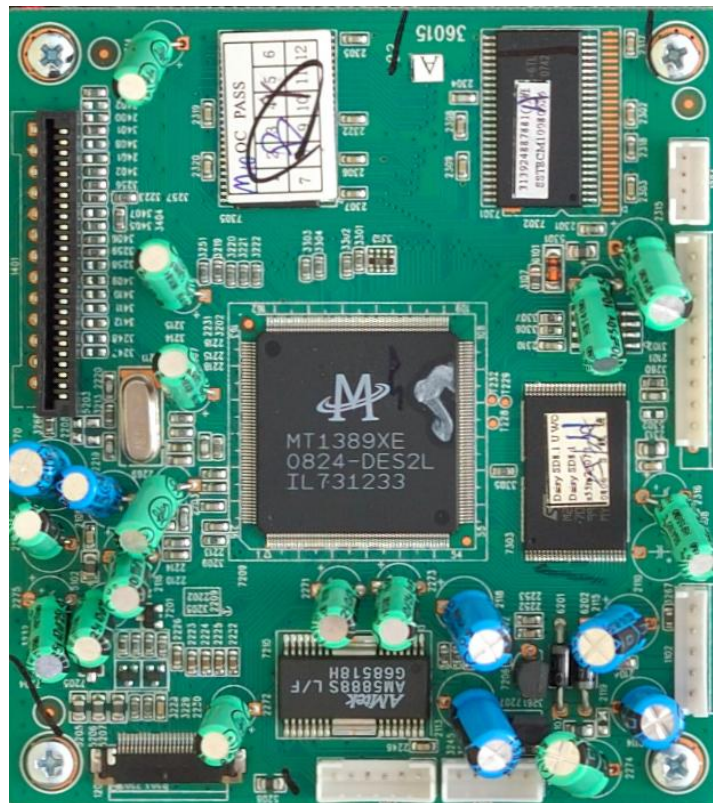
A puffrelés jelent megoldást a problémára, ezáltal a kiolvasás sebessége és a kimenet időalapja teljesen függetlenné válhat. Miután a CD lemez minden blokkja és kerete szabványos és ismert időintervallumban követi egymást, valamint egyedileg címkézve vannak, a későbbi feldolgozás során lényegtelen, hogy azok mikor kerültek tényleges kiolvasásra. Ha az OPU-ról származó információt egy pufferbe töltjük, majd a pufferből precízen a 44,1 kHz-es mintavételi frekvenciának megfelelő sebességgel küldjük ki a jelet, lényegtelen, hogy a puffer bemeneti oldalán milyen sebesség-ingadozások vannak.

Ezt a lehetőséget kiaknázva választottam egy olyan, mikroprocesszor alapú megoldást, amely többszörös kiolvasási sebességgel működik. Hibás kiolvasás esetén a rendszer újból átfut a kérdéses lemezterületen, így újabb lehetőség nyílik a korrigálásra. Hagyományos, egyszeres sebességnél a kiolvasási hiba kijavítása – amennyiben lehetséges – a beépített kódolásra hagyatkozik, amely a tapasztalatok szerint nem nyújt elegendő biztonságot a karcosabb, sérült, koszos lemezekhez. A javíthatatlan hibák interpolálása hallható minőségromláshoz vezet, így a hibák számának újraolvasással történő visszaszorítása javítja a hangminőséget.

Körülnéztem a piacon, milyen megoldások kínálóznak a terv megvalósítására. Örömmre szolgált, hogy más is hasonlóan gondolkodik az optikai lemezek kiolvasásáról, igaz, nem feltétlenül a CD, sokkal inkább a DVD esetében. Rátaláltam egy olyan kivitelre, amely kép- és hangfeldolgozásra is alkalmas, 16 + 16 Mbit bemeneti és kimeneti pufferrel, valamint nagysebességű jelfeldolgozó processzorral rendelkezik, kifejezetten szórakoztató elektronikai célokra fejlesztve. Integrálva tartalmazza a kiolvasók kezeléséhez szükséges szervó áramkört, kimeneti oldalán számos lehetőség és formátum közül választhatjuk ki a számunkra megfelelőt.

A Mediatek MT1389XE processzorral működő rendszer (5.3. ábra) DSA protokoll segítségével vezérelhető. Ezt fontos tényezőnek tartottam a döntésemkor, így ugyanis sokkal rugalmasabb és egyszerűbb lehet a későbbi, hasonló termékek fejlesztése. A DSA ugyanis egy olyan univerzális, magasabb szintű kommunikációs protokoll, amely segítségével mind a szervó, mind a hangadatok egy szabványos, fizikai eszköztől

független csatornán közvetíthetők. A vezérlő program kisebb módosításaival a későbbiekben más típusú eszköz is könnyedén kezelhető.



5.3. ábra: Mediatek feldolgozó modul

5.1.3. Vezérlés

A CD lejátszó vezérlését PIC mikrokontrollerekkel oldottam meg. Ezek egyszerűen programozhatók, megbízhatók, elegendő számítási kapacitással bírnak a hasonló feladatokhoz. Számos rutin már rendelkezésre állt korábbi munkáimból, így nem kellett nulláról kezdenem a firmware fejlesztését.

A felhasználó előlapi gombokkal és távirányítóval szólhat bele a készülék működésébe, az információkat LED kijelzőn olvashatja. Ez utóbbinál fontos szempont volt az egyszerű, a versenytársaktól eltérő, és esztétikus kialakítás. A meghajtását statikus rendszerűre terveztem, így nincs zavaró vibrálás, amely bántó lehet a szem számára, és nem termel káros villamos felharmonikusokat.

5.1.4. Tápellátás

Az energiaellátás természetesen ennél a készüléknél is lineáris kivitelű, transzformátoros. Szinte minden művelet pontossága, amely a készülékben történik, a tápellátás minőségétől függ. Úgy érzem, a legtöbb CD-lejátszó itt vérezik el, az olcsó, kapcsoló üzemű tápok nem képesek megfelelően tiszta feszültséget nyújtani ezen feladatok elvégzéséhez, ráadásul a generált felharmonikusok egy része garantáltan valamelyik feldolgozási részművelet tartományába esik, ennek káros hatásait nem kell részleteznem.

Az optikai és a feldolgozó egység együtt kimondottan nagy áramigényű, ráadásul induláskor és a lemez felpörgetésekor meglehetősen meredek áramimpulzusokat vesz fel a sok induktív szervó-egység miatt. A valós körülményekre lefordítva ez nagyobb méretű hűtőbordával ellátott stabilizátorokat jelent, így az általuk eldisszipált hőteljesítményt is figyelembe kellett vennem.

5.2. Villamos tervezés

5.2.1. A tápellátás

Az Obelisk DT kapcsolásának tervezését a szokásostól eltérően, a tápegységgel kezdtem. A működési feszültségek tekintetében több szempontot is figyelembe kellett vennem, amelyek végül egy jól behatárolt megoldáshoz vezettek.

A legfontosabbnak az optikai egység és a jelfeldolgozó modul meghajtását tartottam. Ezek teljesítményi követelményei elég magasak, az egyik ágon 2,2 A csúcáramot is elérhet a fogyasztás. A preferált lineáris kivitel miatt a tápegység magas hődisszipációját egy 5,2 °K/W termikus rezisztanciájú, TO-220-kompatibilis hűtőbordára bíztam, ami 50,8 mm-es magasságával még elfér a készülék belsejében. A belső esztétikát szem előtt tartva mindkét ág LM317T stabilizátorát ilyen hűtőbordára terveztem.

A stabilizátorok beállítása a már ismertetett módon történt (2.1. egyenlet). Egyedüli különbség, hogy az IC-k előtt nincs korlátozó ellenállás, ugyanis a várható igen nagy áramingadozások miatt nagy valószínűséggel beesne a feszültség a stabilizálási határ alá.



5.4. ábra: Az Obelisk DT tápegysége

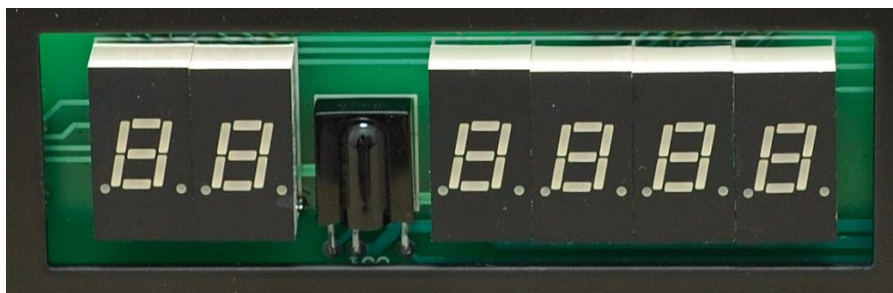
Külön kérdés volt a trafó ideális teljesítménye és feszültsége. A kisebb teljesítményű transzformátorok üresjárási feszültsége jóval magasabb lehet a terhelt állapotnál, így a stabilizátor bemeneti feszültsége tág határok között ingadozhat. Ennek ideális mértéke számításos alapon is meghatározható, azonban elegendőnek gondoltam eddigi tapasztalataim kamatoztatását. A transzformátor így egy 30 VA teljesítményű, 2 db 7 V-os szekunderű példány lett, amely az alkalmazott KBPC1010 Graetz-hidakkal megfelelő feszültséget szolgáltat ahhoz, hogy a stabilizátor ne forrósodjon fel túlzottan, ugyanakkor nagyjából 190 V hálózati feszültséggel is stabilan működjön.

A két ötvolttos tápág egyikét dedikáltan a modul vezérlésére szántam, ebbe az ágba a standby funkció megvalósításához egy JS5-K típusú jelfogót terveztem, amelynek vezérlése szoftveres úton történik. A másik ág a központi vezérlést szolgálja, amelynek további bontása is szükségessé vált, ugyanis a DSA-UDMA fordító IC 3,3 V-on üzemel. A célra hűtőborda nélküli, TO-92 tokozású LM317LZ-eket használtam, a már ismert beállítási módszerrel, az alacsony dropout margin miatt ejtőellenállás nélkül.

A vezérlő PIC tápja szintén ez utóbbi 5 V-ról működik. Az alkalmazott kék LED kijelző 3,5 – 4 V nyitófeszültségű, így annak meghajtói, ezáltal azok vezérlési szintje is a magasabb CMOS feszültségeket kívánja.

5.2.2. Az előlapi user inteface

Ez a modul ad helyet a kijelző, a nyomógombok és az infravevő hármasának. Kijelző gyanánt közös megegyezéssel hétszegmens LED-modulokat választottunk, ez egyszerű, kontrasztos, illik a vállalati arculathoz. A CD lejátszó funkcióinak követésére hat digit elegendő, kettő a zeneszám sorszámát, négy pedig a perc és másodperc információkat jeleníti meg. Az egyes digitek meghajtása a DA-val megegyezően történik (4.9. ábra). A latch-ek egy közös buszra csatlakoznak, amelyről a megfelelő enable vezetékkel választható ki, hogy melyik digitnek szól a buszon található információ. Ezáltal egy 8 + 6 szálas kapcsolatot kellett kialakítanom a kijelző számára, amely szoftveresen vezérelhető.

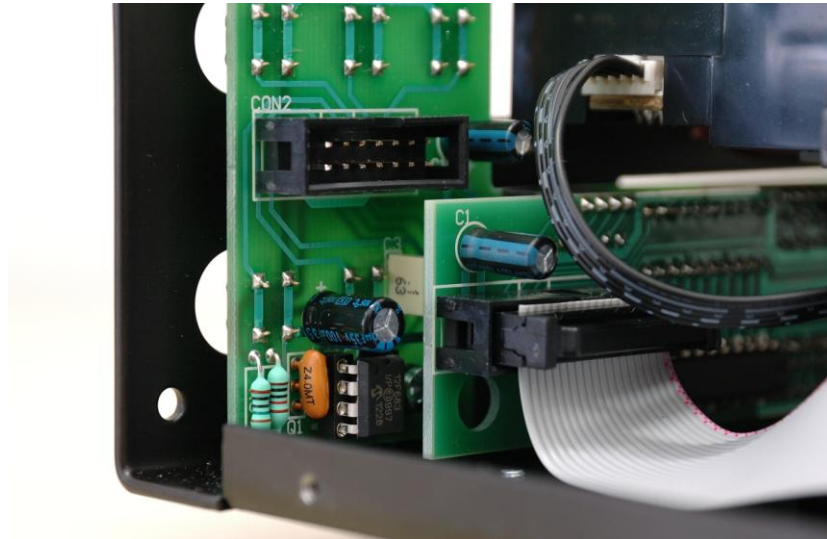


5.5. ábra: A kijelző az infravevővel

A nyomógombok szintén az ismert mikrokapcsolós megoldást használják. A hat funkció a PLAY, STOP, PREV, NEXT, OPEN, DISPLAY. Előbbiek egyértelmű CD utasítások, utóbbi a DA-nál megismert kijelző „némító” funkcióhoz tartozik. A kapcsolók jeleit közvetlenül a vezérlő PIC-re csatlakoztattam, egy-egy felhúzó ellenállással.

Az infra vevő TSOP31238-as moduljának kimeneti jelét több okból sem kívántam közvetlen módon a központi vezérlésre bízni. Egyrészt a két blokk fizikailag távol van egymástól, és nem tartottam jó megoldásnak, hogy a hosszú szalagkábelben vezessem el a kényes jelet. Másrészt a biztonságos RC-5 dekódoláshoz szükséges idő miatt a központi vezérlés esetleg összeütközésbe kerül a DSA protokoll időzítéseivel, lemarad fontos információktól, netán lefagy a hibásan értékelt átvitel miatt. Úgy gondoltam, hogy egy újabb mikrovezérlővel, amely kizárólag az infra vétellel foglalkozik, ez a probléma elhárítható. A PIC12F683 kicsi (5.6. ábra), négy portja közül az egyik csak bemenet, ide kötöttem az infravevő kimenetét. A maradék három szál a központi

egységgel való kommunikációra szolgál. A gombok és az infra így 6 + 3 vezeték igényelnek.



5.6. ábra: Az IR PIC és az előlapi csatlakozások

5.2.3. Központi vezérlő egység

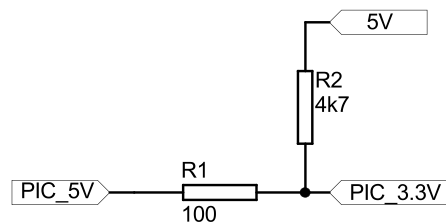
Az alkalmazni kívánt PIC típusát leginkább a portok száma határozta meg. A DSA-busszal és a fentebb taglalt szálakkal együtt 26 port szükségeltetett a készülék teljes vezérléséhez. Választásom a PIC18F44K22-re esett, ez egy 40 lábú áramkör, DIP tokozásban is kapható, assembly nyelven programozható.

Az előlapi és a vezérlő panelt egy 20 és egy 14 eres szalagkábellel kötöttem össze. A szélesebbik szolgál a kijelző vezérlésére, a keskenyebbiken az infra és a nyomógombok információi közlekednek. A kábelek csatlakozóit a PIC két végén helyeztem el. A szükséges felhúzó ellenállások diszkrét THT kivitelűek, ezek közvetlenül a portok mellett találhatóak.



5.7. ábra: Vezérlés és kimeneti fokozat

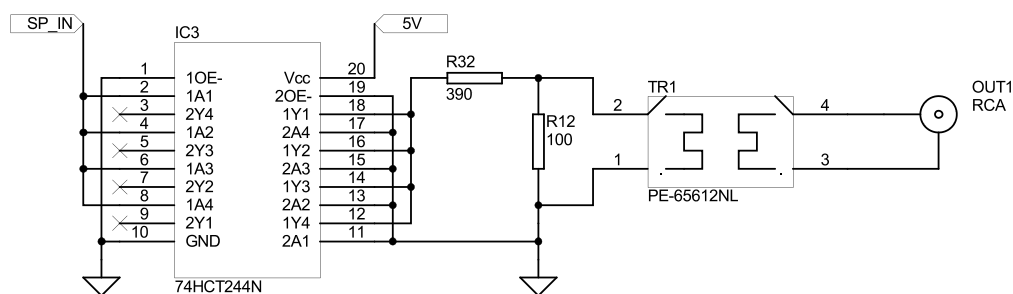
A DSA fordító IC is a főpanelen kapott helyet. Miután ez 3,3 V-on üzemel és kétirányú kommunikációt valósít meg, jelszint-illesztő áramkört (5.8.ábra) kellett a két chip közé tennem. Könnyítette a helyzetet, hogy a DSA IC bemenete 5 V-toleráns, így egyszerűbb megoldást használhattam.



5.8. ábra: Szintillesztő áramkör

5.2.4. A kimeneti fokozat

A Mediatek modul egyik kimeneti pontján előáll a tiszta, pontos időzítésű S/PDIF jel. Ez a port azonban nem szabványos, 3,3 V-os CMOS jelszinteken működik, a készülék kimenetén viszont a 0,5 V_{pp} nagyságú jel a kívánatos. Saját elvárásom volt ugyanakkor, hogy a lehető legjobb kapcsolatot biztosítsam a külvilág felé, így egy line driver fokozattal (5.9. ábra) erősítettem meg a kimenő jelet.



5.9. ábra: A DT kimeneti fokozata

Négy darab párhuzamosított erősítő mindenképp megnyugtató túlméretezésnek tűnik a várható terheléseket nézve. A földágon terjedő zavarok elkerülésére egy kifejezetten digitális audio átvitel céljára fejlesztett transzformátort [14] építettem a készülékbe. A trafó két oldalának terhelése az ideális jelterjedéshez meg kell egyezzen, a szabványos 75 Ω -hoz tartozó beállítás a fenti ábrán látható módon történt.

A line driver kimenetéről táplálkozik a TOSLINK csatoló is. Ez a DA-ban ismertetett vevő IC adó párja, paramétereiben ugyanazokat tudja, vagyis a CD kívánalmait bőségesen kiszolgálja. A két csatlakozást elegendőnek tartottam, a BNC-t, mint harmadik lehetséges opciót elvettem, ugyanis a piacon jóval több high-end digitális összekötő kábel létezik RCA kivitelben, így a vásárlók nagy része azt a kimenetet fogja használni.

5.3. Szoftveres tervezés

A készülék első verziójában egy PIC16F887-es mikrokontrollert használtam. Ennek rendkívüli előnye, hogy teljes egészében kompatibilis a DA-ban használt testvérével, csak több portja van annál. Az első darabok még ezzel a PIC-kel készültek el, de ahogy a továbbfejlesztés újabb állomásaival egyre több szolgáltatást kellett a vezérlővel megvalósítanom, úgy nőtt a forráskód hossza. Ekkor derült ki, hogy a memórialapok közötti átjárás az egyes szubrutinok működésére eléggé hektikus kihatással van, és mivel a programmal kapcsolatos elvárásaimon nem kívántam változtatni, más megoldás után néztem. Így találtam rá a PIC18F44K22 IC-re, amely villamosan kompatibilis az előzővel, és sokkal jobban kezeli a lapváltást.

5.3.1. A kijelző vezérlése

A kijelző meghajtása a DA-val megegyezően történik. A vezérlés némileg eltér, bár a különbség jórészt a digitek számának köszönhető, az elv ugyanaz. Az egyes

karaktereknek előre definiált szegmenstáblázatot készítettem, az egyes programrészek ezekből táplálkozva építik fel az éppen kiírandó információt. Egy kiírás során mind a hat digit frissül. A megjelenítés szekvenciális, jobbról balra haladva újítja meg a latch-ekbe jutó információkat. Az enable jelekre elegendőnek bizonyult az egészen rövid, egyetlen NOP operandussal elválasztott időtartam is, az áramkörök beolvasták a busz tartalmát.

5.3.2. A DSA protokoll

A DSA kommunikáció kötött időzítésekkel dolgozik. Igyekeztem rövidre fogni a főciklust, hogy a várható kommunikációs időpontokban ne legyen fennakadás. A gyakorlatban a lejátszás során másodpercenként érkezik egy adatsomag, amikor a modul közli a lemez aktuális időinformációit. A protokoll a parancsok és a hozzájuk tartozó paraméterek segítségével a szabványban engedélyezett adatokat közölhetik. A busz kétirányú, egy parancs kiadása után *várhatóan* egy válasz is érkezik reakcióként. A fejlesztés során elég sok időm elment azzal, hogy bizonyos esetekben vártam a várható választ, de sajnos a beszállító által megvalósított protokoll-definíció nem teljesen egyezett a valósággal. A sötétben tapogatózás hetei után végül egy protokoll-analizátor segítségével visszafejtettem a modul reszponzív értékeit.

A modul felől a lejátszási parancsok visszaigazolásai, valamint a lemezre vonatkozó információk érkehetnek. Legfontosabb az idő kijelzése, hiszen ez szemlélteti a lejátszás folyamatát. Ennek dekódolási automatizmusát nem választottam külön a többi jelzéstől, ugyanakkor az időre vonatkozó információk közvetlenül a paraméteres léptető táblázat után kiírásra kerülnek. Ezzel biztosítható, hogy akár gyorskeresés közben is egyenletesen, szépen jelenjen meg az idő, főleg a másodperc kijelzése.

Az egyes állapotok nyomon követéséhez státusz flag-eket használtam. Ezek több mint négy bájtot töltenek meg, velük jelezhető többek között a tálca nyitott állapota, vagy a DSA kommunikációs hiba.

5.3.3. Egyedi belső protokoll

Az előlapi panelen található IC a DA-hoz hasonló módon dekódolja az RC-5 jeleket. Az információt eltárolja, majd a központi PIC felől érkező request után közli vele az érkezett parancs sorszámát. Az első verzióban egy validity és két párhuzamos adatvezetékkel definiáltam, amellyel négy parancsot, a PLAY, STOP, NEXT, PREV parancsot lehetett átvinni. A későbbi fejlesztés során azonban belevettem a gyorskeresés, a kijelzőkezelés és a repeat funkciókat is, amelyre már nem volt elegendő

a három vezeték ilyen módon történő felosztása. Új megoldásként egy könnyen továbbfejleszthető protokollt írtam, amely teljesen hordozható, órajeltől független, viszonylag gyors és szinte tetszőleges mennyiségű adat átvihető vele egy adott szekvenciában. A protokoll váza az alábbiak szerint néz ki:

Adó oldalon:

```

BSF          DAT
BSF          CLK          ;clk3a
BTFSC       REQ          ;req3a
GOTO        $-1
BCF         STATUS,C
RLF         CNT5,F
BTFSS       STATUS,C
BCF         DAT          ;bit3
BCF         CLK          ;clk3b
BTFSS       REQ          ;req3b
GOTO        $-1

```

Vevő oldalon:

```

bsf         REQ
waitclk3a:          ;clk3a bit3
btfss       CLK
goto        waitclk3a
bcf         REQ          ;req3a
waitclk3b:          ;clk3b
btfsc       CLK
goto        waitclk3b
bcf         STATUS,C
btfsc       DAT
bsf         STATUS,C
rlcf        IR_COMMAND,F ;bit3
bsf         REQ

```

Az órajel-függetlenséget a rövid idejű várakozások biztosítják, egyik IC sem lép tovább, amíg nem kap visszaigazolást a másik féltől. Az átvitel ugyanakkor így lehet a leggyorsabb, hiszen nincs szükség időalapú szinkronizációra, minden művelet maximum a két IC periódusának összegével történik. A fenti blokkokból én négyet raktam egymás után, így 16 parancsot lehet átvinni a buszon.

5.4. Mechanikai tervezés

Az Obelisk DT ugyanolyan acél házban kapott helyet, mint a család többi tagja, így a DA is. Az elő- és hátlap, valamint a doboztető és a gumilábak rögzítő furatainak helyzete minden darabnál megegyezik. A jelenlegi beszállító plazmavágással alakítja ki a lemezeket, így szinte bármilyen forma megvalósítható rajtuk. A DT esetében a kijelző és a loader tálcája igényelt nagyobb nyílást a ház elején, amelyet bonyolultabb stancolással kivitelezni, de a kialakításnál figyelembe vettem a kompatibilitást ez utóbbi módszerrel is, gondolva egy esetleges beszállító-váltásra.

5.4.1. A loader elhelyezése

A feldolgozó modul, a vezérlő egység és a trafó mellett már nem maradt volna helye a kiolvasó mechanikának, így a doboz belmagasságát is ki kellett használnom. Szerencsére a műanyag mechanika elegendően alacsony ahhoz, hogy magas távtartókra szerelve elférjen alatta a Mediatek modul. A megoldás egyik előnye, hogy a kiolvasó jobb mechanikai elcsatolással rendelkezhet az alaplemezről, megnövelve így a magasabb frekvenciájú rezgések csillapítását. Másrészt az előlapi dizájn is esztétikusan kialakítható, amely még az előzőnél is fontosabb szempont.

A mechanikát a doboz bal oldalára eltolva helyeztem el. Ezzel egyrészt helyet kaphat az előlap jobb oldalán a tervezett hat vezérlógomb, másrészt a user interface és a központi vezérlőpanel közötti szalagkábeleknek is jut elegendő hely. A mechanika magasságát 30 mm-es fém távtartó és a készülékek alján használatos gumilábbal állítottam be (5.10. ábra).

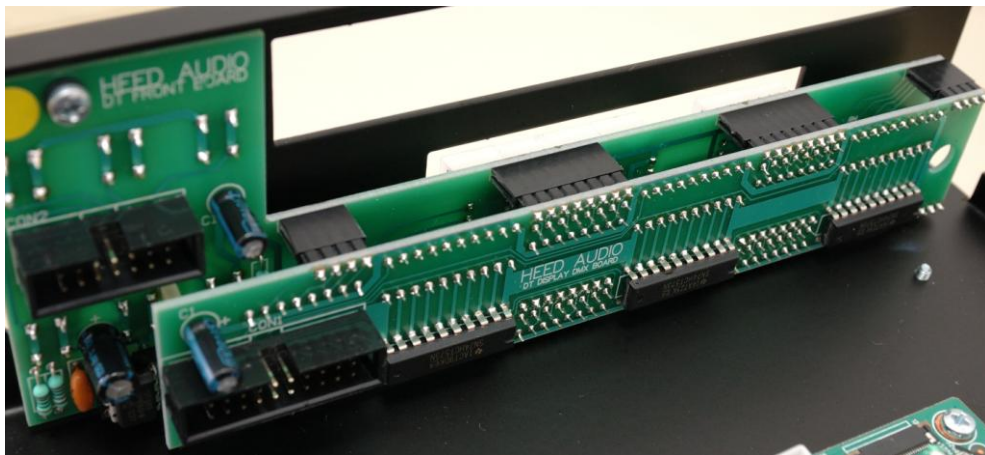
A két elem teljes magassága valamivel nagyobbra adódik, mint a mechanika ideális helyzete. Összeszereléskor az alsó csavarral kis mértékben össze kell préselni ezt a gumit, így nagyon pontosan beállítható a tálca előlapja a készülék előlapjához képest. További beállítási lehetőséget nyújt az alsó csavar számára kialakított ovális lyuk, amellyel az egész mechanika hosszirányban +/- 2 mm eltéréssel pozícionálható. Ezek az opciók a fémdoboz és az előlap gyártási tűrései miatt szükségesek, mert az erősen tükröző akril előlap bármely csekély tökéletlensége igen zavaró tud lenni. Jól beállítva a tálca előlapja szinte beleolvad a készülék elülső felületébe (ld. 1. melléklet).



5.10. ábra: A loader mechanikai felfüggesztése

5.4.2. Az előlapi user interface

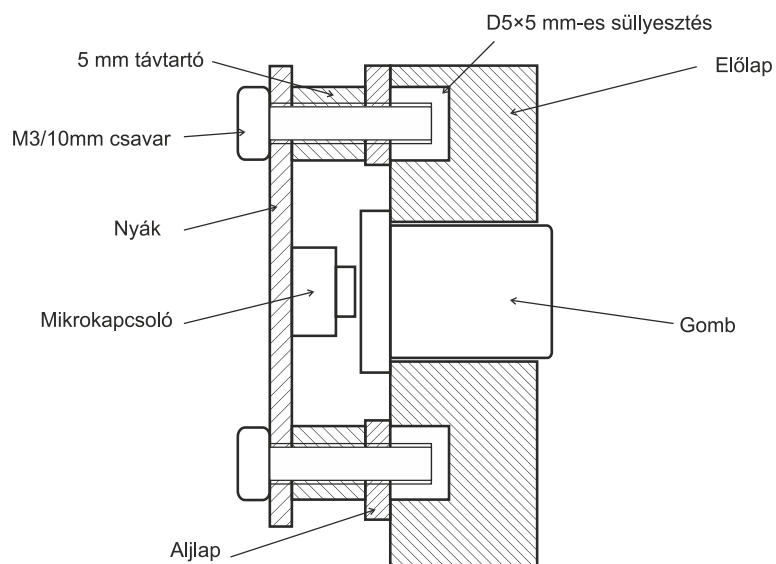
A mechanika helyzetéből adódóan az előlapi panel (5.11. ábra) számára maximum 36 mm-es magasság állt rendelkezésre a loader alatti részen. Ezen a helyen nem fért el a használni kívánt áramkör, ezúttal viszont nem változtattam a kapcsoláson, inkább a felületet dupláztam meg.



5.11. ábra: Az előlapi modul

A „szendvics”-NYÁK ugyan drágább és bonyolultabb, így viszont nem kellett kompromisszumot kötnöm a kapcsolat tekintetében. A két panelt villamos és mechanikai kapcsolatot is ellátó tűkesorok kötik össze. A megoldás több figyelmet kívánt, stabil pozíciót kellett biztosítanom a szalagkábel-csatlakozónak, hozzáférési lehetőséget hagyni az infravevő PIC-jének, valamint a felcsavarozáshoz átmenő furatokat elhelyezni a második panelen. Így a panel egy egységként kezelhető és szerelhető.

A modul 5 mm-es távtartókon nyugszik az előlap belső oldalára csavarozva. A mikrokapcsoló 4,3 mm-es magassága megadta azt a síkot, amelyre a gombot kellett pozicionálnom.



5.12. ábra: A nyomógombok szerelése

A 10 mm-es előlap megfelelő oldaltartást biztosít a tömör alumínium gombnak, amely pontos méretezéssel elegendően kevés axiális holtjátékot hagy az előlap és a mikrokapcsoló aktuátora között. A minőségi kapcsolásérzet fontos, ezért készülnek a készülékek vezérlőgombjai anodizált alumíniumból.

6. GYÁRTÁS-ELŐKÉSZÍTÉS, SPECIFIKÁCIÓK

6.1. DAC kártya

6.1.1. Beültetés

A kártya hibrid felépítésű, SMD és THT alkatrészeket is használ. A két típust a kártya két oldala között osztottam meg, könnyebbé téve így a felületszerelt elemek forrasztását, esetleges későbbi javítását. A beültetés sorrendje ezen vonatkozásban így tulajdonképpen tetszőleges lehet.

A két IC beforrasztása előtt a pákát földelni kell, ugyanis érzékenyek a sztatikus elektromosságra. Egyéb ESD védelem a tapasztalatok szerint nem szükséges.

A beültetést az alkatrészek magasságának növekvő üteme szerint kell végezni. Egyszerű asztali beültetésnél egyszerre csak egy típusú, keretes beültetésnél eltérő magasságú elemek is beültethetők a gyakorlati tapasztalatokra hagyatkozva, csökkentve így a gyártási időt. Az elektrolit kondenzátorok mindenképp az utolsó fázisban kerülnek szerelésre.

A kézi forrasztáshoz szükséges eszközök:

- Weller TCP-S 24V-os, 50W-os forrasztópáka
- PT-S7 és PT-B7 pákahegyek
- Sn99Cu1 No Clean forrasztóon 0,5 és 0,8 mm átmérőben
- Az SMD alkatrészekhez No Clean zselés folyasztószer
- hegyes ESD csipesz
- 1,5 mm-es ónszívó sodrat

A pákahegyek mind 7-es, vagyis 370°C-os változatok. Ez a gyári ajánlás szerint nem a legideálisabb az ólommentes forrasztáshoz, azonban a megfelelő forrasztóon megválasztásával és jó minőségű, gyanta alapú folyasztószer használatával az SMD alkatrészek jóval kisebb hőterhelést kapnak a beültetés során, minimalizálva így az ebből adódó meghibásodási lehetőséget. Ezzel összeköthető előny, hogy a NYÁK panel szintén kisebb hőterhelést kap, előfordul ugyanis, hogy egy gyengébb minőségű példány réz laminátuma nagyobb hő hatására egyszerűen leválik az üvegszál hordozóról.

Az SOIC tokozás beültetéséhez jómagam az alábbi módszert alkalmazom:

1. hozzáforsztom a panelhez a páka földelő vezetékét
2. felviszek némi zselés gyantát a pad-ekre
3. felónozzom az egyik szélső lábat
4. ráhelyezem az IC-t a panelre, ujjal vagy csipesszel lenyomva tartom
5. a helyes pozícióban tartva beforsztom az első lábat
6. beforsztom az átellenes sarokban lévő lábat
7. ha kevés volt a gyanta, kis hűlés után teszek még a lábakra
8. B7-es pákahegytel és 0,5 mm-es ónt használva, folyamatos mozdulattal végigforsztom az egyik, majd a másik oldalt, mindig a rögzített lábbal ellentétes saroktól kezdve

Kellő mennyiségű folyasztószert és ideális mennyiségű ónt használva a módszerrel tökéletes kötések lehet készíteni, az ón egyenletesen elosztható az egyes lábak között. Fontos megjegyezni, hogy ez a módszer SSOP tokozásnál is működik, amennyiben minimum két, maximum három pin szélességű pákahegyet használunk.

6.1.2. A működés vizsgálata

Az összeszerelt prototípus első vizsgálatát a következő pontban ismertetett eszközök segítségével végeztem. Az első revízió természetesen gondosabb elemzést kíván, a gyártás során nem kell az alábbi szempontok mindegyikét figyelembe venni. A vizsgálatkor a következő, örökérvényű támpontokat követtem:

1. tápfeszültségek vizsgálata
2. előzetes melegedés ellenőrzés
3. logikai jelek vizsgálata
4. bemeneti jelek ellenőrzése
5. kimeneti jelek ellenőrzése
6. üzemi változó körülmények ellenőrzése
7. be- és kikapcsolási tranziensek vizsgálata

A kártyán 24V, 5V és 3,3V feszültségek találhatóak. Ezek mérésére nem jelöltem ki külön pontokat, általában az adott feszültség stabilizátorának kimeneti lábain szoktuk vizsgálni. Ha nem történt hibás ültetés, a kívánt értékeknek +/- 5% pontossággal be kell állniuk. Eltérő lehet a helyzet, ha panelhiba vagy egyéb okból rövidzár van a NYÁK-on, ekkor rendszerint a stabilizátorok előtti ejtő ellenállás hővel vagy füsttel jelzi a megnövekedett áramfelvételt.

A további vizsgálathoz csatlakoztattam a Philips DVD-játszót, amelybe egy Arcam audio teszt CD-t helyeztem. A lejátszó bekapcsolás után folyamatos 0 jeleket

küld, amelyre a CS8416 rászinkronizálhat. Az RCA-kábel újracsatlakoztatásával vizsgáltam a hibajelző *AUDIO* és *RERR* lábak szintjét, amelyek a nem értelmezhető bemeneti jelek esetén a relé segítségével lenémítják a kimenetet.

A bemeneti jel vizsgálatát analóg oszcilloszkóppal végeztem, amely $1\text{ M}\Omega / 25\text{ pF}$ bemeneti impedanciával rendelkezik. Ez nem jelent számottevő eltérést a valós és a mért jelszint között, a jelalakot viszont megváltoztatja, bár esetünkben ez a kártya $75\ \Omega$ -os lezárása miatt nem lényeges.

A kimeneti analóg jel vizsgálatához a teszt CD első számát, a full scale, 1 kHz-es sztereó szinuszjelét használtam. A mérést spektrum-analizátoron, valamint analóg, dB skálázású, hangfrekvenciás feszültségmérőn is elvégeztem. Előbbivel harmonikus torzítás is mérhető, nagyjából 0,02% kijelzési pontossággal, amelyet az egyéb specifikus zavaró körülmények miatt nem tartottam releváns mérésnek. A műszerrel mérhető legnagyobb jel-zaj viszony 80-85 dB körül alakul, ezért a pontos, összesítő THD mérésre nem alkalmas.

A kimeneti analóg szűrő vizsgálata egyszerűen elvégezhető a CD-n található négyszögjellel. A kialakult túllövések és hullámozás egyedi jellege egyértelműen mutatja a megfelelő működést és a helyes beültetést. A négyszög szimmetrikus mintázata a DAC IC-be épített FIR-szűrő működésére utal, ahol a négyszög lefutó éle előtti pozitív, egyre erősödő hullámozás a negatív egységugrás pre-echoja, a válaszként adott $\sin x/x$ függvény csúcspont előtti oldala. A két pozitív csúcspont közötti rezgés burkolójából lehet következtetni az analóg szűrők helyes, tervezett beállítására.

Bekapcsolás után a kimenet enyhe DC szintemelkedést mutat, amely a $10\ \mu\text{F}$ -os kimenő kondenzátornak köszönhetően elegendően lassú ahhoz, hogy ne okozzon gondot a rendszer további elemeinek, sőt, zavaró mértékű pattanás sem hallatszik.

A tápfeszültség csökkenésekor a DAC chippek többsége egy ponton átvált nem determinisztikus működésre. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy digitális zajt, zizegést, füttyülést generálnak. A jelenség vizsgálatához jó partner a Q-PSU tápegység, a beépített $40.000\ \mu\text{F}$ szűrés lassú kisülése elegendően hosszú időt biztosít a művelethez. A feszültség csökkenésekor jól látható az IC kimenetén megjelenő zaj, a némító relé azonban még előtte lekapcsol, így a kártya kimenetére már semmi sem kerül belőle.

A mérések során úgy ítélt meg, hogy a kártya tökéletesen elvégzi a tervezett feladatot. Egyedüli módosítást a kimeneti analóg szűrőn végeztem, amelyet hosszas hallgatóság után véglegesítettem. A kialakult 42 kHz-es felső törésponti frekvenciája nem szól bele érdemben a működésbe.

6.1.3. Ellenőrzés, bemérés

A kártya viszonylag egyszerű felépítésű, nem igényel gyártásközi ellenőrzést. A beültetett panel nem igényel programozást sem, így beültetés után gyakorlatilag egy elkészült terméknek minősül. A sorozatgyártás során elvégzendő beméréshez az alábbi eszközök szükségesek:

- Dactilus mérőNYÁK
- 2×30V-os Q-PSU tápegység
- S/PDIF kimenetes CD- vagy DVD-játszó
- Kétsugaras oszcilloszkóp
- Hangfrekvenciás feszültségmérő (lehetőleg analóg, normál és dB skálás)
- Kézi multiméter

A jelforrás ebben az esetben nem lehet kizárólag az USB kártya vagy a TOSLINK vevő, ugyanis ezek jelszintje magasabb, mint az S/PDIF szabványban meghatározott amplitúdó. A jól bejáratott DVD-játszónk meglehetősen rossz minőségű, alacsony jelszintű jelet szolgáltat, így ellenőrizhető a kártya szabványos vevőképessége.

Maga a mérés indikálás jellegű, pontos értékekre és jegyzőkönyvezésre nincs szükség. A specifikáláshoz természetesen kiterjedtebb műszerezettséget használtam, beleértve egy hangfrekvenciás FFT analízátort is.

6.1.4. Specifikációk

A készülékek beméréséhez az alábbi eszközök álltak rendelkezésemre:

- Axiomet AX-100 digitális multiméter
- Tektronix 465B analóg oszcilloszkóp
- Rigol DS1052E digitális oszcilloszkóp
- Pont PSA-100 geológiai spektrum-analízátor
- Levell hangfrekvenciás mikrovoltméter
- Philips DVD-játszó
- PC és Macintosh számítógépek
- egyedi mérőpanelek és tápegységek

A sorozatban gyártott példányok mindegyike megfelel a *6.1 táblázatban* szereplő adatoknak.

6.1. táblázat

Bemeneti formátum:	S/PDIF (0,5 – 5 V _{pp})
Mintavételi frekvencia:	32 / 44.1 / 48 / 96 / 192 kHz
Felbontás:	max. 24 bit
Kimeneti jelszint:	1,21 V _{rms} full scale
Frekvencia-átvitel (+/- 0,2 dB, 44,1 kHz):	3 – 20 kHz
Teljes harmonikus torzítás:	< 0,02%
Jel-zaj viszony (súlyozatlan, 0-26 kHz):	91 dB
Méret:	86 x 46 x 16 mm
Tápellátás:	készüléken belül 2 x 24 V

6.2. USB kártya

6.2.1. Beültetés

A kártya nagymértékű integrációval bír, így annyira kicsiny fizikai méretű alkatrészekből áll, amelyek kézi beültetése nem lehetséges. A feladat jó részét egy külső beszállítóra bíztuk, ők végzik a teljes SMD szerelést. Az egyoldalas kialakításnak köszönhetően ez meglehetősen olcsón megoldható.

Az összesen hat darab THT alkatrész, a tápválasztó relé és meghajtó fokozata, valamint a két túsoros rendkívül egyszerűen és gyorsan, kézi módszerrel beültethető. A pákát itt is földelni kell a panelen kijelölt ponthoz.

6.2.2. Programozás

A firmware beírásához egy egyedi panelt terveztem, amely mintegy lábkiosztás-konverterként funkcionál a kártya és az XMOS XTAG2 debug adapter között. A művelethez két USB kábelt kell csatlakoztatni, majd az XMOS fejlesztőkörnyezet parancssori ablakában beírni a megfelelő utasítást. A kapcsolódás és az eszköz felprogramozása ezután automatikusan megtörténik, használata nem igényel speciális tudást, bárki által elvégezhető.

6.2.3. Ellenőrzés

Az ellenőrzést PC segítségével hajtjuk végre. A kártya egy Obelisk DA vagy Dactilus 3 készülékbe installálva vizsgálható. A számítógéphez csatlakoztatva a kártya A jelű LED-je jelzi a felépített adatkapcsolatot és az enumeráció sikerességét, a B LED pedig a sikeres hangátvitelt. Alapesetben folyamatos néma jel küldésével működik a rendszer.

A méréshez tetszőleges hanglejátszó program használható. A művelethez készítettem egy 1 kHz-es és egy 10 kHz-es szinuszt, valamint egy 1 kHz-es négyszögjelet szolgáltató hangmintát, mindegyiket 44,1 és 48 kHz-es mintavételi frekvenciával. A kétféle változat mindegyikét ki kell próbálni a vizsgálat során, ugyanis így ellenőrizhető a kártyán található két oszcillátor helyes működése. A D/A konverter analóg kimenetét oszcilloszkóppal ellenőrizve megállapítható a helyes működés.

A tapasztalatok alapján az USB csatlakoztatás nem minden esetben sikeres. Ennek egyik oka rendszerint valamilyen zavar, kontakt vagy PC host eredetű probléma. A kártyák között – valószínűleg az USB transceiver gyártási szórása miatt – némi különbség tapasztalható a sikeres csatlakoztatások aránya között. A mérés során így minimum 10-szer újra fel kell építeni a kapcsolatot a kábel kihúzásával és bedugásával. Egy-két sikertelen kapcsolódás még elfogadható arány, ennél nagyobb rátánál a kártya esetleg további vizsgálatra szorul, de rendszerint selejtesnek minősül.

6.2.4. Specifikációk

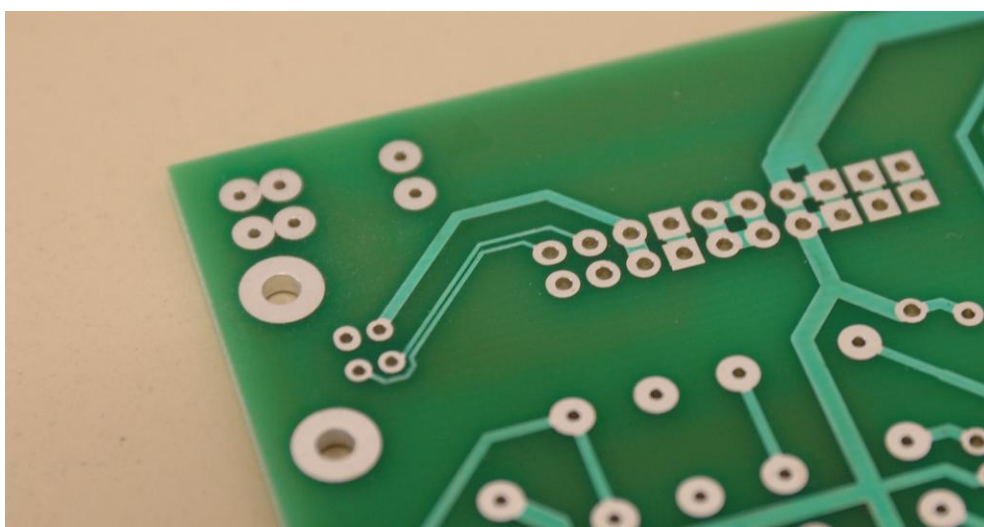
6.2. táblázat

Bemeneti formátum:	USB Audio 2.0 aszinkron / 1.1
Mintavételi frekvencia:	32 / 44.1 / 48 / 88.2 / 96 / 176.4 / 192 kHz
Felbontás:	max. 32 bit
Kimeneti formátum:	S/PDIF
Kimeneti jelszint:	3,3 V _{pp}
Méret:	84 x 46 x 16 mm
Tápellátás:	készüléken belül 5V / USB 5V

6.3. Obelisk DA

6.3.1. Beültetés

A DA két panelből áll, mindegyik kétoldalas NYÁK-ra épül. A beültetésre az általános elvek vonatkoznak, melyekről a DAC kártyánál tettem említést. Külön figyelmet kíván a hátlapi csatlakozók beültetése, ezeket a panelre szorítva, mechanikailag stabil pozícióban kell beforrasztani.



6.1. ábra: USB busz a panelen

Az USB csatlakozás rendkívül vékony vezetősávval rendelkezik (6.1. ábra). Ez egy esetleges gyengébb laminálású panelnél felválhat a hordozóról, ha sokáig tart a forrasztás. Az USB csatlakozó beültetését így mindig a rögzítőfülekkel kell kezdeni, ezután lehet a négy kontaktust beforrasztani.

Az előlapi panel esetén a mikrokapcsolók pontos helyzetére kell ügyelni, a NYÁK-ba bepattintva és erősen lenyomva ellenőrizhető a megfelelő felfekvés. A PIC a felprogramozása után a helyére nyomható. Az infravevő lábát 90°-ban meg kell hajlítani, hogy a tokozás a panelen jelölt helyre kerüljön.

6.3.2. Mechanikai előkészítés és szerelés

A DA hátlapjának előkészítése a furatok menetelésével kezdődik, M3-as menetfúró használatával. Ezután az elektromos csatlakozók közül az RCA-t, a BNC-t és a hálózati csatlakozót, valamint a hálózati kapcsolót kell felszerelni. Az IEC aljzat és a

rocker kapcsolót az előzetesen elkészített sarus kábelekkel össze kell kötni, ügyelve, hogy a 25 illetve 40 mm-es zsugorcsonvek a helyükre kerüljenek. Ekkor kell a szemes földelő vezetéket is a helyére illeszteni.

Az aljlap előkészítése a menetelés után a gumilábak felszerelésével folytatódik. A megfelelő helyekre 12 mm-es távtartók kerülnek. Az egyik távtartó alatt a doboz festékrétegét el kell távolítani, hogy villamos kontaktus legyen a készülékhez. Ezen a ponton a távtartó és a doboz közé egy kívül fogazott alátét is kerül (6.2. ábra), hogy biztosítsa a megfelelő kapcsolatot.



6.2. ábra: Távtartó villamos kapcsolattal

A beültetett főpanelre a négyes RCA és a TOSLINK csatlakozók furatain keresztül rögzíthető a szerelt hátlap. A bemeneti RCA és BNC csatlakozókat 7 cm hosszú, 0,25 mm² keresztmetszetű vezetékekkel, a csatlakozó oldalán 5 mm-es zsugorcsonvél borítva be kell kötni.

A transzformátorokat a mellékelt szerelvényekkel a helyükre kell csavarozni, majd a szekunder vezetéseikre négy pólusú panelcsatlakozót erősíteni. A trafók primer vezetéseiket egy közös, 8 mm-es PVC szigetelőcsővel kell burkolni, a közösített végekre pedig 4,8 mm-es kése csatlakozó sarukat sajtolni.

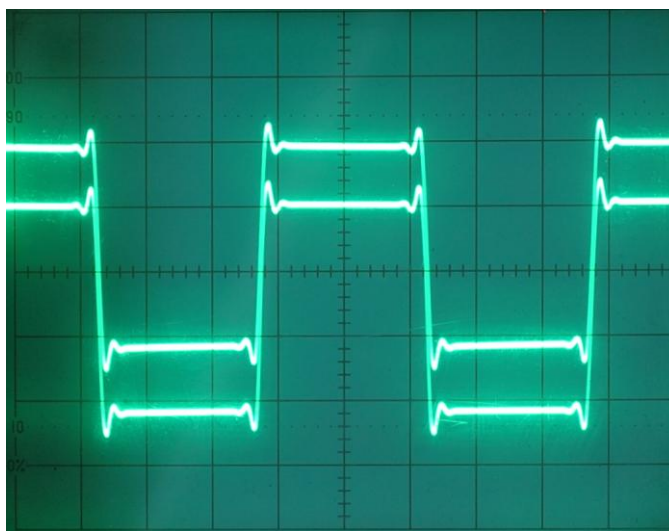
Az előlapot négy csavar tartja a helyén. A felcsavarozás előtt be kell helyezni a három nyomógombot a furataikba. Előfordul, hogy az előlapok tág, 9 – 11 mm vastagság között kerülnek legyártásra. Hogy ne lógjon ki túlságosan, vagy épp ne tűnjön el az előlap mélyén, kétféle hosszúságú nyomógombot terveztem. A végleges felcsavarozás előtt így ellenőrizni kell a gombok kiállását, és ha szükséges, kicserélni őket a másik méretre.

A hátlappal szerelt panelt becsavarozva, a trafókat bekötve a hálózati kapcsolóba, a kártyákat behelyezve a készülék készen áll a mérésre.

6.3.3. Ellenőrzés, bemérés

A készülék méréséhez 230 V-os vagy USA verzió esetén 115 V-os hálózati feszültség, oszcilloszkóp, DVD-játszó, PC, kézi multiméter, távirányító és hangfrekvenciás feszültségmérő szükséges.

Első bekapcsoláskor az „1” karakternek kell megjelenni. A FEL és LE gombokkal és a távvezérlővel is végig kell léptetni a csatornákat. A kijelző D gombját is ki kell próbálni. Ezután következhet a mérőjeles vizsgálat, a bemenetek mindegyikét a megfelelő jellel kipróbálva, hasonlóan a kártyáknál ismertetett módon. Az analóg kimeneti jelet a direkt és az erősített kimeneten is figyelni kell. A CD dedikált számaival vizsgálható az oldalhelyesség is, így kizárható az esetleges NYÁK-zárlat. A négyszögjel jelalakjának vizsgálatával megállapítható az analóg fokozat átvitelének, szűrőzésének helyessége.



6.3. ábra: Négyszögjel az átalakító kimenetén

6.3.4. Specifikációk

6.3. táblázat

Bemeneti formátum (RCA, BNC):	S/PDIF
Bemeneti formátum (TOSLINK):	S/PDIF optikai
Bemeneti formátum (USB):	USB Audio 2.0 aszinkron / 1.1
Mintavételi frekvencia:	32 / 44.1 / 48 / 96 / 192 kHz
Felbontás:	max. 24 bit
Kimeneti jelszint (Direct, full scale):	1,21 V _{rms}
Kimeneti jelszint (Buffered, full scale):	2,5 V _{rms}
Frekvenciaátvitel (+/- 0,2 dB, 44,1 kHz):	3 Hz – 20 kHz
Teljes harmonikus torzítás:	< 0,02 %
Jel-zaj viszony (súlyozatlan, 0 – 26 kHz):	91 dB
Méreték:	22 x 8,5 x 32,5 cm
Tápellátás:	115 vagy 230 V, max. 15 W
Tömeg:	4 kg

6.4. Obelisk DT

6.4.1. Beültetés

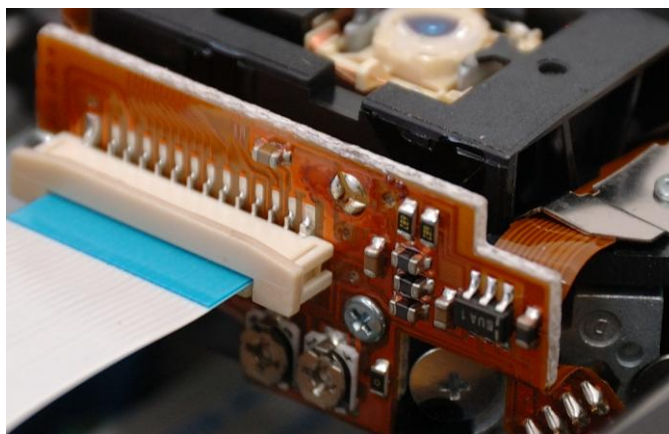
A DT esetében az előlapi panel kíván különös figyelmet. A vezetékezés sok helyen igen vékony, könnyű megsérteni a huzalozást. A kijelzőket egy sablon segítségével kell beültetni, hogy azok a lehető legmagasabban álljanak a panel felett, minimalizálva így a kijelző és az előlap közötti távolságot. Beültetés előtt azonban célszerű ellenőrizni őket, mert előfordul, hogy a szegmensek nem egyforma fényerővel világítanak, vagy nem egyenletes a színük.

6.4.2. Mechanikai előkészítés és szerelés

A dobozt érintő előkészítő munkálatok a DA-val hasonló módon történnek. A Mediatek modul aljára, a megadott pontokra rá kell forrasztani az S/PDIF kimenet vezetékét. A panel ezután beszerelhető az aljlapba. A fő vezérlőpanel szintén

becsavarozható, nem elfelejtve a TOSLINK csatlakozó hátlapi rögzítését. Az előlapi vezérlőmodul szintén berakható, célszerűen a programozott PIC-kel együtt, bár ez később is installálható.

A következő lépés a loader előkészítése. Az optikai egységek rendkívül érzékenyek a sztatikus elektromosságra, így a szállításhoz egy forrasztott rövidzár (6.4. ábra) nyújt védelmet a káros hatások ellen.



6.4. ábra: Az OPU eltávolított ESD védelme

A rövidzárat ónszívó szalag vagy ónszippantó segítségével el kell távolítani. A loaderre ezután felszerelhetők a 30 mm-es távtartók, egy-egy műanyag alátéttel elválasztva mind a csavar, mind a távtartó oldaláról. A szalagkábeleket be kell kötni a feldolgozó modulba, majd a loader lazán a helyére csavarozható a már ismertett gumilábas megoldással. A végső pozíció beállítása felszerelt előlappal és doboztetővel lehetséges. A tálca előlapját is akkor kell szilikon ragasztóval rögzíteni.

6.4.3. Ellenőrzés, bemérés

A DT esetén gyártásközi ellenőrzés is szükséges, ami az előlapi modult érinti. Gyakori hiba, hogy a digitek nem működnek rendesen, egyes szegmensek halványabbak, vagy együtt világítanak egy másikkal. Szinte minden esetben a NYÁK gyártási hibája áll a háttérben. Előfordult, hogy a tact kapcsolók rosszak voltak, ezek minőségi Alps márkájúra cserélése megoldotta a problémát. A panel vizsgálatához egy átalakított fő vezérlőpanel használatos, amelyre írtam egy egyedi programot a kijelzők és a nyomógombok ellenőrzésére.

A felprogramozott PIC-ekkel és szalagkábelekkel ellátott készülék alkalmas a mérésre. A tápot ezúttal úgy gondoltam, célszerű ellenőrizni már a bemeneti oldalon, ehhez labortáp segítségével 2x9 V feszültséget kell adni a négypólusú panelcsatlakozóra. A táp műszerével mérve az áramfelvétel nem haladhatja meg egyik oldalon sem a 2,5 A-t. Előfordul, hogy a JST-csatlakozós, külső beszállító által gyártott kábelekben, amelyek a fő vezérlőpanel és a jelfeldolgozó panel között vannak, keresztbe kötött szálak találhatók. Ha ezek nem derülnek ki az előzetes ellenőrzéskor, és éppen a táp kábelkorbácsa hibás, ez egy jó módszer a hiba kiderítésére.

A DT bemérése viszonylag hosszadalmas. Villamos szempontból az előbb említett táp vizsgálat és a kimenetek ellenőrzése elegendő. Utóbbi egy csatlakoztatott DAC-kal kell történjen, nem elegendő a jelet oszcilloszkópon vizsgálni.

Ami a szoftveres működést illeti, más a helyzet. Igen bonyolult a vezérlőprogram, és rengeteg változó paramétert kell kordában tartani. Arra gondolnánk, hogy ha a PIC írása és verifikálása sikeres volt, a beleírt programnak tökéletesen kell működnie. Ezzel szemben előfordul, hogy egyes programrészletek és funkciók nem stabilan működnek, nem a várt reakciót nyújtják.

Ezen hibák kizárására minden funkciónak és minden feltételes elágazásnak kijelöltem egy mérési pontot, így a gondosan sorrendbe állított parancsokkal minden, a használat során előforduló lehetőség szimulálható. Egy tetszőleges CD lemezt behelyezve a művelet az előlapi gombok és a távvezérlő használatával elvégezhető.

6.4.4. Specifikációk

6.4. táblázat

Támogatott lemezformátumok:	CD-DA, CD-R, CD-RW (8, 12 cm)
Támogatott audio formátumok.	CD audio, HDCD, MP3
Kimeneti formátum:	S/PDIF (RCA, TOSLINK)
Mintavételi frekvencia:	44.1 kHz
Felbontás:	16 bit
Méreték:	22 x 8,5 x 32,5 cm
Tápellátás:	115 vagy 230 V, max. 15 W
Tömeg:	3,9 kg

7. ÉRTÉKELÉS

7.1. Termékpozícionálás

7.1.1. Meghallgatás, kvalifikálás

A hifi készülékek tesztelésének velejárója a meghallgatás, hiszen végső soron azért születnek, hogy zenét hallgathassunk a szobánkban. A magasabb színvonalú, high-end készülékek nem csupán a csillogó technikai paraméterekkel, de alkotójuk zenéhez fűződő viszonyával, egyéni látásmódjával is megajándékozzák a hallgatót. Az egyes gyártók rendszerint jól meghatározható hangzásvilággal rendelkeznek, egy részük első hallásra is különbözik a többitől, míg mások termékeit hallgatva hosszabb távon alakul ki bennünk a márkára jellemző érzés.

Egy új prototípus meghallgatása nem ötperces feladat, és sosem egyéni munka. Olyan emberek bevonása szükséges, akik hasonlóan gondolkodnak a világról és a zenéről, értik a cég és az alkotók világszemléletét. Az új készülékekből rendszerint több prototípus készül, ezekkel különböző rendszerekben, különböző akusztikai környezetekben, más és más ember él együtt néhány hétig, hónapig. Az ő véleményük segít a finomhangolásban, segítségükkel szélesebb körben népszerű lehet a termék.

Jómagam igen változatos rendszerekben próbáltam ki az új készülékeket. Saját márkás és idegen eszközökkel is párosítottam őket, de természetesen az előbbit nagyobb súllyal vettem számba. A teszteléshez használt típusok a teljesség igénye nélkül:

- *CD-játszók:* Roksan Caspian M series-1 CD, Cambridge Audio 840C, Meridian 508, Naim CD 5i
- *LP-játszó:* Roksan Xerxes 20 + Artemiz hangkar + ZYX Airy 3 hangszedő
- *D/A konverterek:* Cambridge Audio DacMagic, Naim DAC, Arcam Delta Black Box, dCS Debussy
- *Erősítők:* Heed Obelisk Si integrált, Obelisk PS és PM végfokok, PRE előfok, Roksan Caspian M series-1 integrált, Naim NAC 32-5 előfok és NAP-250 végfokok, Auralic Taurus
- *Hangfalak:* Heed Enigma és Envoy, B&W DM602 S3, Royd Sintra, ProAc Response D2, Verity Audio Finn

Sajnálattal vettem tudomásul, hogy a Xerxes lemezjátszó nyújtotta hangélményt egyik digitális forrás sem tudta megközelíteni. Ennek ellenére jól látható előrelépést

mutat az Obelisk DA-DT páros az analógosabb irányba, kissé elszakadva a mezőnytől. Bármelyik összeállítást vizsgálva a kettős jobban teljesített, mint a tesztelt integrált CD-játszók. A DA önállóan jobb volt a többi D/A konverternél, sosem tolakodó, mégis friss hangzással. A DT-nél úgy éreztem, felért az általam referenciaként tekintett Meridian szintjére, és ha nem is jobb annál, hozza azt a természetes nyugalmat, amit úgy szeretek.

Az új készülékek gazdagabb, mélyebb élményt tudnak szerezni, mint a piacon kapható versenytársaik. Árazásuk ennek figyelembevételével történt, de semmiképp sem kívántunk egy szűk réteget megcélzó presztízsterméket létrehozni. A cél továbbra is az, hogy szélesebb körben elérhető legyen a jó minőség. Ennek megfelelően tudásához mérten alulárazva, viszont az Obelisk-család árszegmensét kissé kitégítve pozícionáltuk a készülékeket.

7.1.2. Piaci reakciók

A két újdonság megjelenésével a Heed belépett a „nagyok” territóriumába. Hamar megtalálták az utat a sajtó képviselőihez, és máris számos teszt született róluk, melyek a legnagyobb szakújságok hasábjain olvashatók, együtt a tradicionális angol hi-fi gyártók termékeivel. Ismertté vált és válik a márka, és ez az eladásokban is megmutatkozik. Az időarányos eladási adatokat nézve az Obelisk DT a cég egyik legjobban fogyó terméke.

Számos kereskedő csak úgy vállalja egy márka képviselését, ha van a gyártónak egy komplett lánc, beleértve a CD-játszót is. A DT megszületésével új kereskedelmi lehetőségek nyíltak meg, szélesebb körű disztribúcióval, nagyobb piaci részesedéssel. A digitális készülékek népszerűsége a többi produktum eladásait is növelte, és jótékony hatással volt a kisebb és olcsóbb termékek forgalmára is.

7.2. Továbbfejlesztési lehetőségek

Egy termék sosem készül el teljesen. A fejlesztés során elérkezik egy pillanat, amikor úgy döntünk, hogy minden kompromisszum elért egy elfogadható szintet, és piacra kerülhet a produktum. Nem fog mindenkinek megfelelni, mindig lesz olyan, akinek hiányzik egy funkció, vagy fél centi híján nem fér be a kedvenc könyvespolcába. A megjelenés időpontjában már rendszerint látom, milyen hiányosságai vannak a terméknek, merre induljak tovább a tökéletesítéssel.

7.2.1. Obelisk DA

A DA esetében az USB jobb megoldásán törtem a fejem. A következő verzióban ennek belső tápellátását teljesen különálló stabilizátorral és külön földeléssel fogom

kialakítani, egy saját szekunderrel a trafóról. A kimenetét a DT-ben lévő transzformátoros megoldással csatolnám az S/PDIF sínre, ha a tesztek jó eredményt hoznak. Kisebb zajt, biztosabb működést és jobb hangminőséget várok a megoldástól.

A kártyarendszer mellőzésével több lehetőség is kinyílna. Meg lehetne alkotni egy egyedi összeköttetést a DT és a DA között, akár az S/PDIF-től eltérő átvitelrel. Az egy panelre integrált megoldás gyártási és tervezési könnyebbséget jelentene, és a digitális részen teljesen felületszerelt technológiával dolgozva ideálisabb jelutakat választhatnák.

7.2.2. Obelisk DT

A DT előlapi vezérlőpanelje meglehetősen bonyolult, számos hibalehetőséget nyújtva mind a beszállítói, mind a gyártói oldalon. A közeljövőben áttervezem a kijelzőt, hogy minimalizáljam a NYÁK és a hétszegmens modulok gyártási hiányosságából eredő hibákat, miközben igyekszem megőrizni a mostani látványt. A LED-kijelző védjeggyé vált, más rendszerűre módosítani nem volna szerencsés.

A DSA protokoll kihagyásával, és a Mediatek modul direkt vezérlésével valószínűleg csökkenteni lehetne a készülék válaszidejét. A lejátszás kezdetekor tapasztalható várakozás alighanem a puffermemória feltöltése miatt van, így azon nemigen lehet változtatni, azonban a direkt szervó parancsok használatával a tálcanyitás talán gyorsítható. Úgy érzem, ez rengeteg munka volna csekély nyereséggel, így ezt a fejlesztést nem forszírozom.

A CD-lejátszás funkciói közül csak néhány alapvető használható ki a most használt távvezérlővel. A DT firmware-ét ugyan felkészítettem további néhány utasítás végrehajtására – amelyek más, RC-5 rendszerű távvezérlővel elérhetők -, de a későbbiekben egy új távirányító használatával be lehetne venni a listába a random lejátszást, valamint a változatos időkijelzési lehetőségeket is.

7.3. Összegzés

A zene alapvető emberi szükséglet. Segítségével elmondható az, ami az anyanyelvünkkel nem kifejezhető, érzelmeket gerjeszt és közvetít, történeteket mesél. Nem egyszerű olyan csatornát találni, amelyen keresztül nem változik meg a tartalma, az elektronika világába átvezetve talán nem is lehetséges. Egy zenelejátszó eszköz tervezésekor meg kell ragadni gondolatainkban azt a hangzást, amelyet el kívánunk érni a készülékeinkkel, és kiemelni a zene számunkra fontos részeit.

A zene alapja a hangok megfelelő időbeli távolsága. A digitalizált zene esszenciális tulajdonsága a pontos időalap, ennek legcsekélyebb hibája is a hangzás

felborulásához vezet. A CD lemezen rögzített műsor fizikai megjelenésében független az időtől, azt a lejátszás során kell újraalkotni, mégpedig sokkal pontosabban, mint azt tesszük az analóg LP-nél a stabil fordulatszámmal. Az Obelisk DT számára egy olyan megoldást találtam, amely egy nagy lépéssel közelebb került a hangok tökéletes időzítéséhez.

Nem volt céloom, hogy beszálljak a manapság oly' divatos számháborúba, és elérjem a lehető legjobb mérhető villamos paramétereket. Nem akartam egy olyan D/A konvertert építeni, amelyet a katalógus-adatai alapján rangsorolnak. A hosszú idő alatt tökéletesített analóg szűrők és erősítő fokozatok hangolásakor én zenét hallgattam, mert én nem az oszcilloszkóp képernyőjének tervezem a készülékeket. Úgy gondolom, hogy a rendelkezésemre álló eszközökkel kialakítottam egy olyan optimumot, amely minden aspektusában vizsgálva megállja a helyét.

Sokan a szakmában úgy gondolják, hogy készülékeket kell tervezni, amik majd elvégzik a munkát. Jómagam úgy gondolom, hogy feladatokat kell ellátni, problémákat kell megoldani, amelyek a jelenlegi tudásunk szerint egy-egy kézzel fogható eszközben testesülnek meg. Külön választ kíván a CD-re rögzített anyag kinyerése, és másikat a digitális hang analóggá alakítása. Az eddig tanult és megtapasztalt tudásommal megoldottam a feladatot, és két értékes készülékkel bővítettem a világ sokszínűségét. De amit ennél is fontosabbnak tartok, úgy hiszem, sikerült rájönnöm a CD-lejátszás lényegére, boldog 74 percekot szerezve ezzel magamnak és több száz és ezer embertársamnak.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Tarnóczy Tamás: *Hangnyomás, hangosság, zajosság*
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984, pp. 145-154
- [2] Jákó Péter: *Digitális hangtechnika*
Kossuth Kiadó, Budapest, 2005.
- [3] IEC 60908: *Audio recording – Compact disc digital audio system*
International Electrotechnical Commission, 1999. 02.
- [4] SANYO *SF-HD62FV Optical DVD Pickup Specifications*
Sanyo Electric Co., Ltd. 2004.12.27.
- [5] Reiss, Joshua D.: *Understanding sigma-delta modulation*
Journal of the Audio Engineering Society, vol. 56, No. 1/2, 2008, p. 52
- [6] Cirrus Logic *CS8416 192kHz Digital Audio Interface Receiver* „datasheet”
Cirrus Logic, Inc., 2007.08.
- [7] Wolfson *WM8727 24-bit 192kHz stereo DAC* „production data”, rev 4.7
Wolfson Microelectronics PLC, 2007.10.
- [8] *LM317L 3-Terminal 0.1A Positive Adjustable Regulator* „datasheet”, rev 1.1.0
Fairchild Semiconductor Corporation, 2002.
- [9] Szekér Károly: *Bode-diagrammok*
BMF-KVK oktatási segédanyag, Budapest, 2001.
- [10] <http://www.xmos.com>
- [11] Tietze, U., Schenk, Ch.: *Analóg és digitális áramkörök*
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.
- [12] Takamisawa *Miniature Realy RY Series* „datasheet”
Fujitsu Components America, Inc., 2004.07.12.
- [13] Philips *Remote Control System RC-5 Including Command Tables*
Philips Semiconductors, 1992.12.
- [14] *Pulse Transformers For Digital Audio Data Transmission* „datasheet”
Pulse Engineering, Inc., 2006.02.

IRODALOMJEGYZÉK

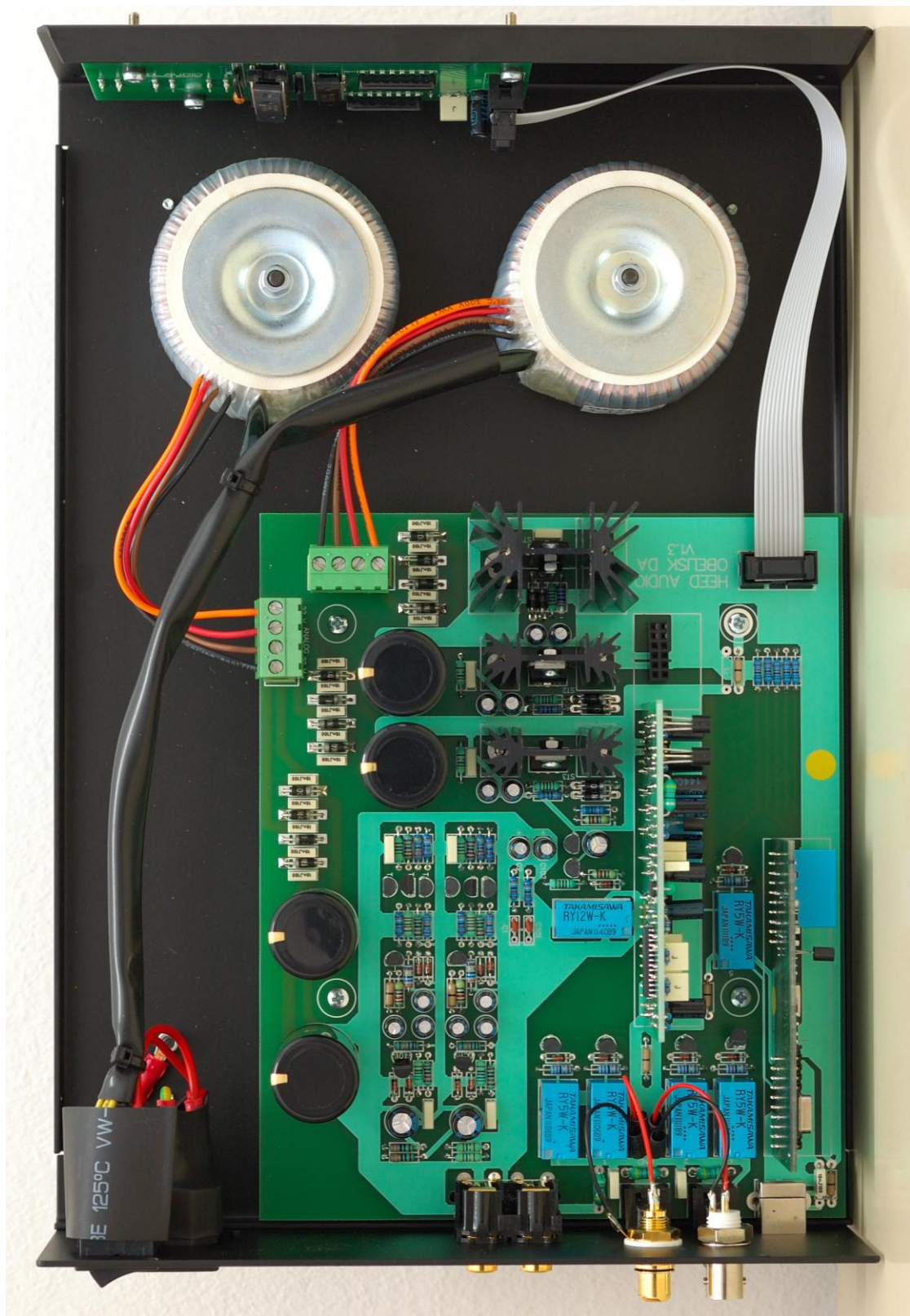
További felhasznált irodalom:

- Dr. Wersényi György: *Bevezetés a stúdiótechnikába „SZE jegyzet”*
SZE-MTK, 2008.
- IEC 60065:2005: *Audio- video and similar electronic apparatus. Safety requirements (Edition 7.1)*
International Electrotechnical Commission, 2005. 12.
- IEC 60958-1: *Digital audio interface – Part 1: General (Edition 3.0)*
International Electrotechnical Commission, 2008. 09.
- Ámonné, Mohos P., Kármán T., Zsom Gy.: *Digitális technika II. „KKMF jegyzet”*
KKMF 49273/II, 1997
- Baker, Bonnie: *A Baker’s dozen: real-world analog solutions for digital designers*
Elsevier Inc., Burlington, USA, 2005
- Kester, Walt: *Data conversion handbook*
Analog Devices, 2005
- Travis – Lesso: *Specifying the jitter performance of audio components*
AES Convention Paper, 2004
- Lesso – Magratz: *An ultra high performance DAC with controlled time domain response*
AES Convention Paper 6577, 2006
- Plassche, Rudy van de: *CMOS integrated analog-to-digital and digital-to-analog converters (second edition)*
Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003
- Waltari, Mikko E. – Halonen, Kari A.I.: *Circuit techniques for low-voltage and high-speed A/D converters*
Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002

1. melléklet: Heed Obelisk DA és DT



2. melléklet: Heed Obelisk DA belső



3. melléklet: Heed Obelisk DT belső

