

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

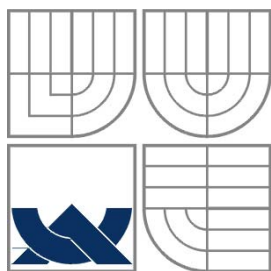
D/A PŘEVODNÍK PRO CD/DVD PŘEHRÁVAČ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

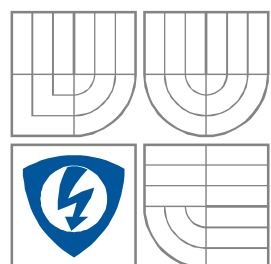
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH VOMOČIL

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

D/A PŘEVODNÍK PRO CD/DVD PŘEHRÁVAČ D/A CONVERTER FOR CD/DVD PLAYER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH VOMOČIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

BRNO, 2008

Tato strana nahrazuje originál zadání Bakalářské práce.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Vojtěch Vomočil
Bytem: Lidická 311, Litomyšl, 57001
Narozen/a (datum a místo): 22. května 1985 v Litomyšli

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce
- jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: D/A převodník pro CD/DVD přehrávač

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 6. června 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o návrhu a konstrukci D/A převodníku pracujícího v oblasti audio signálů s digitálním rozhraním SPDIF. V teoretické části je obsažen návrh blokové struktury modulu D/A převodníku s předpokladem realizace pomocí přijímače digitálního signálu Cirrus Logic CS8414 a D/A převodníku CS4334. V praktické části je návrh detailního obvodového schéma převodníku, návrh desky plošných spojů a stanovení konstrukčních podkladů pro realizaci. Dále je zde pojednáno o samotné konstrukci a oživení modulu D/A převodníku. V experimentální části práce je pojednáno o ověření funkčnosti přípravku a všech jeho režimů a dále měřením ověřeny všechny jeho funkce. Naměřené výsledky jsou zde zpracovány formou standardního protokolu o měření. Převodník lze využít jako samostatný modul připojený k CD nebo DVD přehrávači, kde na výstupech převodníku bude připojen audio zesilovač s reproduktory.

Abstract

Bachelor thesis deals with the design and construction of D/A converter used in the area of audio signals with digital interface SPDIF. In the theoretical part of the thesis the design of block structure of the D/A converter module is included with assumption on realization by receiver of the digital signal Cirrus Logic CS8414 and D/A converter CS4334. In the practical part of the thesis the detailed wiring scheme of D/A converter, printed circuit board design, parts layout and construction design for implementation are presented. In the experimental part of the thesis the functionality of the D/A converter is tested and verified including the measurement results. Measured results are presented in the form of standard protocol. D/A converter can be used as stand alone module and connected to CD or DVD player. At the converter outputs audio amplifier and speakers can be connected.

Klíčová slova

D/A převodník, SPDIF, CD/DVD přehrávač, přijímač digitálního signálu, audio signál

Key Words

D/A Converter, SPDIF, CD/DVD player, digital signal receiver, audio signal

Bibliografická citace mé práce:

VOMOČIL, V. *D/A převodník pro CD/DVD přehrávač*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma D/A převodník pro CD/DVD přehrávač jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Kratochvílovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

1 Obsah

1	Obsah.....	8
2	Úvod.....	9
2.1	D/A převodníky.....	9
2.2	Digitální rozhraní SPDIF.....	9
3	Návrh D/A převodníku.....	11
3.1	Obecná bloková struktura D/A převodníku.....	11
3.2	Přijímač digitálního signálu SPDIF s CS8414.....	11
3.3	Převodník digitálního signálu CS4334.....	15
3.4	Blok nastavení provozního režimu přijímače.....	17
3.5	Výstupní filtr.....	17
3.6	Úplné schéma zapojení.....	18
3.7	Deska plošného spoje.....	18
3.8	Rozpiska součástek.....	18
3.9	Návrh mechanického uspořádání.....	18
4	Měření vlastností D/A převodníku.....	19
4.1	Blokové schéma zapojení měřicího pracoviště.....	19
4.2	Měření modulové kmitočtové charakteristiky a harmonického zkreslení THD+N.....	19
4.3	Měření separace obou kanálů.....	23
4.4	Kontrola linearity D/A převodníku.....	24
4.5	Měření odstupu signálu od šumu S/N.....	25
5	Závěr.....	26
6	Seznam obrázků.....	27
7	Seznam tabulek.....	28
8	Seznam zkratk.....	29
10	Přílohy.....	31
	Příloha A: Úplné schéma zapojení modulu D/A převodníku.....	31
	Příloha B: Deska plošných spojů.....	32
	Příloha C: Rozmístění součástek na plošném spoji.....	33
	Příloha D: Rozpiska součástek.....	34
	Příloha E: Mechanické uspořádání.....	36
	Příloha F: Fotodokumentace.....	38

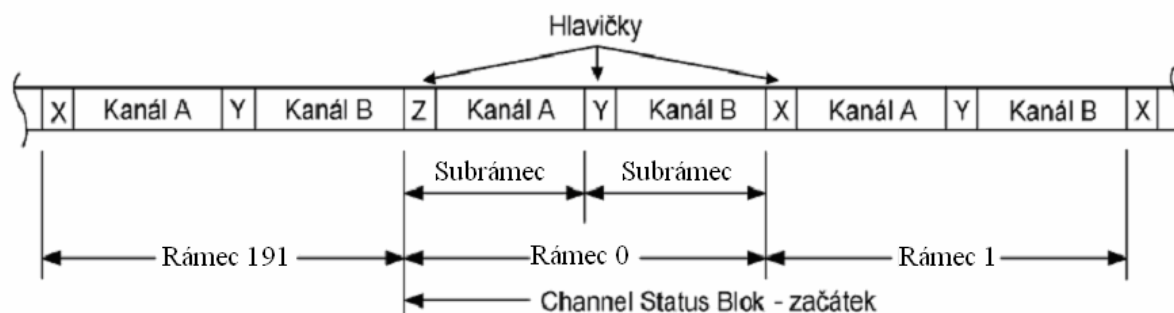
2 Úvod

2.1 D/A převodníky

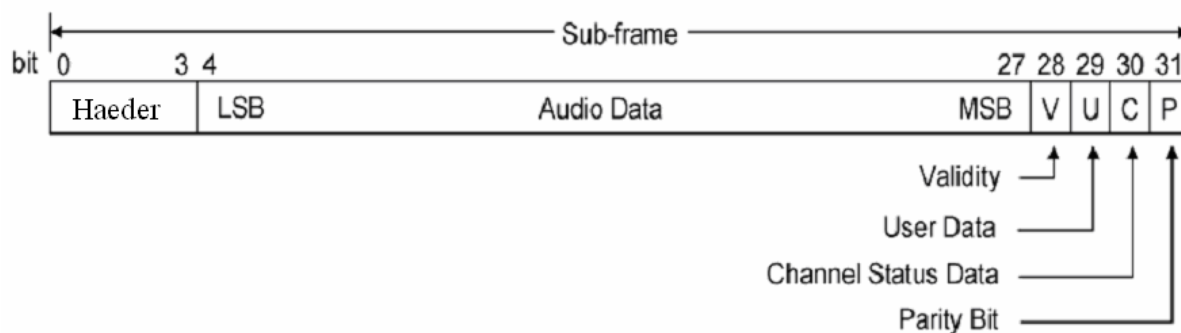
D/A převodníky zajišťují převod napětově (analogově) vyjádřené informace na číslicovou (digitální) informaci nebo naopak. V audio oblasti se používají především pro CD přehrávače, systémy domácích kin (DVD) nebo u zvukových karet počítačů. Převodník D/A s příslušenstvím audio se používá pro konverzi zvukových informací. Audio převodník vytváří z číslicové informace analogový signál, který je dále veden do zesilovače a reproduktorů. Kvalita převodníku a možnost jeho rozlišení roste s počtem bitů. Dnes je nejčastějším digitálním signálem v CD a DVD přehrávačích signál SPDIF (Sony/Philips Digital Interconnect Format) s rozlišením 16 bitů na vzorkovací frekvenci 44,1 kHz, běžně se již setkáme i s maximálními hodnotami, jež jsou 24 bitů při frekvenci 192 kHz s převzorkováním.

2.2 Digitální rozhraní SPDIF

Formát dat digitálního audiosignálu je definován normou IEC958. Data mohou být přenášena v profesionálním (AES - Advanced Encryption standart) nebo spotřebním módu (SPDIF). Tyto módy se liší především subkanálovými daty a napětovými úrovněmi fyzického signálu. Strukturu digitálního signálu SPDIF přibližuje obr. 2.2.1. Jeden vzorek signálu přenáší tzv. subrámeček (sub - frame). Jeho struktura je na obr. 2.2.2. První čtyři bity jsou hlavička. Ta slouží především k synchronizaci dekodéru signálu. Následuje 24 bitů dat, která představují přenášený vzorek signálu. Data jsou přenášena od nejméně významného po nejvýznamnější bit. Pokud přenášený signál není 24 bitový, ale třeba 20 nebo 16 bitový, jsou nejméně významné bity nulové. Následuje bit platnosti (validity), bit uživatelských dat, bit informací o signálu (channel status) a paritní bit. Subrámeček levého a pravého kanálu tvoří jeden rámeček (frame). Ty jsou dále organizovány do bloku po 192 rámečcích. V jednom bloku lze tedy kromě audiosignálu levého a pravého kanálu přenést ještě 384 bitů uživatelských dat (název skladby, interpret) a 384 bitů informací o kanálu (channel status). Ve spotřebním módu se z bitů informací o kanálu využívá pouze prvních 32 bitů. Jsou zde především informace, zda se jedná o audiosignál nebo komprimovaná data, zda je signál originál nebo kopie a u vícekanalového zvuku číslo kanálu [1].

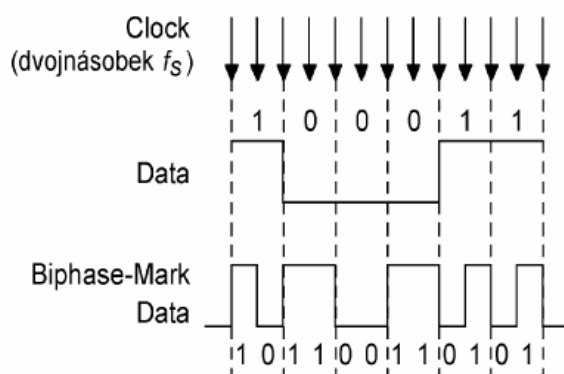


Obr. 2.2.1: Struktura digitálního signálu SPDIF, 3 rámeček, začátek bloku [1]



Obr. 2.2.2: Struktura digitálního signálu SPDIF – subrámeček [1]

Fyzicky se signál SPDIF mezi přístroji přenáší buď koaxiálním kabelem (amplituda signálu 0,1 až 1 V), nebo opticky (Toslink). U profesionálních přístrojů se používá kroucená dvoulinka a amplituda signálu 10 V. Data používají dvoufázovou modulaci - viz obr. 2.2.3. Pokud se úroveň signálu nezmění během dvou taktů hodinového signálu, jsou přenášená data chápána jako log. 0. V opačném případě jako log. 1. Výhodou tohoto způsobu modulace je minimalizace stejnosměrné složky střídavého signálu (přístroje lze pak snadno oddělit transformátorem) a nezávislost na polaritě [1].

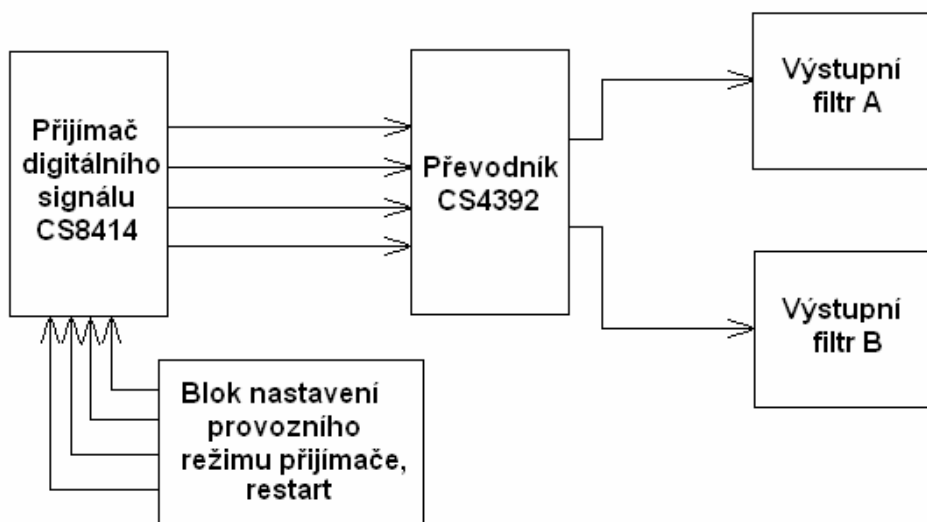


Obr. 2.2.3: Dvoufázové kódování signálu SPDIF [1]

3 Návrh D/A převodníku

Pro realizaci D/A převodníku byl vybrán převodník americké firmy CIRRUS LOGIC CS4334 a přijímač digitálního signálu CS8414. Oba obvody jsou osazeny v testovací desce CBD4334, z jejíž dokumentace [2] bylo vycházeno při samotném návrhu.

3.1 Obecná bloková struktura D/A převodníku



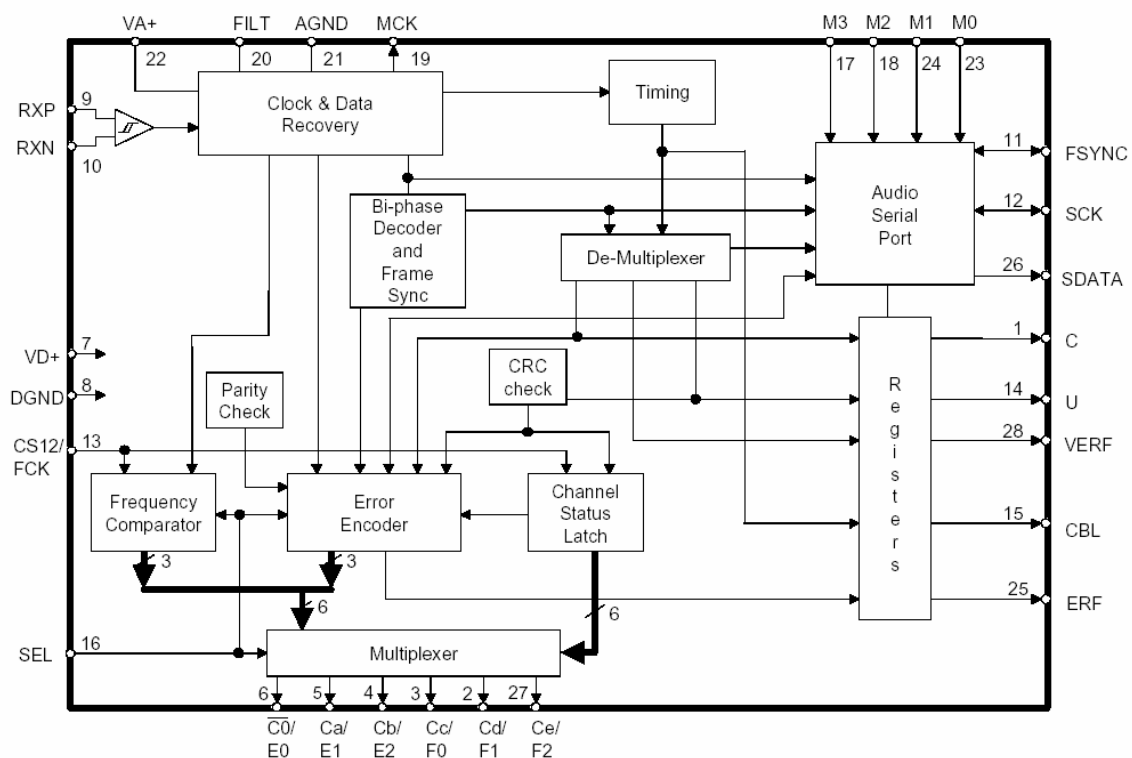
Obr. 3.1.1: Obecná bloková struktura modulu D/A převodníku

3.2 Přijímač digitálního signálu SPDIF s CS8414

V bloku přijímače digitálního signálu se nachází vstupní obvody pro zpracování přijímaného signálu buď koaxiálním kabelem nebo optickým vláknem a samotný přijímač digitálního signálu tvořený integrovaným obvodem CS8414 [4].

Signál SPDIF v digitální podobě je přiveden koaxiálním kabelem na konektor X1 a přes kondenzátor C_1 je přiveden na negativní vstup RXN přijímače CS8414. Zakončení koaxiálního kabelu charakteristickou impedancí je realizováno rezistorem $R_1 = 75\Omega$. Optická podoba signálu SPDIF se přijímá optickým přijímačem TORX173 [15] a přes kondenzátor C_2 se již převedený signál na digitální přivádí k pozitivnímu vstupu RXP přijímače CS8414 (viz Příloha A, Obr.:3.6.1).

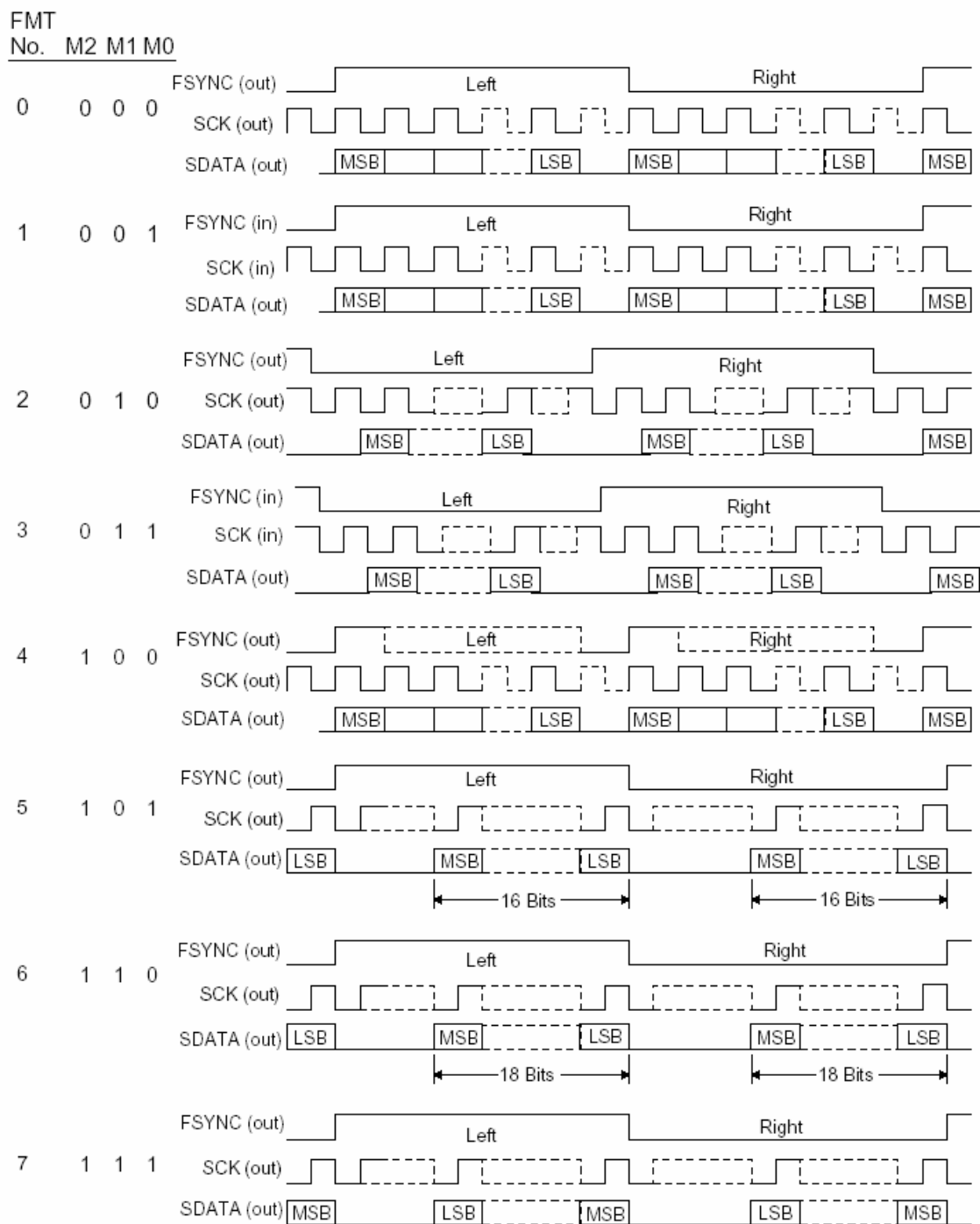
Přijímač digitálního signálu SPDIF CS8414 nepotřebuje mikroprocesor k řízení příjmu audio dat, ale mikroprocesoru může být použito pro řízení přenosu dat sériovým portem. CS8414 je monochromatický obvod typu CMOS, který přijímá a dekóduje digitální audio data, jež byla zakódována dle platných standardů. Výstupem jsou audio data přenášená sériovým portem, který umožňuje nastavení až 14 různých formátů. Tyto formáty se nastavují pomocí pinů 17, 18, 24 a 23 (M0 až M3), viz [4]. Blokové schéma přijímače digitálního signálu CS8414 je na obrázku Obr. 3.2.1. Nastavení jednotlivých formátů sériového portu udává tabulka Tab. 3.2.1, ukázkou základních formátů (M3 = 0) je možno vidět na obrázku Obr. 3.2.2. Na pinech 2, 3, 4, 5, 6 a 27 (E0, E1, E2, F0, F1 a F2) jsou připojené LED diody, které při nastaveném pinu 16 (SEL) na log 0, indikují chybovost a informace o frekvenci přenášených dat, viz. tabulky Tab. 3.2.2 a Tab. 3.2.3. Při nastaveném pinu 16 (SEL) na log 1 indikují LED diody stavy profesionálních režimů (M3 = 1), které již pracují s řídicím procesorem přenosu dat.



Obr. 3.2.1: Blokové schéma přijímače digitálního signálu CS8414 [4]

M3	M2	M1	M0	Format
0	0	0	0	0 - Out, L/R, 16-24 Bits
0	0	0	1	1 - In, L/R, 16-24 Bits
0	0	1	0	2 - Out, L/R, I ² S Compatible
0	0	1	1	3 - In, L/R, I ² S Compatible
0	1	0	0	4 - Out, WSYNC, 16-24 Bits
0	1	0	1	5 - Out, L/R, 16 Bits LSBJ
0	1	1	0	6 - Out, L/R, 18 Bits LSBJ
0	1	1	1	7 - Out, L/R, MSB Last
1	0	0	0	8 - Format 0 - No repeat on error
1	0	0	1	9 - Format 1 - No repeat on error
1	0	1	0	10 - Format 2 - No repeat on error
1	0	1	1	11 - Format 0 - Async. SCK input
1	1	0	0	12 - Received NRZ Data
1	1	0	1	13 - Received Bi-phase Data
1	1	1	0	14 - Reserved
1	1	1	1	15 - CS8414 Reset

Tab. 3.2.1: Nastavení formátů sériového portu I²S přijímače CS8414 [4]



Obr. 3.2.2: Ukázka základních formátů sériového portu přijímače CS8414 (M3 = 0) [4]

E2	E1	E0	Error
0	0	0	No Error
0	0	1	Validity Bit High
0	1	0	Reserved
0	1	1	Slipped Sample
1	0	0	CRC Error (PRO only)
1	0	1	Parity Error
1	1	0	Bi-phase Coding Error
1	1	1	No Lock

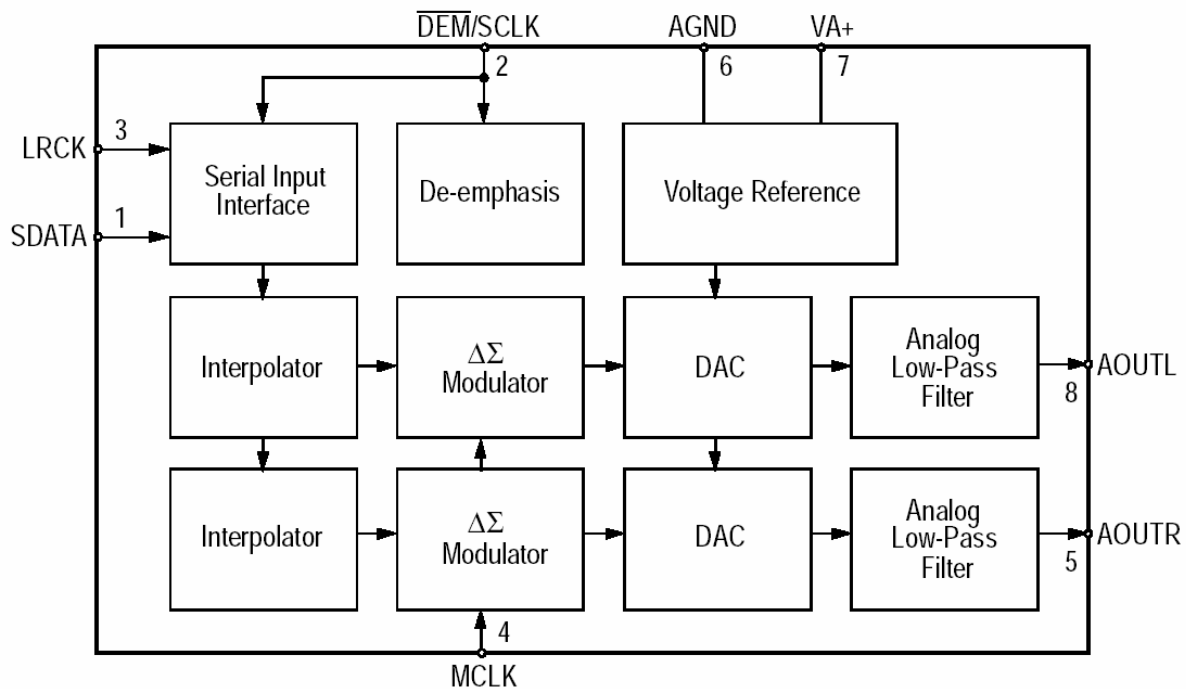
Tab. 3.2.2: Indikace chybovosti přenášených dat přijímače CS8414 [4]

F2	F1	F0	Sample Frequency
0	0	0	Out of Range
0	0	1	reserved
0	1	0	reserved
0	1	1	96 kHz $\pm 4\%$
1	0	0	88.2 kHz $\pm 4\%$
1	0	1	48 kHz $\pm 4\%$
1	1	0	44.1 kHz $\pm 4\%$
1	1	1	32 kHz $\pm 4\%$

Tab. 3.2.3: Informace o frekvenci přenášených dat přijímače CS8414 [4]

3.3 Převodník digitálního signálu CS4334

Samotný převodník firmy CIRRUS LOGIC CS4334 pracuje se signálem přijímače CS8414, resp. s daty SDATA, LRCK, SCLK a MCLK sériového portu. Mezi jeho základní parametry patří rozlišení 24bitů při vzorkovací frekvenci 2 kHz až 100 kHz, dynamika 96 dB, zkreslení – 88 dB THD+N, nízká citlivost na jitter a přechod nulou, digitální deemfáze [3]. D/A převodník CS4334 používá v základním módu osminásobné převzorkování vstupního signálu. Zmenší se tak šum a hlavně velmi zjednoduší výstupní filtr, který je už částečně integrován. Za sigma-delta převodníkem je v obvodu zapojen digitální a analogový filtr. Pro běžné účely pak stačí na výstup obvodu zapojit jednoduchý člen RC [14]. Na obrázku Obr. 3.3.1 je blokové schéma převodníku CS4334, tabulka Tab. 3.3.1 seznamuje se systémem časování převodníku daty ze sériového portu od přijímače digitálního signálu CS8414, tabulka Tab.3.3.2 udává přijatá data ze sériového portu, obrázek Obr. 3.3.2 znázorňuje podobu jednotlivých přijímaných signálů, na Obr. 3.3.3 je zakreslen průběh deemfáze.



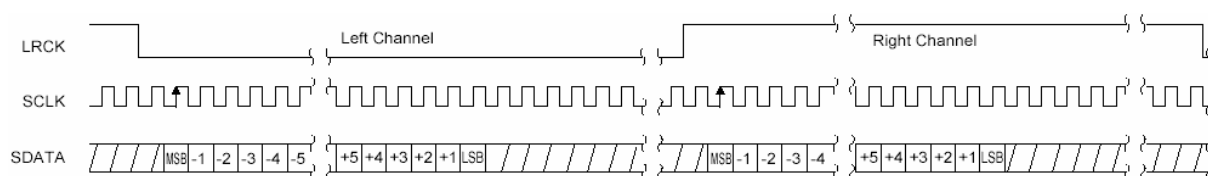
Obr. 3.3.1: Blokové schéma převodníku CS4334 [3]

LRCK (kHz)	MCLK (MHz)				
	HRM		BRM		
	128x	192x	256x	384x	512x
32	4.0960	6.1440	8.1920	12.2880	16.3840
44.1	5.6448	8.4672	11.2896	16.9344	22.5792
48	6.1440	9.2160	12.2880	18.4320	24.5760
64	8.1920	12.2880	-	-	-
88.2	11.2896	16.9344	-	-	-
96	12.2880	18.4320	-	-	-

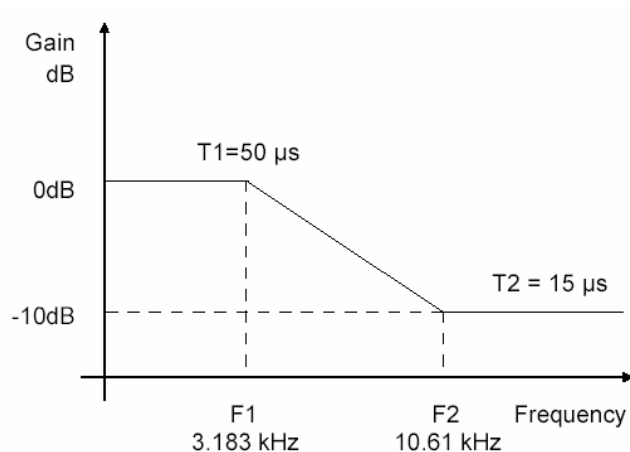
Tab. 3.3.1: Taktovací převody převodníku CS4334 [3]

Internal SCLK Mode	External SCLK Mode
I ² S, 16-Bit data and INT SCLK = 32 Fs if MCLK/LRCK = 512, 256 or 128 I ² S, Up to 24-Bit data and INT SCLK = 48 Fs if MCLK/LRCK = 384 or 192	I ² S, up to 24-Bit Data Data Valid on Rising Edge of SCLK

Tab. 3.3.2: Tabulka přijímaných formátů (I²C) převodníku CS4334 [3]



Obr. 3.3.2: Průběh přijímaných dat převodníku CS4334 [3]



Obr. 3.3.3: Průběh deemfáze, pin 2 převodníku CS4334 [3]

3.4 Blok nastavení provozního režimu přijímače

Tato část zajišťuje správnou funkci přijímače digitálního signálu CS8414. Provádí se zde kompletní nulování obvodu vždy při změně signálu (zapnutí a vypnutí). To je možné realizovat ručně, pohodlnější je však použít obvod s časovačem NE555, viz [6]. Po uběhnutí celého rámce časovač vyhodnotí signál přijímače digitálního signálu VRF a nastaví piny přijímače digitálního signálu M0 až M3 na úroveň H, což je funkce RESTART (viz. Tab. 3.2.1).

3.5 Výstupní filtr

Analogový výstupní filtr byl navržený tak, aby přidal flexibilitu výstupního signálu převodníku CS4334. Jedná se o filtr třetího řádu, jenž je tvořen dvěma RC články a filtrem s operačním zesilovačem. Tento návrh ukazuje alternativu s vyšším potlačením šumu ve slyšitelné oblasti a zlepšením celkové dynamiky systému. Při návrhu filtru bylo vycházeno z dokumentace vývojové desky CDB4334/8/9 [2].

3.6 Úplné schéma zapojení

Výkres úplného schéma zapojení D/A převodníku je na Obr. 3.6.1 umístěném v příloze A. V horní části schéma je napájecí větev, kde dochází k filtraci a stabilizaci napájecího napětí, v levé části je vidět obvody vstupu digitálního signálu s přijímačem digitálního signálu CS8414, uprostřed je obvod řízení přijímače s časovačem NE555 a hned pod ním se nachází převodník CS4334. V pravé části výkresu je vidět analogový výstupní filtr.

3.7 Deska plošného spoje

Shodnou topografií rozmístění jednotlivých modulů jako je v případě schéma má i deska plošných spojů. Deska plošných spojů je řešená jako dvoustranná. Na obrázku Obr. 3.7.1 je výkres horní vrstvy desky plošného spoje – strana součástek, na obrázku Obr. 3.7.2 je výkres spodní vrstvy plošného spoje – strana spojů, viz. příloha B. Na obrázku Obr. 3.7.3 je výkres rozmístění součástek na plošném spoji, viz. příloha C. Na Obr. 3.7.4 je fotografie osazené desky plošných spojů součástkami, viz. příloha F.

3.8 Rozpiska součástek

V příloze D je umístěna tabulka Tab. 3.8.1, v níž jsou rozepsány všechny použité elektrické součástky. Každá součástka má označení položky, svůj název a označení ve schématu (Obr. 3.6.1), hodnotu, popis, popř. označení pouzdra.

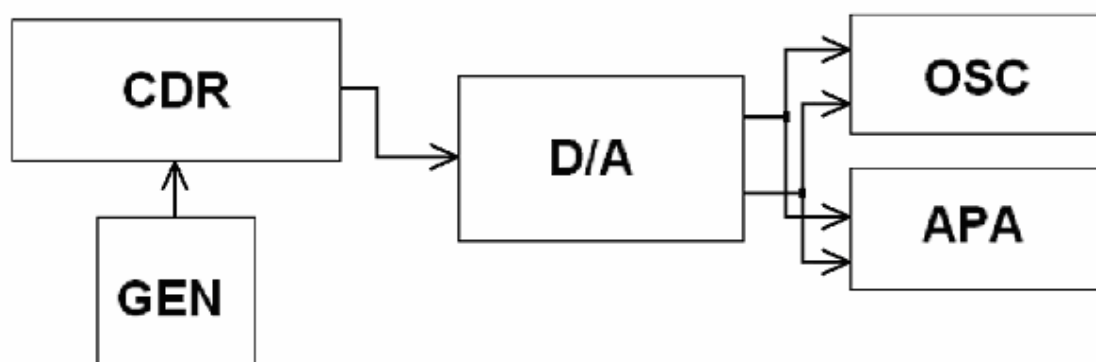
3.9 Návrh mechanického uspořádání

Navrhovaný D/A převodník je za účelem svého využití konstruován jako laboratorní přípravek. Jedná se tedy pouze o desku plošného spoje opatřenou zespodu i svrchu panelem z plexiskla oboustranně vymezenou standardními distančními sloupky a zespodu opatřenou nožičkami z PVC. Na obrázku Obr. 3.9.1 je výkres horního panelu, na obrázku Obr. 3.9.2 je výkres spodního panelu. Oba obrázky jsou v příloze E. Obrázek 3.9.3 umístěný v příloze F zobrazuje fotografii celého přípravku převodníku. Tabulka Tab. 3.9.1 obsahuje rozpisku mechanických součástí, je umístěná v příloze E. Každá součástka má označení položky, svůj název, počet kusů, materiál, z něhož je vyrobena a v poznámce je uveden způsob povrchové úpravy nebo zpřesňující typ materiálu.

4 Měření vlastností D/A převodníku

4.1 Blokové schéma zapojení měřícího pracoviště

Na obrázku Obr. 4.1.1 je zakresleno blokové schéma zapojení měřícího pracoviště. Zapojení zůstává nezměněné pro všechny měřené charakteristiky a veličiny. Vysvětlení k jednotlivým zkratkám přístrojů udává tabulka Tab. 4.1.1.



Obr. 4.1.1: Blokové schéma zapojení měřícího pracoviště

GEN	disky AVP & Marutech CD generator a Sony Test CD type 3
CDR	CD rekordér Philips CDR 796 s digitálním výstupem
D/A	měřený D/A převodník s CS4334
OSC	digitální osciloskop Tektronix TDS 2014
APA	audio analyzátor Audio Precision Portable One
propojovací vodiče 2x CINCH – BNC, 2 x rozbočovací „T člen“, 4 x XLR – CINCH, 1 x CINCH – CINCH v koaxiálním provedení, 1 x optický propojovací vodič	

Tab. 4.1.1: Použité měřicí přístroje a pomůcky

4.2 Měření modulové kmitočtové charakteristiky a harmonického zkreslení THD+N

Měřené hodnoty modulové kmitočtové charakteristiky (přenosové charakteristiky) D/A převodníku $A_U = f(f)$ pomocí disku AVP & Marutech, který má jmenovité napětí záznamu $U_1 = 1$ V, jsou zaznamenány v tabulce Tab. 4.2.1. K měření bylo využito sekce 7 až 37 a odpovídající kmitočty lze nalézt na obalu disku – shodují se s kmitočty z Tab. 4.2.1. Měřená charakteristika bývá zpravidla velmi vyrovnaná [12].

Modul přenosu se vypočte podle vzorce

$$A_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \quad (4.1)$$

Poznámka: V tabulce Tab. 4.2.1 jsou zaznamenány i hodnoty přenosové charakteristiky samotného analogového výstupního filtru, označeny indexem f . Vstupní napětí bylo naměřeno na výstupních pinech převodníku CS4334, jeho hodnoty jsou $U_{1Af} = 611 \text{ mV}$, $U_{1Bf} = 620 \text{ mV}$.

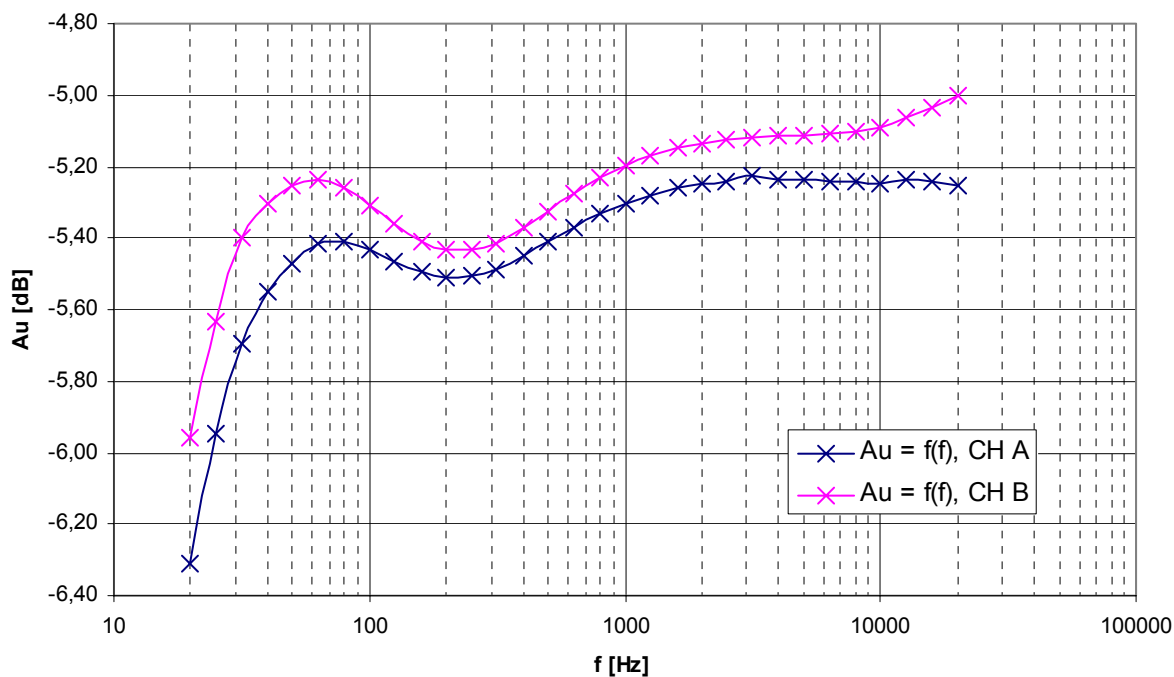
Měření harmonického zkreslení $THD+N = f(f)$ bylo provedeno zároveň s měřením modulové kmitočtové charakteristiky. Hodnoty měření jsou rovněž zapsány v tabulce Tab. 4.2.1.

f [Hz]	U_{2A} [mV]	U_{2B} [mV]	THD+N _A [%]	THD+N _A [dB]	THD+N _B [%]	THD+N _B [dB]	A_{UAf} [dB]	A_{UBf} [dB]	A_{UA} [dB]	A_{UB} [dB]
20	483,7	503,6	1,66	-35,6	0,86	-41,3	-2,03	-1,81	-6,31	-5,96
25	504,4	522,7	1,60	-39,5	0,57	-45,9	-1,67	-1,48	-5,94	-5,63
31,5	519,1	537,1	0,64	-43,9	0,34	-49,2	-1,42	-1,25	-5,69	-5,40
40	527,9	543,2	0,40	-47,8	0,30	-50,8	-1,27	-1,15	-5,55	-5,30
50	532,8	546,1	0,31	-50,4	0,27	-51,3	-1,19	-1,10	-5,47	-5,25
63	536,0	547,4	0,23	-52,3	0,26	-51,7	-1,14	-1,08	-5,42	-5,23
80	536,3	545,7	0,21	-53,3	0,25	-51,7	-1,13	-1,11	-5,41	-5,26
100	535,0	542,7	0,20	-53,5	0,25	-51,8	-1,15	-1,16	-5,43	-5,31
125	533,0	539,4	0,20	-53,7	0,25	-51,8	-1,19	-1,21	-5,47	-5,36
160	531,1	536,5	0,20	-53,8	0,25	-51,8	-1,22	-1,26	-5,50	-5,41
200	530,2	535,0	0,20	-53,8	0,25	-51,9	-1,23	-1,28	-5,51	-5,43
250	530,7	535,0	0,20	-53,9	0,24	-52,1	-1,22	-1,28	-5,50	-5,43
315	531,7	536,2	0,20	-53,9	0,24	-52,0	-1,21	-1,26	-5,49	-5,41
400	533,9	538,8	0,20	-54,0	0,24	-52,0	-1,17	-1,22	-5,45	-5,37
500	536,4	541,7	0,19	-54,0	0,24	-52,2	-1,13	-1,17	-5,41	-5,32
630	538,9	544,7	0,19	-54,1	0,24	-52,1	-1,09	-1,12	-5,37	-5,28
800	541,4	547,6	0,19	-54,2	0,23	-52,3	-1,05	-1,08	-5,33	-5,23
1000	543,2	549,8	0,19	-54,3	0,23	-52,5	-1,02	-1,04	-5,30	-5,20
1250	544,6	551,5	0,19	-54,4	0,23	-52,4	-1,00	-1,02	-5,28	-5,17
1600	545,7	552,9	0,18	-54,4	0,23	-52,5	-0,98	-0,99	-5,26	-5,15
2000	546,4	553,7	0,18	-54,5	0,23	-52,4	-0,97	-0,98	-5,25	-5,13
2500	546,9	554,4	0,18	-54,6	0,23	-52,5	-0,96	-0,97	-5,24	-5,12
3150	547,8	554,8	0,18	-54,5	0,23	-52,5	-0,95	-0,97	-5,23	-5,12
4000	547,2	555,1	0,18	-54,6	0,22	-52,5	-0,96	-0,96	-5,24	-5,11
5000	547,1	555,2	0,18	-54,6	0,23	-52,5	-0,96	-0,96	-5,24	-5,11
6300	546,9	555,4	0,18	-54,5	0,23	-52,4	-0,96	-0,96	-5,24	-5,11
8000	546,8	555,8	0,18	-54,5	0,24	-52,2	-0,96	-0,95	-5,24	-5,10
10000	546,7	556,6	0,18	-54,6	0,24	-52,4	-0,97	-0,94	-5,25	-5,09
12500	547,3	558,3	0,17	-54,9	0,23	-52,9	-0,96	-0,91	-5,24	-5,06
16000	546,8	560,1	0,17	-55,3	0,22	-53,5	-0,96	-0,88	-5,24	-5,03
20000	546,2	562,4	0,17	-55,5	0,22	-53,9	-0,97	-0,85	-5,25	-5,00

Tab. 4.2.1: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot přenosové charakteristiky D/A převodníku i výstupního analogového filtru $A_U = f(f)$ a závislosti harmonického zkreslení THD+N na frekvenci $THD+N = f(f)$

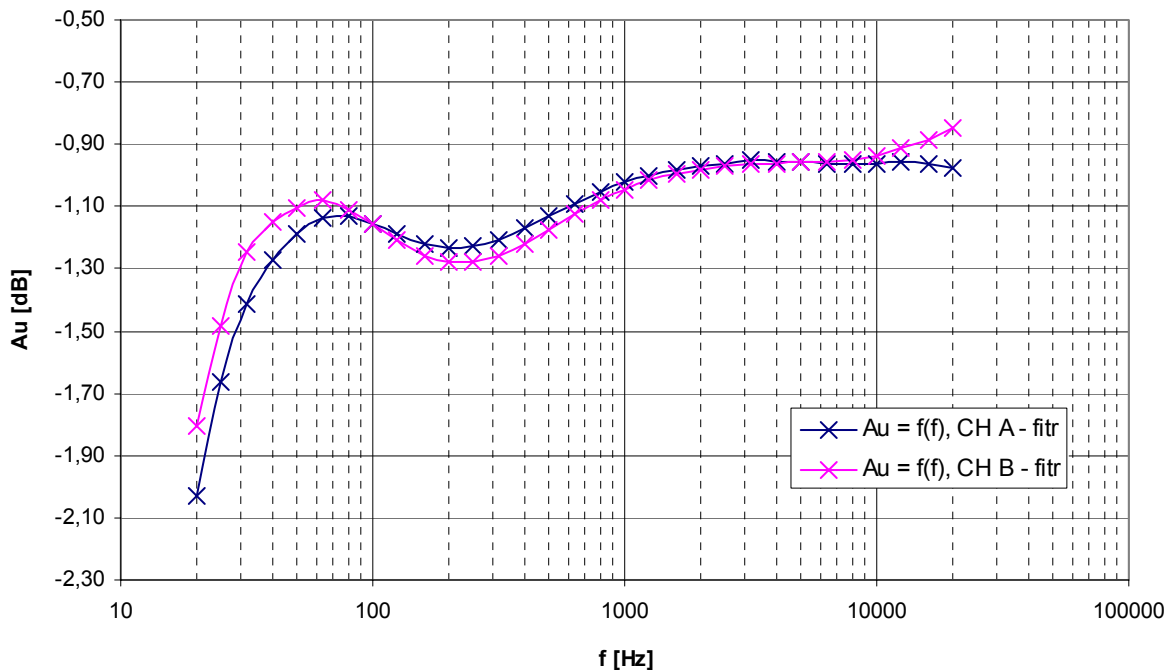
Grafické znázornění průběhů modulové frekvenční charakteristiky D/A převodníku $A_U = f(f)$ pro oba kanály je zobrazeno na obrázku Obr. 4.2.1, modulová frekvenční charakteristika analogového výstupního filtru $A_{Uf} = f(f)$ je zakreslena na obrázku Obr. 4.2.2, obrázek Obr. 4.2.3 zobrazuje závislost harmonického zkreslení D/A převodníku na frekvenci $THD+N = f(f)$ v decibelové míře, obrázek Obr. 4.2.4 zobrazuje závislost harmonického zkreslení D/A převodníku na frekvenci $THD+N = f(f)$ v procentuální míře.

Modulová kmitočtová charakteristika D/A převodníku



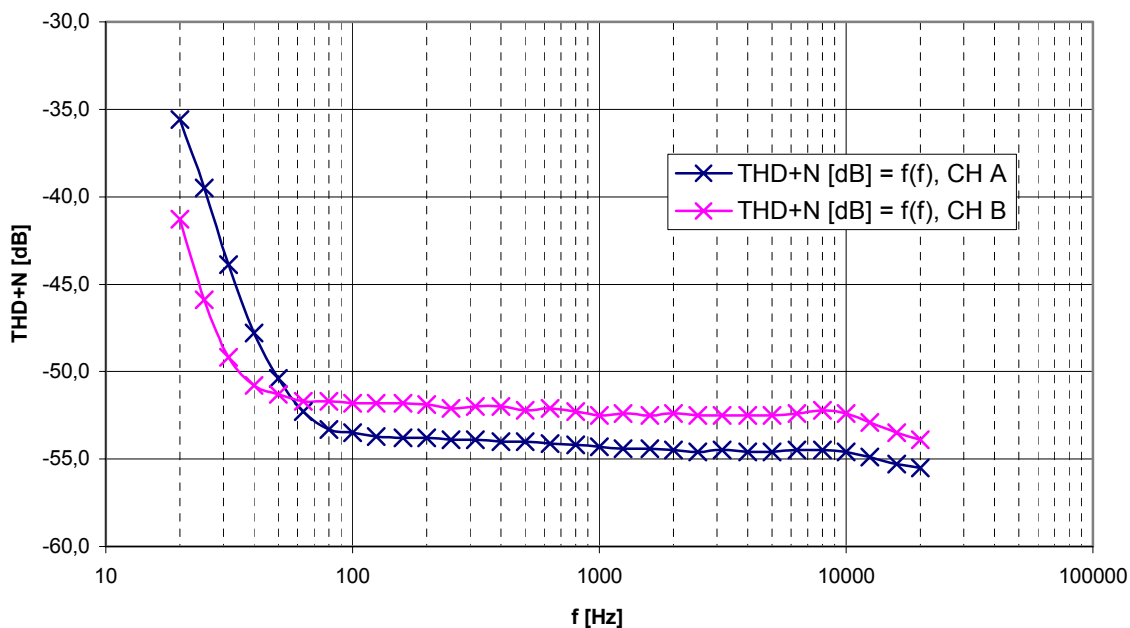
Obr. 4.2.1: Modulová frekvenční charakteristika D/A převodníku $A_U = f(f)$, $U_{1A} = U_{1B} = 1V$

Modulová kmitočtová charakteristika výstupního filtru



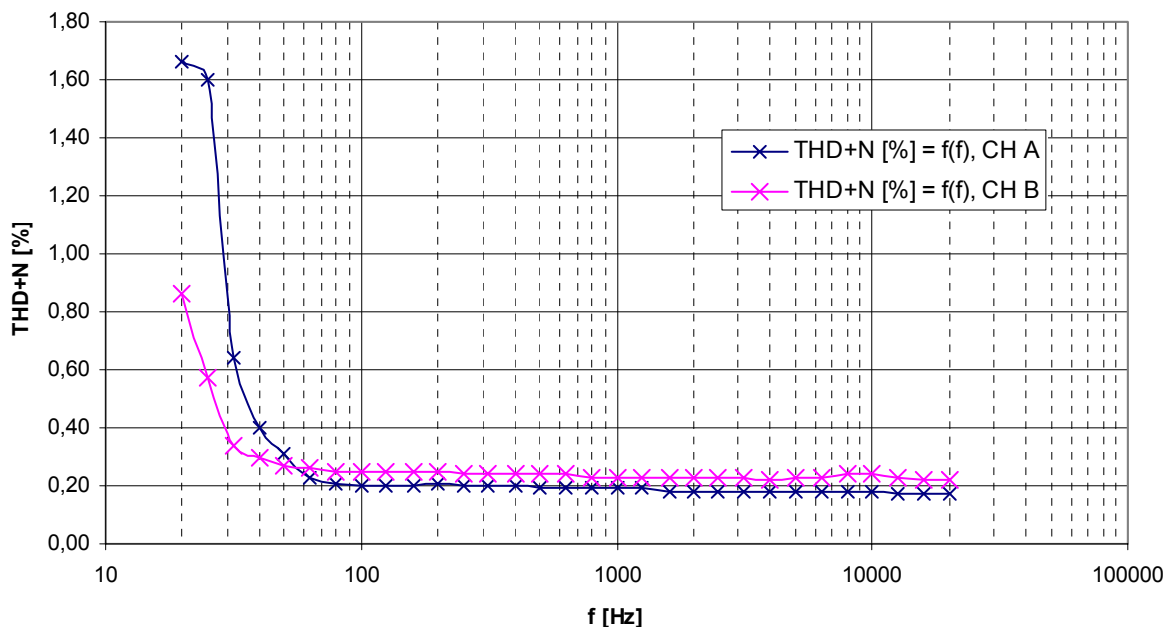
Obr. 4.2.2: Modulová frekvenční charakteristika analogového výstupního filtru $A_U = f(f)$, $U_{IAf} = 611 \text{ mV}$, $U_{IBf} = 620 \text{ mV}$

Závislost harmonického zkreslení THD+N D/A převodníku na frekvenci



Obr. 4.2.3: Závislost harmonického zkreslení D/A převodníku na frekvenci $THD+N = f(f)$ v decibelové míře

Závislost harmonického zkreslení D/A převodníku THD+N na frekvenci



Obr. 4.2.4: Závislost harmonického zkreslení D/A převodníku na frekvenci $THD+N = f(f)$ v procentuální míře

4.3 Měření separace obou kanálů

K měření se využije zkušební disk Sony, sekce 29 až 32. Signál o různých kmitočtech je nahrán jen v levém kanále L, pravý kanál R obsahuje tzv. digitální nulu (tzv. infinity zero). K měření bylo využito možnosti zvolení referenční úrovně $U_R = 0$ dB_R na audio analyzátoru, která se musí kalibrovat na každé stopě 29 až 32 [12]. Měření bylo provedeno i opačném případě, kdy je signál nahrán v pravém kanále R, levý kanál L obsahuje tzv. digitální nulu, sekce 33 až 36. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce Tab. 4.3.1.

Sekce	f [Hz]	U_R [dB]	U_L [dB]
29	100	0	33,95
30	1000	0	38,14
31	10000	0	42,05
32	20000	0	41,34
33	100	35,95	0
34	1000	39,84	0
35	10000	43,76	0
36	20000	43,79	0

Tab. 4.3.1: Separace kanálů, $U_1 = 2V$

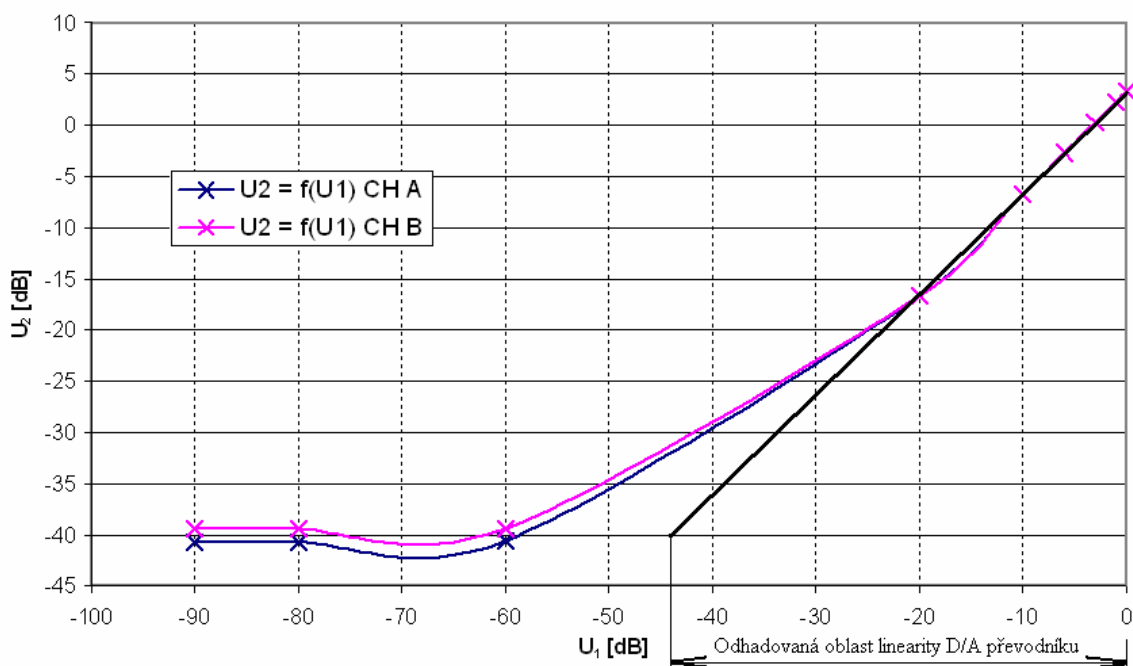
4.4 Kontrola linearity D/A převodníku

K měření se využije zkušební disk Sony, sekce 14 až 22. Signál má v obou kanálech nahrán signál o $f = 1$ kHz s klesající úrovní až do -90 dB. Malé hodnoty již nebylo možné dle očekávání odečíst, výsledky jsou zpracovány do převodní charakteristiky $U_2 = f(U_1)$ zakreslené na obrázku Obr. 4.4.1. V tabulce Tab. 4.4.1 jsou zaznamenány naměřené hodnoty. K měření byla opět využita možnost zvolení referenční úrovně $U_R = 0$ dBr na audio analyzátoru, kterou bylo nutné kalibrovat na stopě 14. Hodnoty napětí byly odečítány přímo v [dB].

Sekce	U_1 [dB]	$U_{2L(A)}$ [dB]	$U_{2R(B)}$ [dB]
14	0	3,32	3,34
15	-1	2,32	2,34
16	-3	0,32	0,35
17	-6	-2,68	-2,65
18	-10	-6,67	-6,65
19	-20	-16,65	-16,62
20	-60	-40,52	-39,31
21	-80	-40,64	-39,41
22	-90	-40,66	-39,41

Tab. 4.4.1: Linearita D/A převodníku, $f = 1$ kHz, $U_1 = 2$ V

Linearita D/A převodníku



Obr. 4.4.1: Převodní charakteristika D/A převodníku $U_2 = f(U_1)$, $f = 1$ kHz

4.5 Měření odstupů signálu od šumu S/N

Pro měření použijeme disk Sony, sekci 1 (plná úroveň $S = U_1 = 2 \text{ V}$) a srovnáme ji s digitální nulou (infinity zero = N) – sekci 23 [12].

$$N_{L(A)} = 7,25 \text{ mV}$$

$$N_{R(B)} = 8,36 \text{ mV}$$

$$S/ N_{L(A)} = 275,86$$

$$S/ N_{R(B)} = 239,23$$

$$S/ N_{L(A)} = 48,81 \text{ dB}$$

$$S/ N_{R(B)} = 47,58 \text{ dB}$$

5 Závěr

Cílem této Bakalářské práce byl detailní návrh D/A převodníku pro CD/DVD přehrávač s SPDIF výstupem a jeho realizace formou funkčního prototypu laboratorního přípravku.

V teoretické části byla navržena bloková struktura modulu D/A převodníku, byly stanoveny technické požadavky na jednotlivé bloky s ohledem na jejich realizaci. Při návrhu byla předpokládána realizace pomocí přijímače digitálního signálu Cirrus Logic CS8414 a D/A převodníku CS4334.

V praktické části bylo navrženo detailní obvodové schéma převodníku, vytvořen návrh desky plošného spoje a stanoveny konstrukční podklady pro realizaci s ohledem na využití přístroje v laboratoři Ústavu radioelektroniky Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně. Byl zkonstruován prototyp laboratorního přípravku D/A převodníku a oživen.

V experimentální části práce byla ověřena funkčnost přípravku a všech jeho režimů, odstraněny nedostatky návrhu i konstrukce a zpracovány naměřené výsledky formou standardního protokolu o měření.

Při měření modulové frekvenční charakteristiky bylo zjištěno, že výstupní úrovně kanálů A i B se liší cca o 0,05 dB, viz Obr. 4.2.1. Toto by mohlo být na první zdání způsobeno velkou tolerancí součástek, nicméně po uvážení jednocentní tolerance součástek, bylo provedeno měření samotného výstupního analogového filtru. Toto měření ukázalo, že hodnoty výkonových úrovní filtru na obou kanálech jsou prakticky shodné, viz Obr. 4.2.2. Rozdíl výstupních úrovní způsobuje tedy samotný převodník CS4334, na jehož výstupních svorkách je již tento rozdíl patrný. Dále bylo zjištěno, že modulová frekvenční charakteristika vykazuje pokles o 0,1 dB na frekvenci cca 200 Hz. Toto je již způsobeno analogovým výstupním filtrem.

Při měření harmonického zkreslení THD+N bylo zjištěno, že kanál B (pravý kanál) vykazuje vyšší zkreslení než kanál A, řádově o cca 0,1 % (3 dB). Toto bylo ověřeno změřením zkreslení THD+N přímo na výstupech převodníku CS4334, kde byl zjištěn rovněž rozdíl v hodnotách zkreslení obou kanálů. Obě hodnoty tohoto zkreslení však odpovídaly rozmezí hodnot zkreslení udávaných výrobcem převodníku: THD+N = (-81) – (-86) dB. Srovnání hodnot harmonického zkreslení THD+N a úrovní výstupního signálu na výstupech převodníku CS4334 s hodnotami na výstupech modulu převodníku značí, že analogový výstupní filtr zatěžuje výstupy převodníku CS4334 a hodnota úrovně výstupního napětí tak klesne zhruba na poloviční hodnotu a zkreslení se zvýší cca o 30 dB, což není nejlepším parametrem Laboratorního přípravku. Tento problém se již nepovedlo odstranit.

Změřením separace kanálů byl zjištěn opět rozdíl mezi oběma kanály, tento rozdíl je cca 2 dB. Kontrola linearity D/A převodníku ukázala, že lineární oblast převodníků je pravděpodobně do hodnoty vstupní úrovně – 44 dB, menší hodnotu vstupní úrovně jak -50 dB již převodník nejspíš nezpracuje. Měření odstupu signálu od šumu S/N vykazovalo hodnoty pro levý kanál: S/N = 275,86 v absolutní míře a S/N = 48,81 dB v decibelové míře, pro pravý kanál: S/N = 239,23 v absolutní míře a S/N = 47,58 dB v decibelové míře.

6 Seznam obrázků

- Obr. 2.2.1:** Struktura digitálního signálu SPDIF, 3 rámce, začátek bloku
- Obr. 2.2.2:** Struktura digitálního signálu SPDIF – subrámeček
- Obr. 2.2.3:** Dvoufázové kódování signálu SPDIF
- Obr. 3.1.1:** Obecná bloková struktura modulu D/A převodníku
- Obr. 3.2.1:** Blokové schéma přijímače digitálního signálu CS8414
- Obr. 3.2.2:** Ukázka základních formátů sériového portu přijímače CS8414 ($M3 = 0$)
- Obr. 3.3.1:** Blokové schéma převodníku CS4334
- Obr. 3.3.2:** Průběh přijímaných dat převodníku CS4334
- Obr. 3.3.3:** Průběh deefáze, 2 pin převodníku CS4334
- Obr. 3.6.1:** Úplné schéma zapojení modulu D/A převodníku
- Obr. 3.7.1:** Výkres horní vrstvy desky plošného spoje – strana součástek, M 1:1 (105 x 89)
- Obr. 3.7.2:** Výkres spodní vrstvy desky plošného spoje – strana spojů, M 1:1 (105 x 89)
- Obr. 3.7.3:** Výkres rozmístění součástek na plošném spoji
- Obr. 3.7.4:** Fotografie osazené desky plošných spojů součástkami
- Obr. 3.9.1:** Výkres horního panelu
- Obr. 3.9.2:** Výkres spodního panelu
- Obr. 3.9.3:** Fotografie kompletního laboratorního přípravku D/A převodníku
- Obr. 4.1.1:** Blokové schéma zapojení měřícího pracoviště
- Obr. 4.2.1:** Modulová frekvenční charakteristika D/A převodníku $A_U = f(f)$, $U_{1A} = U_{1B} = 1V$
- Obr. 4.2.2:** Modulová frekvenční charakteristika analogového výstupního filtru $A_U = f(f)$, $U_{1Af} = 611mV$, $U_{1Bf} = 620mV$
- Obr. 4.2.3:** Závislost harmonického zkreslení D/A převodníku na frekvenci $THD+N = f(f)$ v decibelové míře
- Obr. 4.2.4:** Závislost harmonického zkreslení D/A převodníku na frekvenci $THD+N = f(f)$ v procentuální míře
- Obr. 4.4.1:** Převodní charakteristika D/A převodníku $U_2 = f(U_1)$, $f = 1kHz$

7 Seznam tabulek

- Tab. 3.2.1:** Nastavení formátů sériového portu I²S přijímače CS8414
Tab. 3.2.2: Indikace chybovosti přenášených dat přijímače CS8414
Tab. 3.2.3: Informace o frekvenci přenášených dat přijímače CS8414
Tab. 3.3.1: Taktovací převody převodníku CS4334
Tab. 3.3.2: Tabulka přijímaných formátů (I²C) převodníku CS4334
Tab. 3.8.1: Rozpiska součástek
Tab. 3.9.1: Rozpiska mechanických součástí
Tab. 4.1.1: Použité měřicí přístroje a pomůcky
Tab. 4.2.1: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot přenosové charakteristiky D/A převodníku i výstupního analogového filtru $A_U = f(f)$ a závislosti harmonického zkreslení THD+N na frekvenci $THD+N = f(f)$
Tab. 4.3.1: Separace kanálů, $U_1 = 2V$
Tab. 4.4.1: Linearita D/A převodníku, $f = 1kHz$, $U_1 = 2V$

8 Seznam zkratek

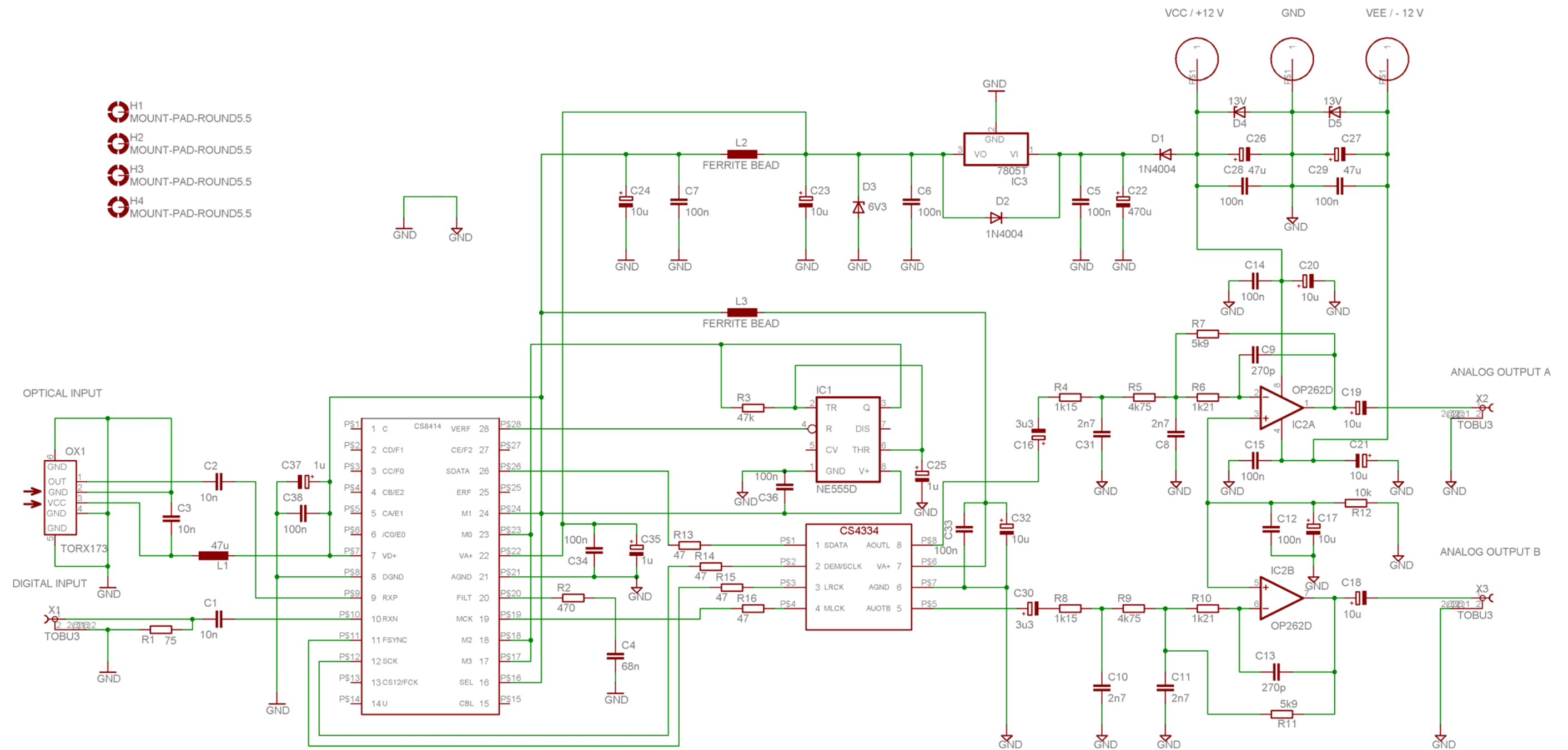
D/A	Digitálně – analogový (převod)
SPDIF	Sony/Philips Digital Interconnect Format
AES	Advanced Encryption Standard
CD	Compact Disc
DVD	Digital Versatile Disc
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
LED	Light Emission Diode
SDATA	Serial Data
LRCK	Left – Right Clock
SCLK	Slave Clock
MCLK	Master Clock
THD+N	Total Harmonic Distortion + Noise
PVC	Poly Vinyl Chlorid

9 Seznam použité literatury

- [1] Převodník D/A pro audio. Praktická elektronika ARadio 4/2003. Amaro, 2003.
- [2] Katalogový list Cirrus Logic CDB4334/8/9. Evaluation Board for CS4334/8/9 Family of Products. Cirrus Logic, 1998, [cit. 12. ledna 2008]. Dostupné na www.cirrus.com
- [3] Katalogový list Cirrus Logic CS4334/5/8/9. 8-Pin, 24-Bit, 96 kHz Stereo D/A Converter. Cirrus Logic, 2008, [cit. 12. ledna 2008]. Dostupné na: www.cirrus.com
- [4] Katalogový list Cirrus Logic CS8413, CS8414. 96 kHz Digital Audio Receiver. Cirrus Logic, 2005, [cit. 12. ledna 2008]. Dostupné na: www.cirrus.com
- [5] KRATOCHVÍL, T. Přednáška BNFE č. 8. bnfe_prednaska_8.pdf. VUT FEKT Brno, 2006
- [6] S/PDIF digitálně analogový převodník. Praktická elektronika ARadio 11/2006. Amaro, 2006
- [7] Katalogový list Zetex. Package information – TSSOP20, 2006, [cit. 12. ledna 2008]. Dostupné na: www.zetex.com .
- [8] RADIO PLUS. Katalog GME 2000, Rádio plus, s.r.o. 1999
- [9] Katalogový list Texas Instruments Dual and Quad high-speed low-noise Operational Amplifiers, Texas Instruments, 2005
- [10] Katalogový list Cirrus Logic AN22, Application Note. Cirrus Logic, 2005, [cit. 12. ledna 2008]. Dostupné na www.cirrus.com
- [11] Katalogový list Analog Devices OP275, Dual Bipolar/JFET, Audio Operational Amplifier, Analog Devices 1995, [cit. 12. ledna 2008]. Dostupné na www.analog.com
- [12] KRATOCHVÍL, T. Laboratorní úloha č. 8 bnfe_uloha_8.pdf. VUT FEKT Brno, 2008
- [13] KRČMÁŘ, Z. Elektronické součástky, stavebnice a moduly, Katalog EZK, 2005
- [14] COUFAL, T. Audio DAC převodník, 2007, [cit. 24. května 2008]. Dostupné na: <http://hw.cz/teorie-praxe/art1962-audio-dac-prevodnik.html> .
- [15] Katalogový list Toshiba TORX173. Fiber Optic Receiving Module for Digital Audio Equipment. Toshiba, 2001, [cit. 24. května 2008]. Dostupné na: www.toshiba.com

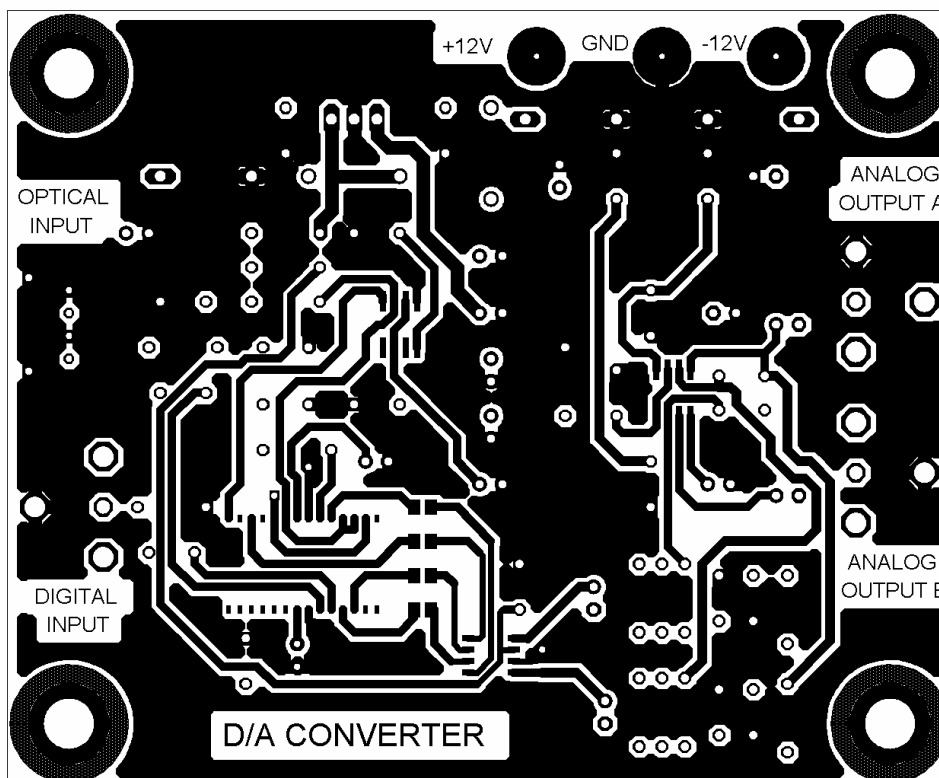
10 Přílohy

Příloha A: Úplné schéma zapojení modulu D/A převodníku

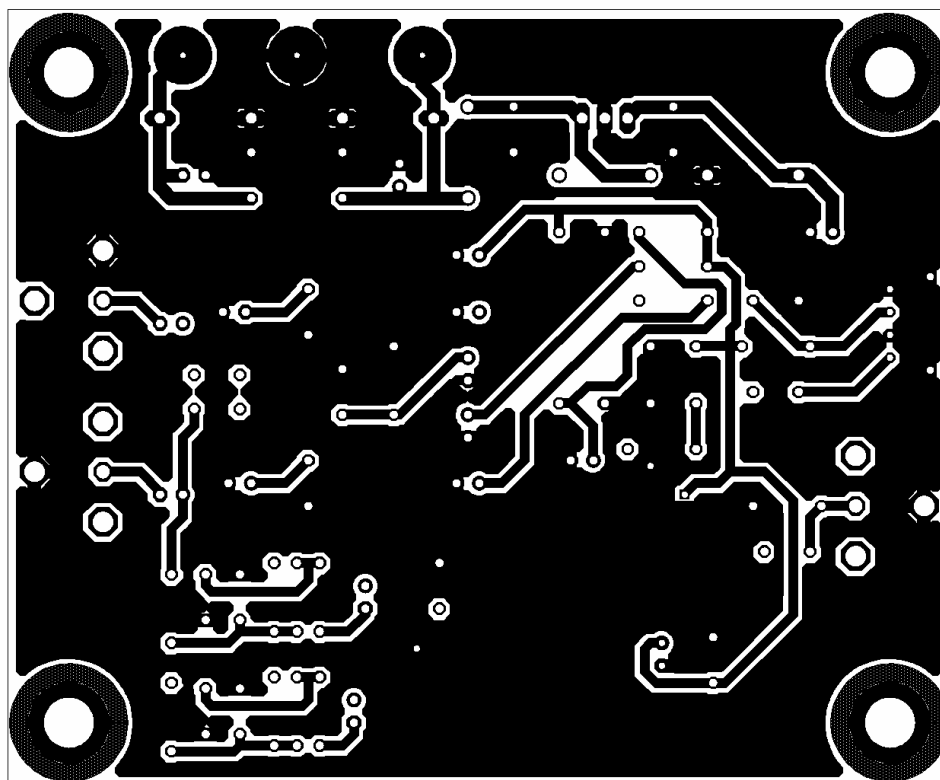


Obr. 3.6.1: Úplné schéma zapojení modulu D/A převodníku

Příloha B: Deska plošných spojů

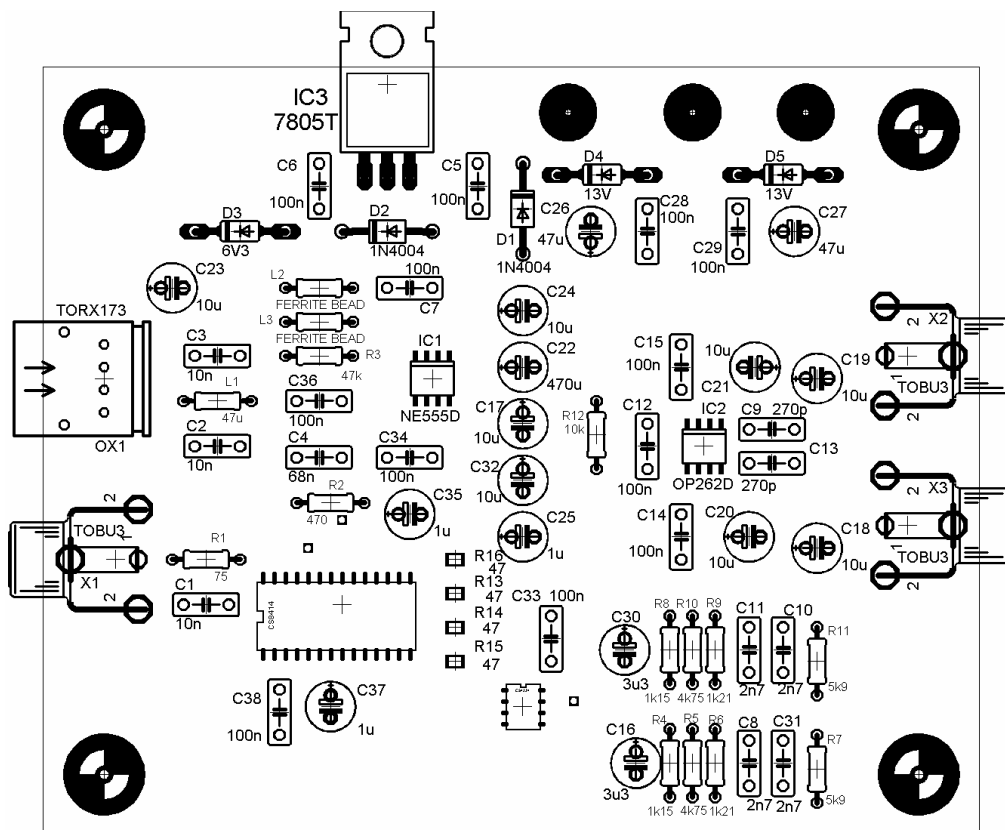


Obr. 3.7.1: Výkres horní vrstvy desky plošného spoje – strana součástek, M 1:1 (105 x 89)



Obr. 3.7.2: Výkres spodní vrstvy desky plošného spoje – strana spojů, M 1:1 (105 x 89)

Příloha C: Rozmístění součástek na plošném spoji



Obr. 3.7.3: Výkres rozmístění součástek na plošném spoji

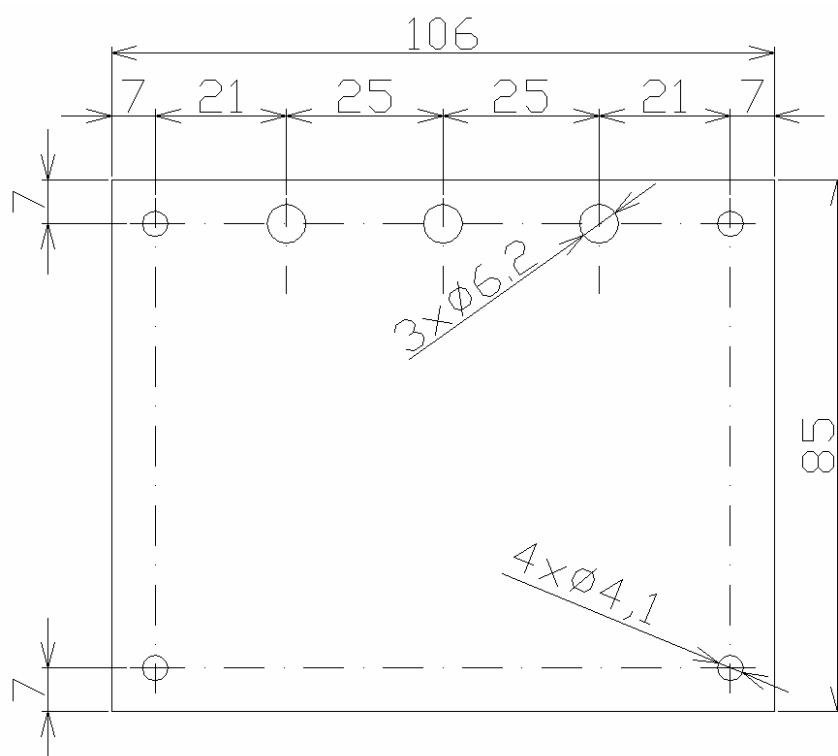
Příloha D: Rozpiska součástek

Položka	Název	Označení	Hodnota	Poznámka, pouzdro
1	Kondenzátor	C1	10nF	C050-025x075
2	Kondenzátor	C2	10nF	C050-025x075
3	Kondenzátor	C3	10nF	C050-025x075
4	Kondenzátor	C4	68nF	C050-025x075
5	Kondenzátor	C5	100nF	C050-025x075
6	Kondenzátor	C6	100nF	C050-025x075
7	Kondenzátor	C7	100nF	C050-025x075
8	Kondenzátor	C8	2,7nF	C050-025x075
9	Kondenzátor	C9	270pF	C050-025x075
10	Kondenzátor	C10	2,7nF	C050-025x075
11	Kondenzátor	C11	2,7nF	C050-025x075
12	Kondenzátor	C12	100nF	C050-025x075
13	Kondenzátor	C13	270pF	C050-025x075
14	Kondenzátor	C14	100nF	C050-025x075
15	Kondenzátor	C15	100nF	C050-025x075
16	Kondenzátor	C16	3,3uF	E2,5 – 6E
17	Kondenzátor	C17	10uF	E2,5 – 6E
18	Kondenzátor	C18	10uF	E2,5 – 6E
19	Kondenzátor	C19	10uF	E2,5 – 6E
20	Kondenzátor	C20	10uF	E2,5 – 6E
21	Kondenzátor	C21	10uF	E2,5 – 6E
22	Kondenzátor	C22	470uF	E2,5 – 6E
23	Kondenzátor	C23	10uF	E2,5 – 6E
24	Kondenzátor	C24	10nF	E2,5 – 6E
25	Kondenzátor	C25	1uF	E2,5 – 6E
26	Kondenzátor	C26	47uF	E2,5 – 6E
27	Kondenzátor	C27	47uF	E2,5 – 6E
28	Kondenzátor	C28	100nF	C050-025x075
29	Kondenzátor	C29	100nF	C050-025x075
30	Kondenzátor	C30	3,3uF	E2,5 – 6E
31	Kondenzátor	C31	2,7nF	C050-025x075
32	Kondenzátor	C32	10uF	E2,5 – 6E
33	Kondenzátor	C33	100nF	C050-025x075
34	Kondenzátor	C34	100nF	C050-025x075
35	Kondenzátor	C35	1uF	E2,5 – 6E
36	Kondenzátor	C36	100nF	C050-025x075
37	Kondenzátor	C37	1uF	E2,5 – 6E
38	Kondenzátor	C38	100nF	C050-025x075
39	Konektor CINCH	X1	TOBU3	oranžový
40	Konektor CINCH	X2	TOBU4	červený
41	Konektor CINCH	X3	TOBU5	bílý
42	Přijímač dig.sig.	CS1	CS8414	SOIC 28
43	D/A převodník	CS2	CS4334	SOIC8
44	Dioda	D1	1N4007	DO41 - 10
45	Dioda	D2	1N4007	DO41 - 10
46	Zenerova dioda	D3	6,3V	SOD81
47	Zenerova dioda	D4	13V	SOD81
48	Zenerova dioda	D5	13V	SOD81

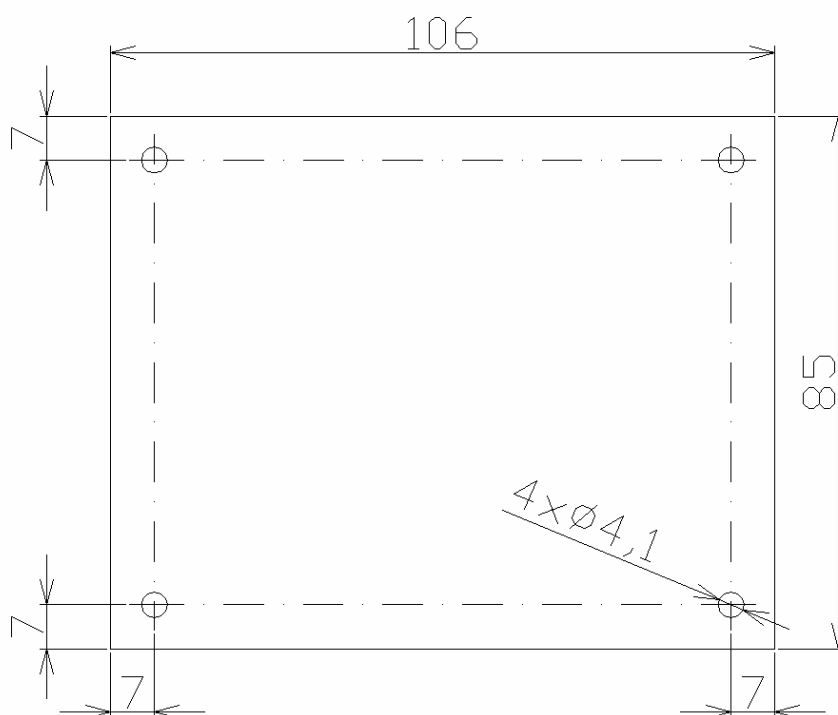
Položka	Název	Označení	Hodnota	Poznámka, pouzdro
49	Časovač 555	IC1	NE555D	SO08
50	Operační zesilovač	IC2	OP275D	SO08
51	Stabilizátor	IC3	7805T	TO220H
52	Indukčnost	L1	47uH	0204/7
53	Cívka	L2	FB	0204/7
54	Cívka	L3	FB	0204/7
55	Optický přijímač	OX1	TORX173	TORX173
56	Rezistor	R1	75Ω	0204/7
57	Rezistor	R2	470Ω	0204/7
58	Rezistor	R3	47kΩ	0204/7
59	Rezistor	R4	1,15kΩ	0204/7
60	Rezistor	R5	4,75kΩ	0204/7
61	Rezistor	R6	1,21kΩ	0204/7
62	Rezistor	R7	5,9kΩ	0204/7
63	Rezistor	R8	1,15kΩ	0204/7
64	Rezistor	R9	4,75kΩ	0204/7
65	Rezistor	R10	1,21kΩ	0204/7
66	Rezistor	R11	5,9kΩ	0204/7
67	Rezistor	R12	10kΩ	0204/7
68	Rezistor	R13	47Ω	M0805
69	Rezistor	R14	47Ω	M0806
70	Rezistor	R15	47Ω	M0807
71	Rezistor	R16	47Ω	M0808
72	Zdíčka banánku	X4	K200	červená
73	Zdíčka banánku	X5	K200	černá
74	Zdíčka banánku	X6	K200	modrá

Tab. 3.8.1: Rozpiska součástek

Příloha E: Mechanické uspořádání



Obr. 3.9.1: Výkres horního panelu

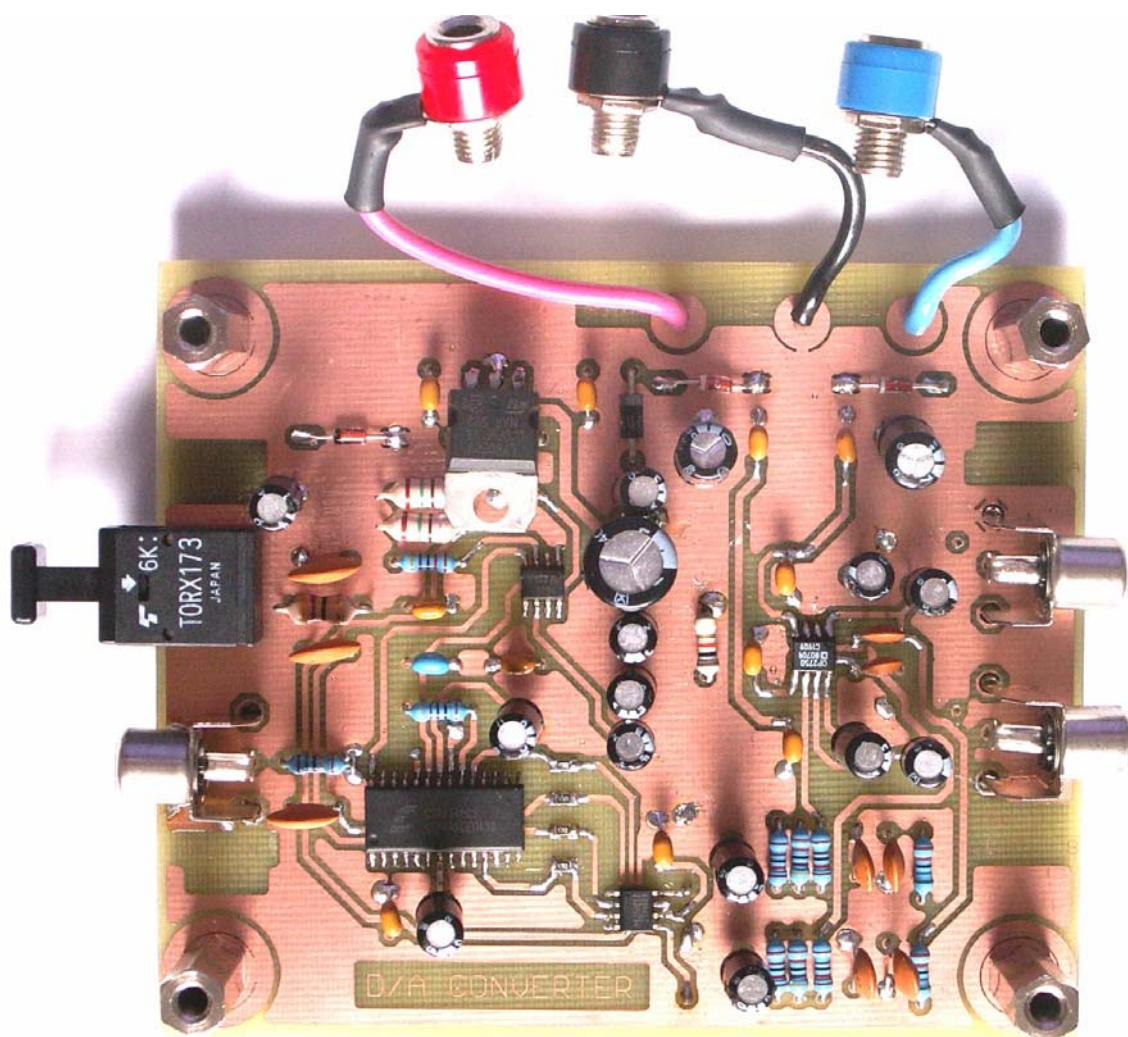


Obr. 3.9.2: Výkres spodního panelu

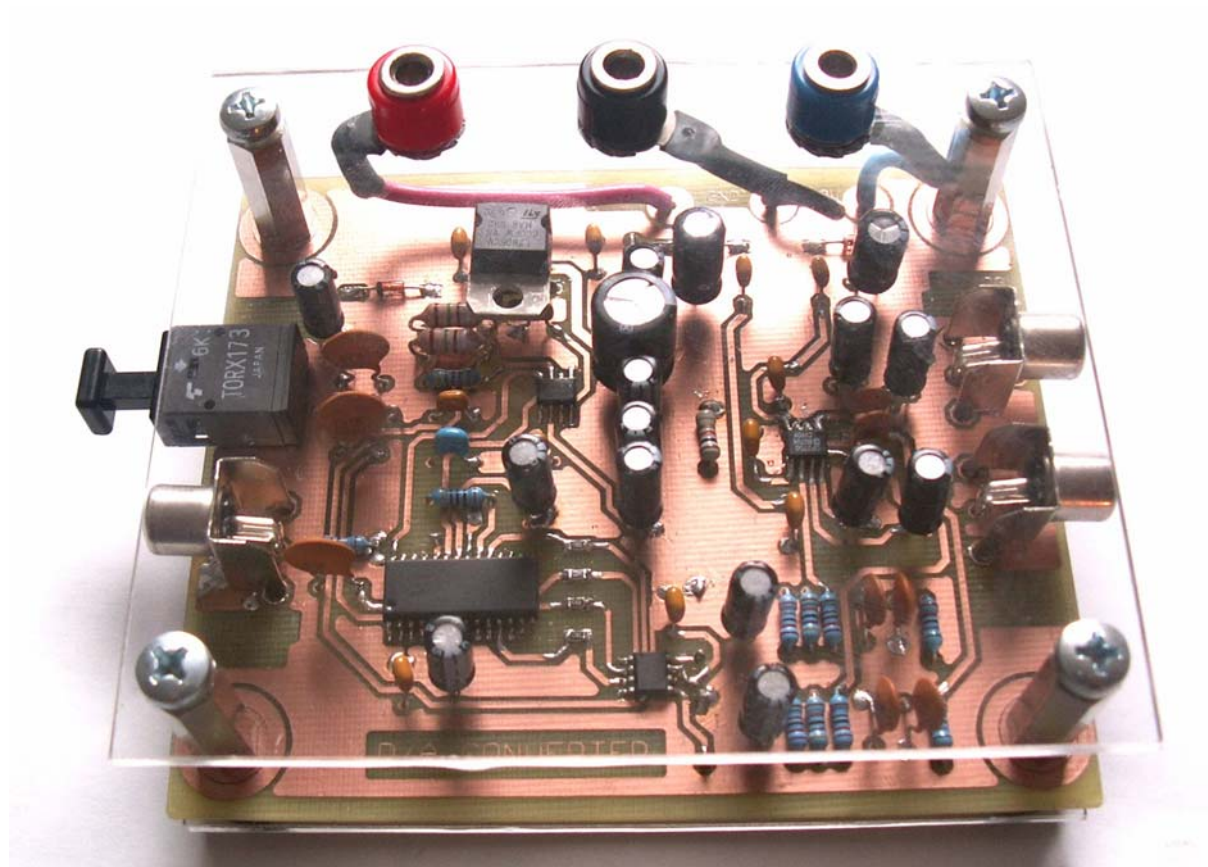
Položka	Název	Kusů	Materiál	Poznámka
1	DPS	1	-	modul
2	Horní panel	1	plexisklo	čiré
3	Spodní panel	1	plexisklo	čiré
4	Šroub M4x10	4	Fe	zinkováno
5	Šroub M4x6	4	Fe	zinkováno
6	Distanční sloupek DA 7-5	4	Fe	niklováno
7	Distanční sloupek DI 7-20	4	Fe	niklováno
8	Nožička U-KPNO1	4	PVC	-
9	Podložka vějířová, ø6,2	4	Fe	zinkováno

Tab. 3.9.1: Rozpiska mechanických součástí

Příloha F: Fotodokumentace



Obr. 3.7.4: Fotografie osazené desky plošných spojů součástkami



Obr. 3.9.3: Fotografie kompletního laboratorního přípravku D/A převodníku