

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

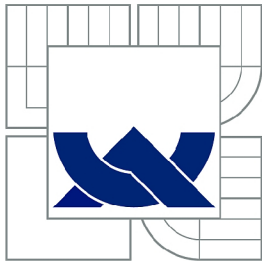
KOREKČNÍ PŘEDZESILOVAČ S DIGITÁLNĚ ŘÍZENÝM
AUDIO PROCESOREM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

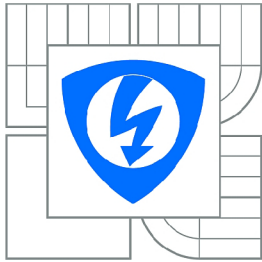
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB LANÍK

BRNO 2011



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

KOREKČNÍ PŘEDZESILOVAČ S DIGITÁLNĚ ŘÍZENÝM AUDIO PROCESOREM

CORRECTION PRE-AMPLIFIER WITH THE DIGITAL AUDIO PROCESSOR AND
DIGITAL CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

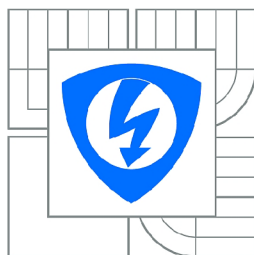
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB LANÍK

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. TOMÁŠ KRATOCHVÍL, PH.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jakub Laník

ID: 115215

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Korekční předzesilovač s digitálně řízeným audio procesorem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte obvodové zapojení korekčního předzesilovače se 4 vstupy a digitálním audio procesorem (např. TDA7318), který bude řízený přes I2C sběrnici a doplněný displejem pro zobrazení indikace vybuzení a nastavení audio procesoru. Pro řízení předpokládejte implementaci algoritmu v procesoru ATmega. Zapojení dále doplňte samostatným napájecím zdrojem.

Vytvořte kompletní konstrukční podklady k realizaci návrhu (schéma zapojení, návrh desky plošného spoje, rozložení a soupiska součástek, výpis programu řízení mikroprocesoru a jeho vývojové schéma atd.). Navržené zařízení realizujte formou funkčního prototypu a experimentálním měření v laboratoři nízkofrekvenční elektroniky ověřte jeho činnost. Výsledky měření zpracujte formou standardního protokolu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WIRSUM, S. Abeceda nf techniky. Praha: BEN - technická literatura, 2003.

[2] ST Microelectronics [online]. Datasheet TDA7418 - Digital controlled stereo audio processor. ST Microelectronics, Inc., 2005 - [cit. 3. 6. 2010]. Dostupné na www:
<http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/1491.pdf>

[3] METZLER, B. Audio Measurement Handbook. Beaverton: Audio Presision, Inc., 1993.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Projekt se zabývá návrhem analogového nízkofrekvenčního korekčního předzesilovače, který využívá funkce digitálně řízeného integrovaného obvodu speciálně pro účely korekce frekvencí a přepínání vstupů. Celé zařízení je řízeno mikrontrólem a je doplněno displejem pro zobrazování aktuálního nastavení předzesilovače a také pro indikaci vybuzení. Uživatel má možnost dálkového ovládnání pomocí infračerveného ovladače nebo ovládnání pomocí rotačního kodéru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mikrokontrolér, korekční předzesilovač, dálkové ovládnání, I²C, ATmega

ABSTRACT

Project solves design of analog audio frequency correction pre-amplifier, which contains digital controlled integrated circuit specialized for the preamplifier operation. Device is controlled by microcontroller and it is extended with LCD display which shows actual pre-amplifier setting and actual indication. User has choice of remote control via infra red controller or local control via rotary encoder.

KEYWORDS

Microcontroller, corection pre-amplifier, remote control, I²C, ATmega

LANÍK, J. *Korekční předzesilovač s digitálně řízeným audio procesorem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 60 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Korekční předzesilovač s digitálně řízeným audio procesorem“ 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

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

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

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	11
1 Bloková struktura předzesilovače	12
1.1 Obvod vlastního korekčního předzesilovače	13
1.1.1 Základní parametry obvodu TDA7439	14
1.2 Mikrokontrolér	14
1.3 LCD displej	15
1.4 Vstupní periferie	15
1.4.1 IR přijímač	15
1.4.2 Rotační enkodér	15
1.4.3 Senzor okolního osvětlení	16
1.5 Napájecí zdroj	16
2 Řešení analogové části	17
2.1 Popis funkce NF předzesilovače	17
2.1.1 Úprava NF signálu z výstupu multiplexeru pro A/D převod	18
2.2 Výpočet hodnot externích součástek kmitočtových korektorů	19
2.2.1 Výpočet hodnot součástek korektoru hloubek	19
2.2.2 Ověření parametrů korektoru hloubek	20
2.2.3 Výpočet hodnot součástek korektoru středů	21
2.2.4 Ověření parametrů korektoru středů	22
2.2.5 Výpočet hodnot součástek korektoru výšek	23
3 Řešení digitální části	24
4 Napájecí zdroj	26
4.1 Popis funkce	26
4.2 Základní požadavky na napájecí zdroj	26
4.3 Výběr vhodného transformátoru	26
4.4 Výpočet kapacit filtračních kondenzátorů	27
4.5 Výběr vhodných stabilizátorů	28
5 Konstrukce	29
5.1 Postup osazení DPS	29
5.2 Postup oživení prototypu	29

6 Firmware	31
6.1 Knihovny	31
6.1.1 Interní EEPROM	31
6.1.2 Interní A/D převodník	31
6.1.3 Dekodér RC5	31
6.1.4 Sběrnice I ² C	33
6.1.5 Knihovna LCD s řadičem KS0066	33
6.1.6 Ovládání rotačního kodéru	33
6.1.7 Knihovna pro řízení časovačů	33
6.2 Kooperativní multitasking	33
6.2.1 Uživatelské menu	34
7 Závěr	36
Literatura	37
Seznam symbolů, veličin a zkratk	39
Seznam příloh	40
A Obvodová schémata zapojení	41
B Desky plošných spojů	44
C Rozložení součástek	46
D Rozpiska součástek	48
E Naměřené výsledky	51
F Fotodokumentace	60

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Blokové schéma korekčního předzesilovače	12
1.2	Blokové schéma integrovaného obvodu TDA7439	13
2.1	Schéma zapojení T-článku	19
6.1	Struktura ovládacího firmwaru	32
A.1	Schéma zapojení napájecího zdroje	41
A.2	Schéma zapojení analogové části	42
A.3	Schéma zapojení digitální části	43
B.1	Obrazec plošného spoje digitální a analogové části	44
B.2	Obrazec plošného spoje napájecího zdroje	44
B.3	Obrazec plošného spoje panelu	45
C.1	Rozložení součástek digitální a analogové části	46
C.2	Rozložení součástek napájecího zdroje	46
C.3	Rozložení součástek panelové desky	47
E.1	Blokové schéma měřicí aparatury	51
E.2	Frekvenční charakteristiky korektoru hloubek	52
E.3	Frekvenční charakteristiky korektoru středů	52
E.4	Frekvenční charakteristiky korektoru výšek	53
E.5	Frekvenční charakteristiky kombinace všech korektorů	53
E.6	Frekvenční charakteristiky vstupu 1 bez kmitočtových korektorů . . .	54
E.7	Frekvenční charakteristiky vstupu 2 bez kmitočtových korektorů . . .	54
E.8	Frekvenční charakteristiky vstupu 3 bez kmitočtových korektorů . . .	55
E.9	Frekvenční charakteristiky vstupu 4 bez kmitočtových korektorů . . .	55
E.10	Měření linearity přenosu vstupu 1	56
E.11	Měření linearity přenosu vstupu 2	56
E.12	Měření linearity přenosu vstupu 3	57
E.13	Měření linearity přenosu vstupu 4	57
E.14	Měření harmonického zkreslení vstupu 1	58
E.15	Měření harmonického zkreslení vstupu 2	58
E.16	Měření harmonického zkreslení vstupu 3	59
E.17	Měření harmonického zkreslení vstupu 4	59
F.1	Otevřený sestavený přístroj	60
F.2	Čelní panel přístroje	60

SEZNAM TABULEK

1.1	Základní elektrické parametry TDA7439	14
1.2	Rozsahy regulace audio parametrů TDA7439	14

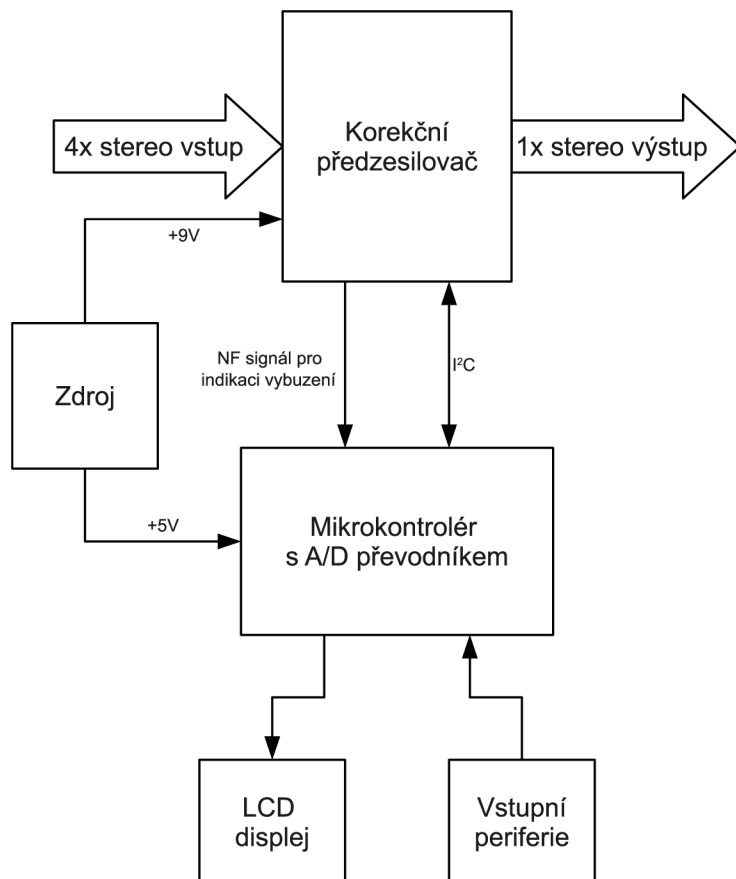
ÚVOD

Korekční předzesilovač je nízkofrekvenční zařízení, jenž má za úkol vstupní audio signál podle potřeb uživatele frekvenčně upravit (různá kmitočtová pásma zesílit nebo zeslabit) a také zesílit na požadovanou úroveň pro vybuzení dalšího bloku (koncového zesilovače). Touto problematikou se zabývá např. [1] nebo [2]. Může být také vybaven přepínačem vstupů, který slouží k výběru jednoho ze svých vstupů na výstup, což má praktické použití pokud uživatel vlastní více zdrojů audio signálu (např. audio výstup televizního přijímače, CD přehrávač, gramofon a jiné), není proto nutno ručně přepojovat konektory na jeden vstup.

Projekt se zabývá teoretickým návrhem a také praktickou realizací NF korekčního předzesilovače s přepínačem vstupů. Korekční předzesilovač má trojpásmové frekvenční korekce a čtyři stereofonní vstupy. Dále je vybaven infračerveným dálkovým ovládáním, místním ovládáním pomocí rotačního enkodéru a v neposlední řadě dvouřádkovým alfanumerickým LCD displejem pro zobrazení aktuálního nastavení přístroje a indikace vybuzení. Výstupem tohoto projektu jsou úplné konstrukční podklady celého zařízení včetně napájecího zdroje. Byl zkonstruován prototyp a experimentálně byla prověřena jeho správná funkčnost.

1 BLOKOVÁ STRUKTURA PŘEDZESILOVAČE

Na obrázku 1.1 je uvedeno blokové schéma předzesilovače a níže jsou popsány jednotlivé bloky.

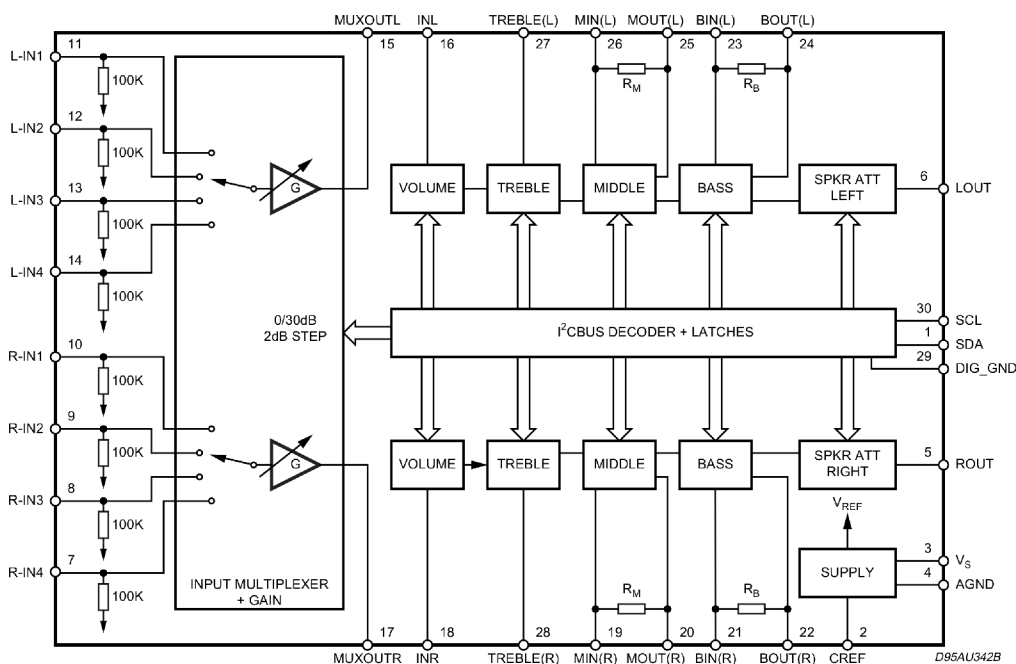


Obr. 1.1: Blokové schéma korekčního předzesilovače

- Vlastní korekční předzesilovač ve formě vhodného integrovaného obvodu TDA7439
- Mikrokontrolér zajišťující ovládání celého zařízení vybaven A/D převodníkem pro převod analogového NF signálu na digitální pro indikaci vybuzení na LCD displeji a pro převod analogového napětí senzoru osvětlení pro nastavení jasu LCD displeje
- Dvouřádkový alfanumerický displej pro zobrazení aktuálního nastavení předzesilovače a indikace vybuzení
- Ovládací periferie - přijímač a dekodér infračerveného signálu, rotační enkodér, senzor osvětlení pro nastavení jasu LCD displeje
- Napájecí zdroj dvou napětí 9V pro NF část a 5V pro digitální část

1.1 Obvod vlastního korekčního předzesilovače

Mimo funkce přepínání vstupů a kmitočtové korekce byl hlavní požadavek na předzesilovač také ovládat jej pomocí sběrnice I²C, což prakticky umožňuje (v rámci jednoduchosti a nenáročnosti) pouze monolitický obvod předzesilovače. Všechny tyto uvedené vlastnosti má integrovaný obvod TDA7439 [3], který byl vybrán pro tento návrh.



Obr. 1.2: Blokové schéma integrovaného obvodu TDA7439 [3]

Jak je patrné z blokového schématu integrovaného obvodu na obrázku 1.2, má obvod následující výbavu:

- Multiplexer jehož funkce je přepínat na svůj výstup pouze jeden ze čtyř stereofoonních vstupů.
- Předzesilovač který má za úkol zesilovat vstupní signál na požadovanou úroveň (zpravidla $U_{ef} = 1V$), v této konstrukci je jeho výstup přiveden také na A/D převodník mikroprocesoru pro indikaci vybuzení.
- Atenuátor pro nastavení výstupní hlasitosti.
- Tří pásmový kmitočtový korektor - jeho úkolem je korigovat frekvenční přenosovou charakteristiku (lomové frekvence se nastavují externími prvky).

- Výstupní atenuátor, jenž má za úkol regulaci vyvážení mezi jednotlivými kanály.

1.1.1 Základní parametry obvodu TDA7439

Tab. 1.1: Základní elektrické parametry TDA7439

Značka	Parametr	Min.	Typ.	Max.	Jedn.
U_{nap}	Napájecí napětí	6	9	10.2	V
I_{nap}	Napájecí proud	4	7	10	mA
R_{vst}	Vstupní odpor	70	100	130	k Ω
U_{clip}	Vstupní napětí před přebuzením	2	2.5		V
Z_{vyst}	Výstupní impedance	10	40	70	Ω
R_z	Zatěžovací odpor výstupu	2			k Ω
S/N	Poměr signál/šum ¹	95	106		dB
THD	Celkové harmonické zkreslení ²		0.01	0.1	%

Tab. 1.2: Rozsahy regulace audio parametrů TDA7439

Parametr	Min.	Max.	Jedn.
Vstupní zisk (2dB krok)	0	30	dB
Výstupní hlasitost (1dB krok)	-47	0	dB
Korekce výšek (2dB krok)	-14	14	dB
Korekce středů (2dB krok)	-14	14	dB
Korekce hloubek (2dB krok)	-14	14	dB
Regulace vyvážení (1dB krok)	-79	0	dB

1.2 Mikrokontrolér

Jak již bylo uvedeno výše, základní požadavek na mikrokontrolér je A/D převodník. V této konstrukci jsou potřeba alespoň 3 kanály A/D převodníku (dva kanály pro levý a pravý NF signál a jeden pro převod napětí úměrného okolnímu osvětlení na digitální hodnotu pro nastavení jasu LCD displeje).

Dále je vhodné, aby byl mikrokontrolér hardwarově vybaven komunikací I²C (hlavně kvůli komunikaci s IO TDA7439), funkcí IC (input capture - funkce určená

¹ $G = 0\text{dB}$; $U_{vyst} = 1V_{\text{rms}}$

² $f = 1\text{KHz}$; $U_{vyst} = 1V_{\text{rms}}$

primárně pro přesná měření časových intervalů) pro příjem IR ovládání a také PWM výstupem pro řízení jasu LCD displeje.

Také je vhodné, pokud mikrokontrolér umí na hardwarové úrovni komunikovat přes UART, který lze velmi výhodně využít při ladění programu a to posíláním ladících informací do počítače přes rozhraní RS232 za pomoci převodníku úrovní (např. MAX232) nebo přes rozhraní USB za pomoci převodníku UART/USB (např. FT232).

V neposlední řadě je vhodné, aby mikrokontrolér obsahoval rozhraní pro programování přímo v aplikaci (např. JTAG).

Po zvážení všech těchto kritérií byl zvolen mikrokontrolér firmy Atmel AVR ATmega16 [4], který má dostatečný počet vstupně/výstupních portů a je vybaven všemi výše uvedenými periferiemi.

1.3 LCD displej

Pro pohodlí uživatele je v dnešní době běžné, že nízkofrekvenční technika obsahuje zobrazovací jednotku, resp. displej. Proto byl i v tomto návrhu vybrán dvouřádkový LCD displej z důvodu malé spotřeby oproti např. LED zobrazovačům a také nenáročnosti na procesorový čas oproti např. grafickým displejům. V této konstrukci byl tedy zvolen konkrétní typ displeje GDM1602A [5] s klasickým řadičem KS0066 [5].

Jas jeho podsvícení je regulován PWM modulací v závislosti na okolním osvětlení (tuto funkci zajišťuje mikrokontrolér). Displej v tomto zařízení informuje obsluhu o konkrétním nastavení předzesilovače, dále se díky němu obsluha může pohybovat v servisním menu a v neposlední řadě slouží k indikaci vybuzení.

1.4 Vstupní periferie

1.4.1 IR přijímač

IR přijímač je zde z důvodu dálkového ovládání pomocí IR dálkového ovladače. IR přijímač přijímá IR signály a následně demoduluje a odesílá přímo na vstupní pin mikrokontroléru, kde dojde k jeho přečtení a následnému vyhodnocení. V návrhu se předpokládá použití přenosového protokolu RC5 [7]. V této konstrukci byl vybrán přijímač SFH5110 [6].

1.4.2 Rotační enkodér

V dnešní době se pro místní ovládání přístrojů hojně používají rotační enkodéry [8]. Jejich cena je srovnatelná s dvěma či třemi kvalitními tlačítky. Proto byl zvolen

rotační enkodér pro ovládání projektem řešeného zařízení. Rotační enkodér slouží uživateli jako alternativní možnost ovládání a také k servisnímu nastavení zařízení.

Pro tuto konstrukci byl vybrán rotační enkodér P-RE20S [9], který splňuje základní požadavky-axialní tlačítko pro funkci potvrzení a dva směry rotace.

1.4.3 Senzor okolního osvětlení

V rámci snížení spotřeby zařízení je podsvětlení LCD displeje regulováno v závislosti na okolním osvětlení. Ke snímání je použito analogové čidlo osvětlení-Fotorezistor VT83N2 [10]. Napětí úměrné osvětlení je převedeno a zpracováno A/D převodníkem v procesoru ATmega.

1.5 Napájecí zdroj

Pro napájení celého zařízení byl navržen napájecí zdroj s transformátorem. Má dvě nezávislá napětí s oddělenými zeměmi díky dvojnému sekundárnímu vinutí transformátoru pro napájení digitální a analogové části zvláště z důvodů zamezení možného vzniku nízkofrekvenčních rušení hovorově „brumů“. Návrh zdroje je obsažen v kapitole 4 tohoto textu.

2 ŘEŠENÍ ANALOGOVÉ ČÁSTI

Analogová část se skládá z hlediska blokového schématu na obrázku 1.1 v podstatě pouze z bloku vlastního předzesilovače. Úplné schéma analogové části je v příloze na obrázku A.2.

Jak již bylo uvedeno výše, základním prvkem analogové části (vlastního předzesilovače) je IO TDA7439. Základní vlastnosti tohoto obvodu již byly popsány v části 1.1. TDA7439 je zapojen podle doporučeného zapojení výrobce [3].

TDA7439 má mimo jiné vlastní zdroj referenčního napětí pro ovládání svých bloků. Referenční napětí je vyvedeno na pin 2, výrobce jej doporučuje filtrovat elektrolytickým kondenzátorem s kapacitou $10\mu\text{F}$. Proto je na pinu 2 IC1 zapojen kondenzátor C3 s touto kapacitou.

2.1 Popis funkce NF předzesilovače

Napájecí napětí předzesilovače bylo zvoleno 9V pro plné využití dynamického rozsahu obvodu TDA7439. Je přivedeno na konektor SL3, piny 1,2. C31 a C32 (viz obr. A.2) jsou blokovací kondenzátory s kapacitou 100nF. Jejich úkolem je zkratovat na zem případné rušení na vyšších kmitočtech. Drátová propojka J1 propojuje analogovou a digitální zem.

Čtveřice stereofonních nízkofrekvenčních vstupů je připojena přes konektor SV3, NF signál je dále veden přes oddělovací kondenzátory (C21-C28) přímo do obvodu IC1 (TDA7439). Výrobce uvádí, že vstupní odpor vstupů $R_{vst} = 100\text{k}\Omega$, což znamená, že není nutno žádné impedanční oddělení vstupních signálů, protože výstupní impedance dnešních zdrojů audio signálu (CD přehrávač, zvuková karta PC apod.), má výstupní impedanci řádově desítky Ω až jednotky $\text{k}\Omega$. Nedojde tedy k zatížení zdroje signálu.

Spojením kondenzátoru a rezistoru v tomto případě vzniká horní propust, jejíž horní mezní frekvence pro pokles o 3dB je definována:

$$f_h = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 470 \cdot 10^{-9}} = \underline{\underline{3,386\text{Hz}}} \quad (2.1)$$

Již tímto vstupním blokem je určena minimální frekvence, kterou je předzesilovač schopen přenést, ale tato hodnota zatím splňuje definiční normu HI-FI (rozsah přenášených kmitočtů 20Hz - 20kHz).

Podle blokového schématu IO TDA7439 na obrázku 1.2 je vidět, že multiplexer vybere pouze jeden stereofonní signál ze vstupní čtveřice (čímž plní funkci přepínače vstupů), který je dále zpracováván. Dále může integrovaný předzesilovač zesílit tento vybraný signál. Zde je docíleno toho, že různě silné zdroje signálu mají na výstupu multiplexeru přibližně stejnou úroveň. Tedy není nutno, aby uživatel při výběru

jiného vstupu nemusel upravovat výstupní hlasitost, stačí pouze jednou nastavit citlivost každého vstupu pro různé zdroje audio signálu. Jak je uvedeno v tabulce 1.2 vstupní předzesilovač má rozsah zesílení (0-30)dB, což by pro většinu budících signálů mělo být postačující.

Případně zesílený signál uvnitř IC1 pokračuje na výstupní pin 15 (resp. 17). Tento signál je možné využít například pro nahrávací výstup, neboť není frekvenčně korigován a má vhodnou velikost. V tomto zapojení je právě tento signál vzorkován A/D převodníkem a podle jeho velikosti je indikováno vybuzení (blíže specifikováno v kap. 2.1.1). Signál postupuje přes další oddělovací kondenzátor C4 (C5) zpět do obvodu IC1 na pin 16 (18).

Zde již dochází k případné kmitočtové korekci a případnému zeslabení signálu pro nastavení výstupní hlasitosti. Parametry frekvenčního korektoru jsou závislé na hodnotách součástek C6-C15 a R2-R5. Hodnoty těchto součástek jsou vypočteny v kap. 2.2.

Dále se již upravuje pouze výstupní vyvážení mezi kanály a signál pokračuje přes C19 (C20) a rezistory R11 (R12) na výstupní konektor SL1. Rezistory R11 (R12) jsou zde kvůli případnému zkratu na výstupu předzesilovače, protože výrobce uvádí minimální výstupní zátěž $R_z = 2k\Omega$, byla tedy zvolena vyšší hodnota 2200Ω . Dále se zde také počítá s tím, že vstupní odpory zatěžovacích zařízení (např. koncový zesilovač) jsou v řádu desítek $k\Omega$, takže opět není potřeba žádné impedanční oddělení.

2.1.1 Úprava NF signálu z výstupu multiplexeru pro A/D převod

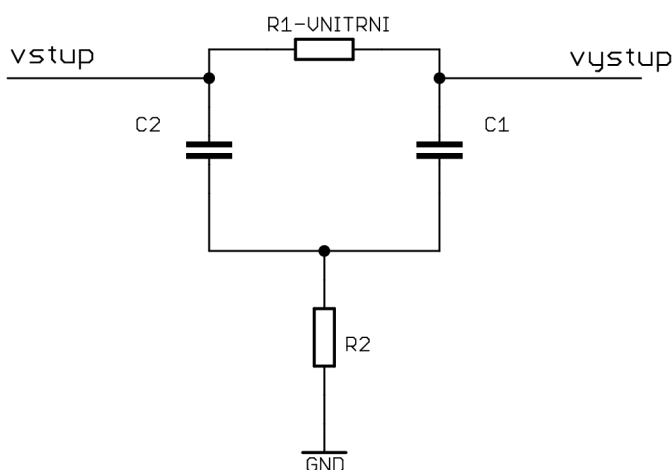
Jak již bylo uvedeno, pomocný signál pro indikaci vybuzení je získán z výstupu přepínače v IO TDA7439 (piny 15,17). Tento NF signál již má potřebnou stejnosměrnou složku, takže A/D převodník v mikroprocesoru ATmega16 je schopen přímo vzorkovat NF napětí.

NF signál prochází přes oddělovací konektory C16 (C17), dále přes dělič napětí složený z rezistorů R7, R8 (R9, R10), protože signál z IC1 má vysokou stejnosměrnou složku a s přičtením NF má vyšší hodnotu než je napájecí napětí procesoru ATmega.

Kvůli vzorkování signálu z analogové části A/D převodníkem v digitální části musí být propojena analogová a digitální zem propojkou J1 (není potřeba osazovat protože IC1 propojí tyto země). Ideální řešení by spočívalo v galvanickém oddělení vzorkovaného signálu lineárním optočlenem, ale cena dvojce lineárních optočlenů by mohla značně ovlivnit konstrukční cenu celého zařízení. Dále lze použít transformátor s vyrovnanou přenosovou charakteristikou v celém audio kmitočtovém pásmu, který je mimo váhy a rozměrů také drahý vzhledem k ceně celého zařízení.

2.2 Výpočet hodnot externích součástí kmitočtových korektorů

Korektory hloubek a středů jsou uvnitř TDA7439 koncipovány jako řízené zesilovače s připojenými pásmovými zádržemi typu T-článek, který je zobrazen na obrázku 2.1. Rezistor R1 je interní přímo v IO, tzn. jeho hodnota je pevně nastavená (snížení jeho hodnoty je možno pouze připojením paralelního rezistoru-není zde využito). Parametry T-článku lze měnit pouze zbývajícími externími součástkami.



Obr. 2.1: Schéma zapojení T-článku

Korektor výšek je koncipován jako řízený zesilovač s připojenou pouze horní propustí, u které lze nastavit lomový kmitočet jedním externím kondenzátorem (interní rezistor je opět pevně nastaven uvnitř IO).

2.2.1 Výpočet hodnot součástí korektoru hloubek

Maximální regulace korektoru hloubek je $\pm 14\text{dB} \rightarrow A_u(f_s) = 14\text{dB} = 5,01$ (podle 1.2). Je to hodnota zesílení (útlumu) řízeného zesilovače, která udává do jaké míry může být korigována frekvenční přenosová charakteristika předzesilovače. Výrobce doporučuje hodnotu střední frekvence korektoru hloubek $f_s = 100\text{Hz}$ a hodnotu činitele jakosti $Q = 1,4$, hodnota vnitřního rezistoru je $R1 = 44\text{k}\Omega$.

Další výpočty jsou prováděny s číslováním součástí podle obrázku 2.1, poté se přiřadí ke správným součástkám v obvodovém schématu na obrázku A.2

Vztahy pro výpočet součástí T-článku R2, C1, C2 jsou uvedeny v [3]

- Výpočet hodnoty kondenzátoru C1:

$$C1 = \frac{A_u(f_s) - 1}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot R1 \cdot Q} = \frac{5,01 - 1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 44000 \cdot 1,4} \quad (2.2)$$

$$C1 = 103,6\text{nF} \sim \underline{100\text{nF}} \quad (2.3)$$

Byla zvolena nejbližší hodnota ve výrobní řadě E12.

- Výpočet hodnoty kondenzátoru C2

$$C2 = \frac{Q^2 \cdot C1}{A_u(f_s) - 1 - Q^2} = \frac{1,4^2 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}{5,01 - 1 - 1,4^2} \quad (2.4)$$

$$C2 = 95,52\text{nF} \sim \underline{100\text{nF}} \quad (2.5)$$

Opět byla zvolena nejbližší hodnota ve výrobní řadě E12.

- Výpočet hodnoty rezistoru R2

$$R2 = \frac{A_u(f_s) - 1 - Q^2}{2 \cdot \pi \cdot C1 \cdot f_s \cdot (A_u(f_s) - 1)} \quad (2.6)$$

$$R2 = \frac{5,01 - 1 - 1,4^2}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 100 \cdot (5,01 - 1) \cdot 1,4} \quad (2.7)$$

$$R2 = 5814\Omega \sim \underline{5600\Omega} \quad (2.8)$$

V rámci souladu se schématem zapojení předzesilovače na obrázku A.2, tedy platí:

- $R2 = R3 = R2_{T-clanku} = 5600\Omega$
- $C9 = C11 = C1_{T-clanku} = 100\text{nF}$
- $C8 = C10 = C2_{T-clanku} = 100\text{nF}$

2.2.2 Ověření parametrů korektoru hloubek

Z důvodů zaokrouhlování vypočtených hodnot do výrobních řad je vhodné provést kontrolu, zda nedošlo k větší změně požadovaných parametrů. Patříčné vztahy jsou opět uvedeny v [3].

- Výpočet střední frekvence, na které je nejvyšší útlum T-článku

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}} \quad (2.9)$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{44 \cdot 10^3 \cdot 5600 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 100 \cdot 10^{-9}}} = \underline{101,39\text{Hz}} \quad (2.10)$$

- Výpočet maximálního přenosu předzesilovače na frekvenci f_s

$$A_U(f_s) = \frac{R2 \cdot C2 + R2 \cdot C1 + R1 \cdot C1}{R2 \cdot C1 + R2 \cdot C2} \quad (2.11)$$

$$A_U(f_s) = \frac{5600 \cdot 100 \cdot 10^{-9} + 5600 \cdot 100 \cdot 10^{-9} + 44000 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}{5600 \cdot 100 \cdot 10^{-9} + 5600 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} \quad (2.12)$$

$$A_U(f_s) = \underline{\underline{4,93 \sim 13,85\text{dB}}} \quad (2.13)$$

- Výpočet činitele jakosti Q

$$Q = \frac{\sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}}{R2 \cdot C1 + R2 \cdot C2} \quad (2.14)$$

$$Q = \frac{\sqrt{44000 \cdot 5600 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 100 \cdot 10^{-9}}}{5600 \cdot 100 \cdot 10^{-9} + 5600 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = \underline{\underline{1,402}} \quad (2.15)$$

Jak lze pozorovat, skutečné parametry korektoru hloubek se budou lišit od zadaných maximálně o cca 2%.

2.2.3 Výpočet hodnot součástek korektoru středů

Pro výpočet hodnot součástek korektoru středů je postup identický jako v části 2.2.1, pouze jsou jiné vstupní parametry. Rozsah korekce středních kmitočtů je stejný jako u korektoru hloubek, tedy $A_u(f_s) = 5,01$. Výrobce doporučuje hodnoty Q a f_s pro korektor středů $Q = 1,5$, $f_s = 1000\text{Hz}$, Hodnota interního rezistoru byla výrobcem nastavena na $R1 = 25\text{k}\Omega$.

- Výpočet hodnoty kondenzátoru $C1$:

$$C1 = \frac{A_u(f_s) - 1}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot R1 \cdot Q} = \frac{5,01 - 1}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 25000 \cdot 1,4} \quad (2.16)$$

$$C1 = 17,02\text{nF} \sim \underline{\underline{15\text{nF}}} \quad (2.17)$$

- Výpočet hodnoty kondenzátoru $C2$

$$C2 = \frac{Q^2 \cdot C1}{A_u(f_s) - 1 - Q^2} = \frac{1,5^2 \cdot 15 \cdot 10^{-9}}{5,01 - 1 - 1,5^2} \quad (2.18)$$

$$C2 = 19,15\text{nF} \sim \underline{\underline{22\text{nF}}} \quad (2.19)$$

- Výpočet hodnoty rezistoru R2

$$R2 = \frac{A_u(f_s) - 1 - Q^2}{2 \cdot \pi \cdot C1 \cdot f_s \cdot (A_u(f_s) - 1)} \quad (2.20)$$

$$R2 = \frac{5.01 - 1 - 1,5^2}{2 \cdot \pi \cdot 15 \cdot 10^{-9} \cdot 1000 \cdot (5.01 - 1) \cdot 1,5} \quad (2.21)$$

$$R2 = 3106\Omega \sim \underline{\underline{2700\Omega}} \quad (2.22)$$

V rámci souladu se schématem zapojení předzesilovače na obrázku A.2, tedy platí:

- $R4 = R5 = R2_{T-clanku} = 2700\Omega$
- $C12 = C15 = C1_{T-clanku} = 15\text{nF}$
- $C13 = C14 = C2_{T-clanku} = 22\text{nF}$

2.2.4 Ověření parametrů korektoru středů

Výpočet je opět identický jako v části 2.2.2

- Výpočet střední frekvence, na které je nejvyšší útlum T-článku

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}} \quad (2.23)$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{25 \cdot 10^3 \cdot 2700 \cdot 15 \cdot 10^{-9} \cdot 22 \cdot 10^{-9}}} = \underline{\underline{1066.4\text{Hz}}} \quad (2.24)$$

- Výpočet maximálního přenosu předzesilovače na frekvenci f_s

$$A_U(f_s) = \frac{R2 \cdot C2 + R2 \cdot C1 + R1 \cdot C1}{R2 \cdot C1 + R2 \cdot C2} \quad (2.25)$$

$$A_U(f_s) = \frac{2700 \cdot 22 \cdot 10^{-9} + 2700 \cdot 15 \cdot 10^{-9} + 25 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^{-9}}{2700 \cdot 15 \cdot 10^{-9} + 2700 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} \quad (2.26)$$

$$A_U(f_s) = \underline{\underline{4,75 \sim 13,54\text{dB}}} \quad (2.27)$$

- Výpočet činitele jakosti Q

$$Q = \frac{\sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}}{R2 \cdot C1 + R2 \cdot C2} \quad (2.28)$$

$$Q = \frac{\sqrt{25000 \cdot 2700 \cdot 15 \cdot 10^{-9} \cdot 22 \cdot 10^{-9}}}{2700 \cdot 15 \cdot 10^{-9} + 2700 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} = \underline{\underline{1,49}} \quad (2.29)$$

Zde lze vidět, že rozdíly jsou přibližně 5%, protože zde bylo větší zaokrouhlování vypočtených hodnot součástek do výrobních řad.

2.2.5 Výpočet hodnot součástek korektoru výšek

Zde je výpočet mnohem jednodušší, protože se jedná o horní propust prvního řádu. Výrobce doporučuje mezní frekvenci této propusti $f_m = 1\text{kHz}$. Hodnota interního rezistoru je $R = 25\text{k}\Omega$.

- Výpočet hodnoty kapacity kondenzátoru C

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f_m} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot 1000} \quad (2.30)$$

$$C = 6,36\text{nF} \sim \underline{\underline{6,8\text{nF}}} \quad (2.31)$$

- Ověření mezní frekvence f_m

$$f_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 25000 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9}} = \underline{\underline{936,2\text{Hz}}} \quad (2.32)$$

Opět v rámci souladu se schématem na obrázku A.2 platí: $C6 = C7 = C = 6,8\text{nF}$.

3 ŘEŠENÍ DIGITÁLNÍ ČÁSTI

Digitální část má za úkol zajišťovat tyto funkce:

- Ovládání vlastního předzesilovače pomocí sběrnice I²C
- Příjem povelů od uživatele
- Poskytování informací o aktuálním nastavení předzesilovače
- Zobrazování indikace vybuzení
- Regulace podsvícení LCD displeje

Schéma zapojení digitální části je na obrázku A.3. Digitální část se skládá z mikroprocesoru, dvouřádkového LCD displeje, rotačního enkodéru, IR přijímače a čidla pro okolní osvětlení.

Napájecí napětí +5V je přivedeno na konektor SL3 piny 3,4 (napájecí konektor je ve schématu analogové části na obrázku A.2). Kvůli případnému ladění programu nebo dalšímu rozšíření jsou na konektorech SV1 a SV2 vyvedeny potřebné rozhraní (JTAG, UART, I²C, SPI). Na sběrnici I²C jsou připojeny pull-up rezistory R18,R19. Zapojení vývodů programovacího rozhraní JTAG je podle [13].

Všechny výstupní piny rotačního kodéru RE1 jsou připojeny na externí přerušeni mikrokontroléru IC2 pro usnadnění programování. Kondenzátory C29,C30,C48 mají za úkol potlačit zákmity a jejich kapacity byly zvoleny experimentálně.

Fotorezistor VT83N2 je napojen na konektor SL2, který je připojen na sedmý kanál A/D převodníku v mikroprocesoru IC2. Fotorezistor spolu s R6 tvoří napěťový dělič. Převedené napětí na digitální hodnotu je tedy úměrné okolnímu osvětlení, případné linearizace a podobné korekce budou úkolem programu v mikrokontroléru IC2.

Výstup IR přijímače IR1 je připojen na pin ICP mikrokontroléru IC2, který ovládá funkci "input capture" v mikrokontroléru. Jde v podstatě o externí přerušeni s tím rozdílem, že se automaticky ukládá hodnota časovače 1 a lze této funkce s výhodou využít při dekódování asynchronní komunikace. Nejprve je na základě start bitu [7] změřena frekvence, která je pak použita k dalšímu dekódování. Tato vlastnost tedy kompenzuje případné časové odchylky od normy RC5, protože ne všichni výrobci dálkových ovladačů tyto normy dodržují. Program je řešen tak, aby bylo možné použít jakýkoli ovladač s přenosovým protokolem RC5, mikrokontrolér se musí pouze jednotlivé povely „naučit“, což už je úkol pro uživatele, aby si nastavil podle svých potřeb, jak se přístroj má chovat při stisknutí konkrétního tlačítka na dálkovém ovladači.

Datové piny LCD displeje jsou připojeny přímo k vstupně/výstupním portům mikrokontroléru . Regulace podsvícení je zajištěna PWM modulací na pinu OC2 mikrokontroléru, který je napojen na bázi tranzistoru Q2, který ve spínacím režimu reguluje podsvětlení LCD displeje. Trimr R1 reguluje kontrast displeje, který je nastaven při ožívování a dále již není potřeba kontrast měnit.

Kanály A/D převodníku čtyři a pět jsou využity ke vzorkování upraveného audio signálu (2.1.1) pro indikaci vybuzení. Indikace vybuzení je zobrazována na LCD displeji LCD1.

4 NAPÁJECÍ ZDROJ

Každé zařízení je potřeba napájet, proto vznikl požadavek na napájecí zdroj. Jeho schéma je na obrázku A.1.

4.1 Popis funkce

Síťové napětí je přivedeno na svorku X1, následuje pojistka F1 (rovnice 4.3), poté je napětí transformátorem TR1 s dvojným sekundárním vinutím sníženo na dvě oddělená napětí 9V. Každé napětí je usměrněno usměrňovacím můstkem (B1,B2), vyfiltrováno kondenzátory C38 (resp. C47) a na závěr stabilizováno obvody IC3,IC4. Výstupní napětí je vyvedeno na konektor SL4.

4.2 Základní požadavky na napájecí zdroj

Základním požadavkem jsou dvě stabilizovaná výstupní napětí s oddělenými zeměmi, +5V pro napájení digitální části a +9V pro napájení analogové části. Předpokládaný odběr proudu analogové části je v podstatě pouze odběr IC1 TDA7439, výrobce uvádí tuto hodnotu maximálně 10mA. Předpokládaný odběr proudu digitální části se skládá z odběru mikrokontroléru IC2 a LCD displeje (odběr dalších prvků může být zanedbán). IC2 taktovaný na frekvenci 8MHz má spotřebu přibližně 20mA. Odběr LCD displeje při plném podsvícení je přibližně 50mA. Digitální část má přibližný odběr 70mA. V rámci dimenzování byl zvolen minimální proud 100mA pro každé vinutí transformátoru.

4.3 Výběr vhodného transformátoru

Minimální výstupní proud I_{sek} transformátoru je tedy 100mA na každé vinutí. Sekundární napětí U_{sek} transformátoru bylo zvoleno 9V, protože při usměrnění (vzniká úbytek napětí na usměrňovacích diodách U_d) a filtraci je velikost stejnosměrného napětí U_0 :

$$U_0 = \sqrt{2} \cdot (U_{sek} - 2 \cdot U_d) = \sqrt{2} \cdot (9 - 2 \cdot 0,5) = \underline{\underline{11,31V}} \quad (4.1)$$

Tato hodnota je postačující pro stabilizaci na hodnoty 9V a 5V. Minimální výkon transformátoru na každé vinutí je tedy:

$$P = U_{sek} \cdot I_{sek} = 9 \cdot 0,1 = \underline{\underline{0,9W}} \quad (4.2)$$

Po zvážení těchto požadavků byl zvolen transformátor EI30-2x9V, který má výkon 1,4VA na každé vinutí.

Výpočet hodnoty pojistky F1 (účinnost transformátoru TR1 je odhadnuta na 0,8):

$$I_{F1} = \frac{P_{TR1}}{U_{1ef} \cdot \mu} = \frac{2 \cdot 1,4}{230 \cdot 0,8} = \underline{\underline{15,2\text{mA}}} \quad (4.3)$$

Byla zvolena vyšší hodnota 32mA z hlediska dimenzování a dostupnosti pojistek na velmi nízké proudy.

4.4 Výpočet kapacit filtračních kondenzátorů

Všechny keramické kondenzátory o hodnotě 100nF ve schématu zdroje jsou zapojeny kvůli potlačení možného rušení.

Vztah pro výpočet minimální kapacity filtračního kondenzátoru [12]:

$$C_{min} = \frac{I_m}{2 \cdot f \cdot \Delta U} \quad (4.4)$$

Kde:

- C_{min} Minimální kapacita filtračního kondenzátoru [F]
- I_m Maximální hodnota proudu tekoucí do zátěže [A]
- f Frekvence napětí [Hz] (pro elektrickou síť v ČR $f=50\text{Hz}$)
- ΔU Maximální pokles napětí vlivem zvlnění [V]

- Výpočet minimální kapacity kondenzátoru C38, hodnota poklesu napětí je zvolena co nejmenší kvůli napětí U_{drop} stabilizátoru, pak tedy $\Delta U = 0,3V$

$$C_{min} = \frac{I_m}{2 \cdot f \cdot \Delta U} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 50 \cdot 0,3} = \underline{\underline{333,3\mu\text{F}}} \quad (4.5)$$

Je zvolena vyšší hodnota ve výrobní řadě E12 $C38 = 470\mu\text{F}$. Napětí kondenzátoru je stanoveno podle maximální hodnoty napětí, která na něm bude při běžném provozu $\rightarrow 25V$.

- Výpočet minimální kapacity kondenzátoru C47. Zde již může být pokles napětí necelé čtyři volty, je zvoleno tedy $\Delta U = 3V$

$$C_{min} = \frac{I_m}{2 \cdot f \cdot \Delta U} = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 50 \cdot 3} = \underline{\underline{333,3\mu\text{F}}} \quad (4.6)$$

Opět je zvolena vyšší hodnota ve výrobní řadě E12 $C47 = 470\mu\text{F}$. Napětí kondenzátoru je stejné jako v předchozím případě tedy 25V.

4.5 Výběr vhodných stabilizátorů

Pro napájení analogové části je tedy potřeba použít stabilizátor s napětím U_{drop} maximálně 2V. 78M09-DPAK [11] má právě takovou hodnotu napětí U_{drop} . Hodnota maximálního výstupního proudu je 500mA. Pro napájení digitální části napětím 5V je použit stabilizátor 78M05-DPAK, maximální výstupní proud toho obvodu je opět 500mA. Hodnoty výstupních proudů stabilizátorů jsou pro tuto konstrukci plně dostačující.

5 KONSTRUKCE

Konstrukce celého zařízení je složena z trojice jednostranných desek plošných spojů. Na první DPS je realizován pouze napájecí zdroj napětí +5V a +9V. Druhá deska obsahuje analogovou a digitální část a třetí deska je pouze subpanel, na kterém jsou umístěny ovládací prvky a displej. Tyto prvky jsou vhodně rozloženy, neboť tato deska přímo určuje celkové rozložení prvků na čelním panelu. Desky B.1 a B.3 jsou tedy navrženy tak, aby je bylo možno přímo mezi sebou propojit pomocí lámacích lišt (Možno sledovat na obrázku F.1). Obrazce plošných spojů jsou uvedeny v příloze B, osazovací plány v příloze C.

5.1 Postup osazení DPS

1. Vůbec neosazovat propojku J1.
2. Osadit drátové propojky (některé spoje se nacházejí pod pouzdem IC2, takže je nutno jejich výstupky co nejvíce zkrátit - nejlépe pilníkem).
3. Osadit smd součástky.
4. Dále postupovat metodou „od nejnižších součástek po nejvyšší“ což znamená, začít rezistory, integrovanými obvody a nejvyšší jsou zpravidla elektrolytické kondenzátory. Konektory SL5-SL11 a SL2 je nutno zapájet z **opačné** strany tzn. ze strany spojů.

5.2 Postup oživení prototypu

Po důkladné optické kontrole zapájených desek je vhodné oživit nejprve napájecí zdroj. Není potřeba nic nastavovat, stačí pouze na svorku X1 přivést síťové napětí 230V a na konektoru SL4 v ideálním případě naměřit mezi piny 1 a 2 napětí +5V a mezi piny 3 a 4 napětí +9V.

Oživení vlastního předzesilovače s digitálním řízením by také nemělo činit žádné problémy. Po připojení napájení je nutno nejprve naprogramovat procesor IC2 pomocí programovacího konektoru SV1, na kterém je vyvedeno programovací rozhraní JTAG [13].

Firmware byl vyvinut v operačním systému *GNU Linux*, takže příslušný makefile je přizpůsoben kompilátoru *Avr-gcc* a programu *Avrdude*, který slouží k ovládní programátorů (v tomto případě JTAG ICE MKI) Naprogramování se potom provede spuštěním dvojice příkazů v kořenovém adresáři se zdrojovými kódy.

`make fuses`

Naprogramování pojistek mikrokontroléru

`make install`

Kompilace a naprogramování vlastního firmwaru

Hned po úspěšném naprogramování by mělo najet hlavní menu s přednastavenými hodnotami v paměti EEPROM. Dále je nutno nastavit trimrem R1 subjektivně vhodný kontrast displeje LCD1.

6 FIRMWARE

Firmware k přístroji byl napsán v programovacím jazyce C. V této aplikaci se nevykytují žádné časově kritické úseky, takže nebylo nutno psát program v assembleru. Vývoj firmwaru probíhal v operačním systému *GNU Linux*, jako vývojové prostředí byl použit textový editor *Vim* spolu s otevřeným kompilátorem *AVR-GCC* a knihovnou *AVR-libc*. K vlastnímu naprogramování mikrokontroléru sloužil program *Avrdude*.

Finální struktura firmwaru je zobrazena na obr. 6.1. V kořenovém adresáři s firmwarem jsou všechny zdrojové a hlavičkové soubory a také soubor *makefile*, který obsahuje veškerá nastavení kompilátoru a programátoru.

Program je koncipován tak, že se nejprve ve funkci *main* inicializuje procesor a poté jsou cyklicky volány, formou jednoduchého multitaskingu, funkce pro obsluhu jednotlivých periférií tak, aby procesor nemusel zbytečně vyčkávat na jednom místě, než se dokončí jednotlivé operace.

6.1 Knihovny

6.1.1 Interní EEPROM

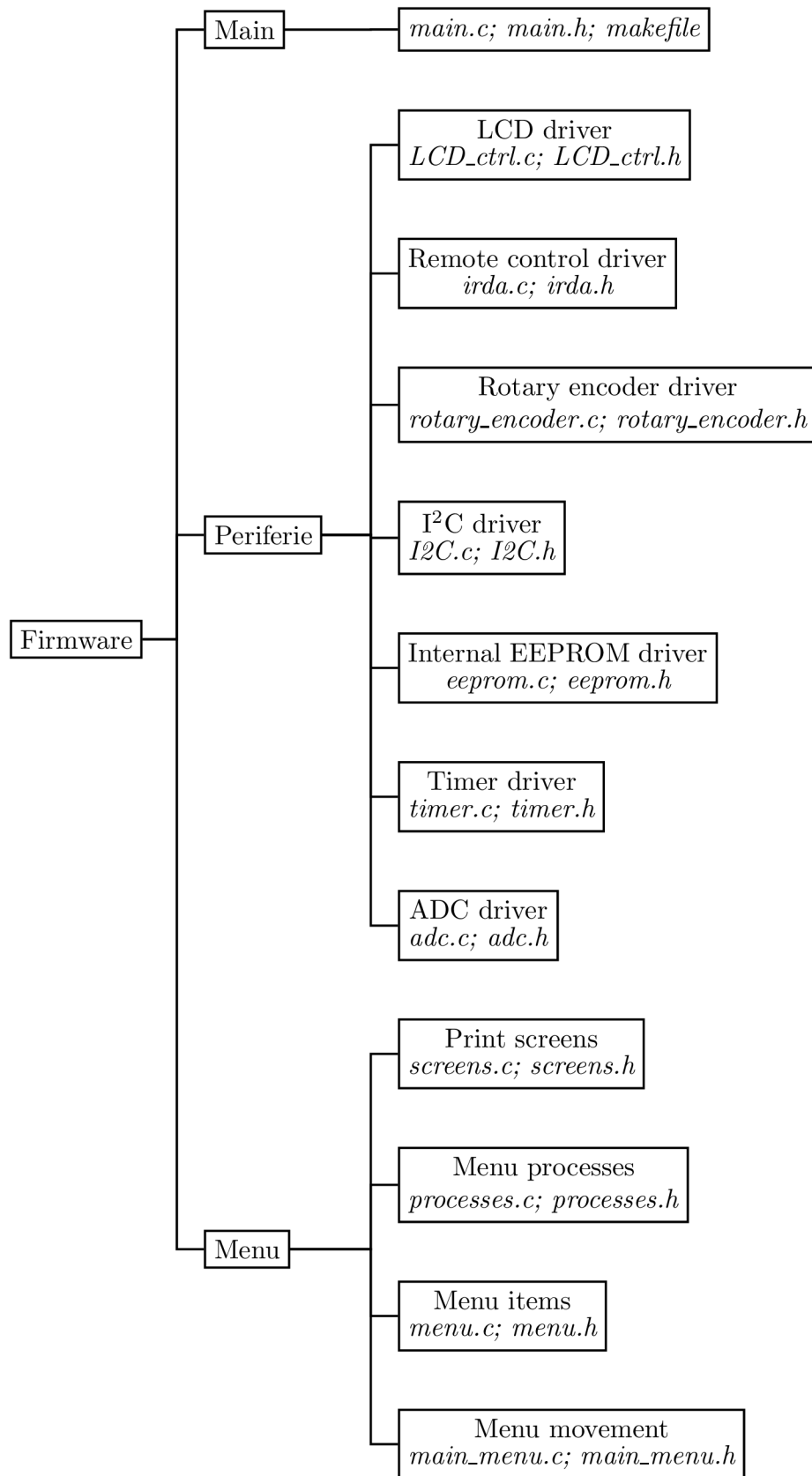
Jelikož zápis do paměti EEPROM je řádově pomalejší než zápis do paměti RAM, je vhodné využít při zápisu systému přerušení. Knihovna je tedy napsána tak, aby procesor nemusel čekat až skončí stávající zápis. Funkce pro zápis dat do interní EEPROM *eepromWrite* pouze uloží zapisovaná data do kruhového bufferu a aktivuje postupný zápis tohoto bufferu do EEPROM pomocí přerušení.

6.1.2 Interní A/D převodník

Knihovna pro A/D převodník je opět řešena přerušením. Při vzorkování audio signálu se vždy vybírá nejvyšší vzorek z minulých 16, aby byla obsluha schopna okem zaznamenat aktuální maximum.

6.1.3 Dekodér RC5

Tato knihovna aktivně využívá časovač 1. Při příchodu start bitu si pomocí funkce *input capture* změří bitovou periodu a podle této periody vzorkuje přijímaný signál. Aby byl přijatý signál vyhodnocen jako platný, musí být dva po sobě jdoucí příkazy dekódovány stejně. Po té do globální proměnné *remote_control* ukládá přijatá data z dálkového ovladače. Hlavní program musí po obsluze události tuto proměnnou vynulovat.



Obr. 6.1: Struktura ovládacího firmwaru

6.1.4 Sběrnice I²C

Knihovna je opět řešena systémem přerušení s výstupními pro čtení i pro zápis, i když čtení v této aplikaci vůbec není potřeba.

6.1.5 Knihovna LCD s řadičem KS0066

V knihovně je zahrnuto samotné ovládání portů, zápis dat na displej a také konverze pro převod čísel na řetězce.

6.1.6 Ovládání rotačního kodéru

Všechny piny rotačního kodéru jsou napojeny na externí přerušení, takže knihovna nezávisle na běhu hlavního programu ukládá do globální proměnné *rotary_encoder_direction* aktuální stav rotačního kodéru. Hlavní program po obslužení této události musí proměnnou opět vynulovat.

6.1.7 Knihovna pro řízení časovačů

V této knihovně jsou funkce pro inicializaci časovačů, makra pro jejich zapínání a vypínání. Časovač 2 generuje *PWM* pro ovládání podsvícení displeje a běží na něm systémový čas a v neposlední řadě je přímo v přerušení od přetečení tohoto časovače řešeno také pomalé rozsvěcování/ztmavování displeje.

6.2 Kooperativní multitasking

V hlavní smyčce program neustále cyklicky spouští:

- Obsluhu události od rotačního kodéru na základě proměnné *rotary_encoder_direction*.
- Obsluhu události dálkového ovladače pomocí globální proměnné *remote_control*.
- Překreslení obsahu displeje pokud došlo nejméně k jedné z výše uvedených událostí, k tomuto účelu slouží příznakový bit *SHOW* proměnné *flags*, zároveň dochází k zaslání nových parametrů do obvodu *TDA7439* pomocí sběrnice *I²C*.
- Přepis obsahu paměti EEPROM s nastavením audio části, pokud došlo ke změně nastavení, doplněno o časové zpoždění z důvodu menšího opotřebení paměti EEPROM.
- Přepis povelů dálkového ovladače v paměti EEPROM za podmínky, že opět došlo ke změně.

- Přepnutí displeje do módu indikátoru vybuzení za podmínky uplynutí časového limitu, který si nastaví uživatel.
- Ztlumení jasu displeje opět po uplynutí časového limitu který uživatel nastavil.

6.2.1 Uživatelské menu

Uživatelské menu je řešeno polem struktur vlastního datového typu *menu_item*:

```
typedef struct menu_item {
    const char title[17];
    const char lower_limit;
    const char upper_limit;
    const unsigned char step;
    void (*print_screen)(char);
    void (*process)(void);
} menu_item;
```

Pole je uloženo přímo v programové paměti z důvodu úspory datové paměti RAM, takže musí být inicializováno již při deklaraci například:

```
menu_item menu_items[SUM] PROGMEM={
...
{
    //volume
    .title="Volume:",
    .lower_limit = -48,
    .upper_limit = 0,
    .step=1,
    .print_screen = volume_display,
    .process = FlagBitInv,
},
...
}
```

S tímto polem *menu_items* se pojí pole, které už je ukládáno v datové paměti RAM, *value*. V tomto poli jsou uloženy hodnoty pro každou položku menu a mohou se měnit.

Ve struktuře je definován titulek *title*, který se zobrazí na LCD při výběru položku v menu. Dále hodnoty limit *lower_limit*, *upper_limit*, které určují v jakých mezích je možno měnit hodnotu v poli *value* odpovídající konkrétní položce v menu (pozn. *AVR-GCC* není schopno uložit část struktury do paměti FLASH a část do paměti RAM). Hodnota *step* určuje krok změny hodnoty *value*.

Dále jsou definovány ukazatele na funkce, které budou volány při výběru položky v menu a při stisknutí tlačítka rotačního kodéru.

Dále je definován index tohoto pole *menu_index* jako datový výčet, který určuje jaká položka menu je právě aktivní.

Jako poslední jsou definovány konstanty pro velikosti jednotlivých menu a jejich vnořování, například:

```
#define MAIN_MENU_SIZE 7
#define SURE_MENU_SIZE 1
#define SETTING_MENU_SIZE 5
#define GAIN_MENU_SIZE 5
```

Pohyb v menu je tedy pomocí rotačního kodéru řešen přičítáním nebo odečítáním indexu pole *menu_index* v mezích, které jsou určeny konstantami výše uvedenými. Vnořování menu je pak řešeno přepínáním těchto mezí.

Přidávání nových položek do menu je tedy velmi jednoduché a nevyžaduje žádné rozsáhlé změny v programu (tedy kromě vytváření nových funkcí).

7 ZÁVĚR

Řešení zadaného problému probíhalo v několika fázích. Nejprve bylo nutno vybrat vhodné integrované obvody jak pro funkci předzesilovače, tak vhodný mikroprocesor. Byl tedy vybrán obvod TDA7439 pro funkci předzesilovače, který splňoval požadované vlastnosti (čtveřice stereofonních vstupů, frekvenční korektory) a jako mikrokontrolér byl vybrán procesor ATmega16, který také splňoval základní požadavky (A/D převodník, hardwarové I²C).

V další fázi bylo potřeba navrhnout výsledné schéma zapojení a desky plošných spojů. Tyto výrobní podklady byly ještě podle funkčního prototypu optimalizovány. Následovala výroba plošných spojů a jejich osazení.

Hlavní fází tohoto projektu byl vývoj řídicího firmwaru pro mikrokontrolér ATmega16. Tato fáze zahrnovala postupný vývoj všech ovladačů pro jednotlivé periferie (např. interní EEPROM se zápisovým bufferem a systémem přerušování, detekce směru otáčení rotačním kodérem), bezproblémové navázání komunikace s obvodem TDA7439 přes sběrnici I²C a také vývoj uživatelského rozhraní.

V poslední fázi proběhlo experimentální ověření funkčnosti předzesilovače formou měření např. frekvenčních přenosových charakteristik, které dopadly podle očekávání. Subjektivní poslechové testy dopadly nad očekávání, protože minulé zkušenosti s audio procesory ukázaly nadměrný šum. Tento obvod však nevykazoval slyšitelný šum ani v případě žádného buzení.

LITERATURA

- [1] KOTISA, Zdeněk. *NF zesilovače 1*. Praha : BEN - technická literatura, 2001. 96s. ISBN 80-7300-030-X.
- [2] LÁNÍČEK, Robert. *Pasivní kmitočtové korektory*. In Praktická elektronika : Electus. Praha : AMARO spol. s.r.o. , 1998. s. 80. ISSN 1211-7005.
- [3] ST Microelectronics. *Datasheet TDA7439 : Three bands digitally controlled audio processor* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2002 [cit. 2010-11-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/4291.pdf>>.
- [4] Atmel Corporation. *Datasheet ATmega16 : 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-11-20]. Dostupné z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7766.pdf>.
- [5] Xiamen Ocular. *Datasheet GDM1602A : Specifications of LCD module* [online]. [s.l.] : [s.n.], 28.7.2005 [cit. 2010-11-20]. Dostupné z WWW: <http://elmicro.com/files/lcd/gdm1602a_datasheet.pdf>
- [6] Opto Semiconductors. *Datasheet SFH5110 : IR-Receiver for Remote Control Systems* [online]. [s.l.] : [s.n.], 1.1.2000 [cit. 2010-11-20]. Dostupné z WWW: <http://www.ben.cz/_d/datasheet/sfh5110.pdf>.
- [7] SOLARSKI, Tomáš. *Solarskit.wz.cz* [online]. 26.6.2006 [cit. 2010-11-20]. Protokol RC5. Dostupné z WWW: <<http://www.solarskit.wz.cz/rc5.html>>.
- [8] Rotary encoder. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 19.10.2010 [cit. 2010-11-20]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder>.
- [9] GM electronics. *P-RE20S - ROTAČNÍ KÓDÉR S MECHANICKÝM KONTAKTEM* [online]. [s.l.] : [s.n.], [200?] [cit. 2011-01-28]. Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/532/532-086/dsh.532-086.1.pdf>
- [10] PerkinElmer Optoelectronics. *Photoconductive Cell* [online]. St. Louis : [s.n.], [200?] [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/520/520-059/dsh.520-059.1.pdf>.
- [11] STMicroelectronics . *L78M00 SERIES* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2004 [cit. 2010-12-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.ges.cz/sheets/1/l78mxx.pdf>>.

- [12] OLEJÁR, Martin. *HW.cz* [online]. 24.4.2004 [cit. 2010-12-04]. Návrh stejnosměrného zdroje napětí. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/Produkty/Obecne-produkty/ART1091-Navrh-stejnoserneho-zdroje-napeti.html>>.
- [13] SECONS s.r.o. *Jtagtest.com* [online]. Praha : 2008 [cit. 2011-04-27]. AVR JTAG header pinout. Dostupné z WWW: <<http://www.jtagtest.com/pinouts/avr>>

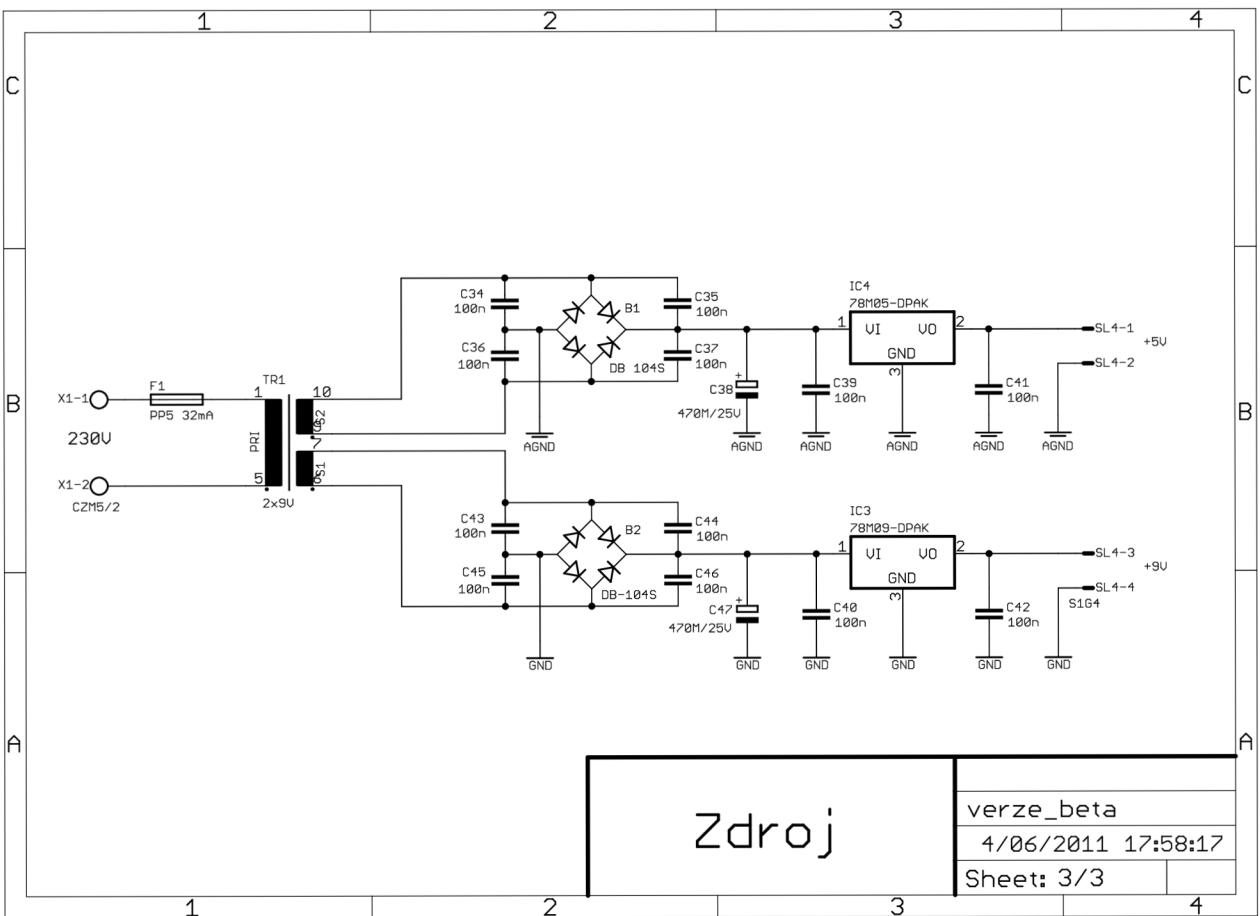
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

I ² C	Inter-Integrated Circuit
NF	nízkofrekvenční
A/D	analog to digital - analogově digitální
IO	integrovaný obvod
IC	input capture - funkce určená primárně pro přesná měření časových intervalů
ICP	input capture pin
PWM	Pulse Width Modulation - pulsně šířková modulace
IR	Infra Red - infračervený
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter - asynchronní sériové rozhraní
RS232	Recommended Standard 232 - standardní sériové rozhraní osobních počítačů
USB	Universal Serial Bus - univerzální sériová sběrnice
JTAG	Joint Test Action Group - rozhraní pro programování paměti mikrokontroléru, ladění programů
LCD	Liquid Crystal Display - Displej z tekutých krystalů
GPIB	General Purpose Interface Bus

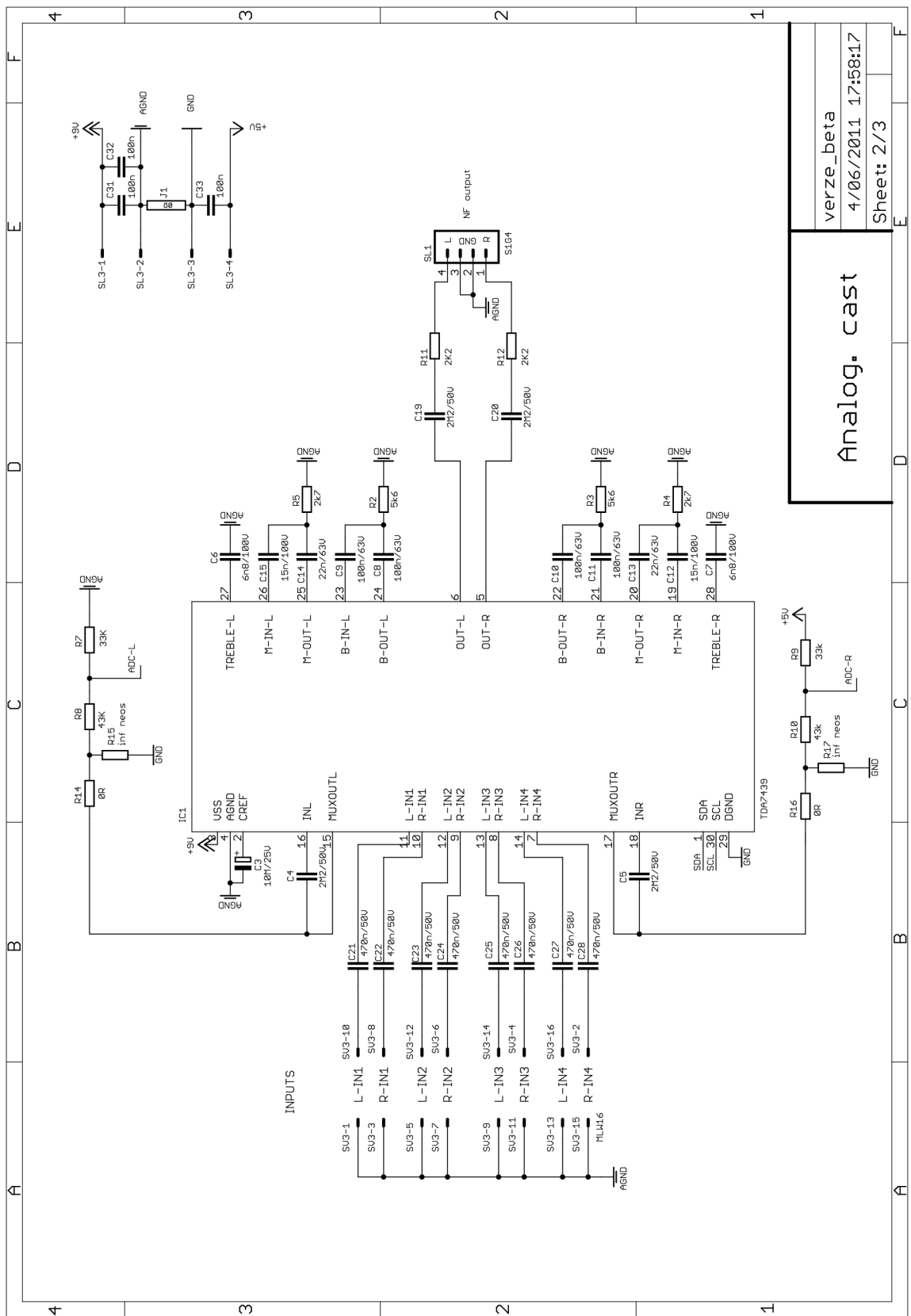
SEZNAM PŘÍLOH

A	Obvodová schémata zapojení	41
B	Desky plošných spojů	44
C	Rozložení součástek	46
D	Rozpiska součástek	48
E	Naměřené výsledky	51
F	Fotodokumentace	60

A OBVODOVÁ SCHEMATA ZAPOJENÍ



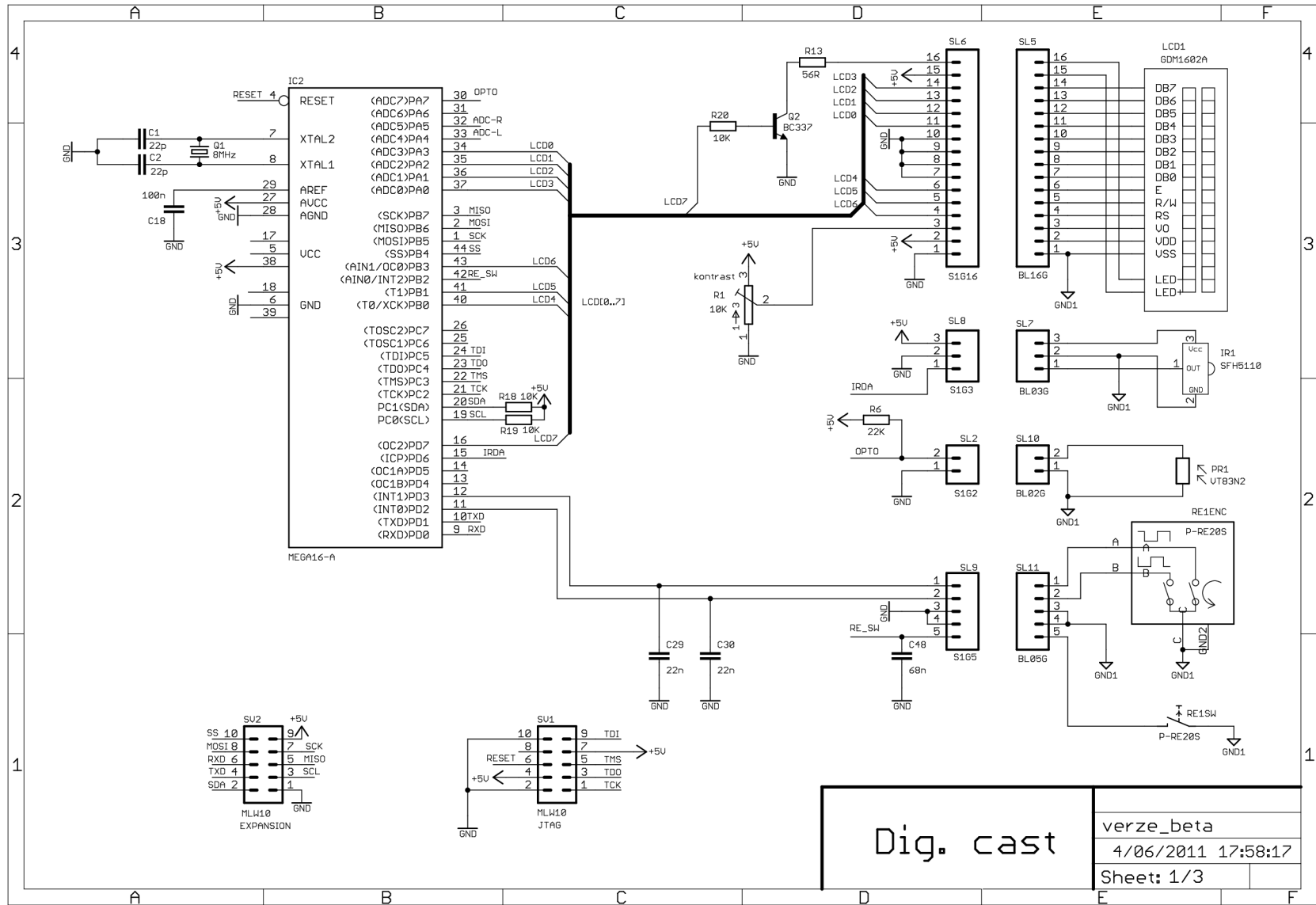
Obr. A.1: Schéma zapojení napájecího zdroje



Analog. cast
 verze_beta
 4/06/2011 17:58:17
 Sheet: 2/3

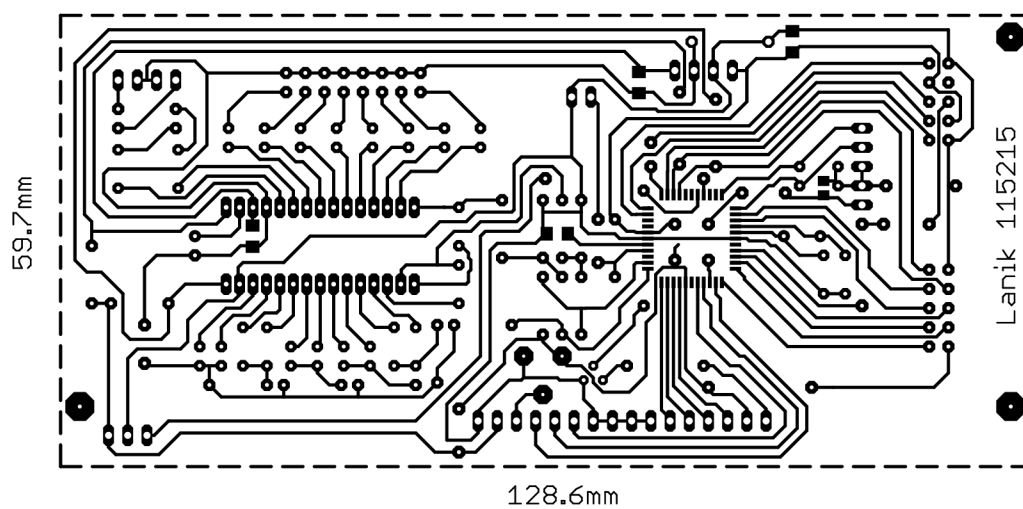
Obr. A.2: Schéma zapojení analogové části

Obř. A.3: Schéma zapojení digitální části

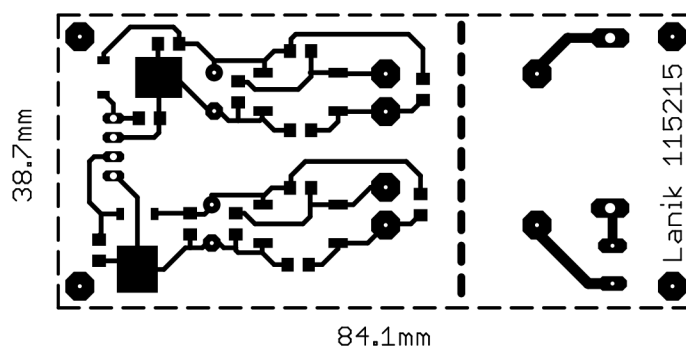


Dig. cast		
		verze_beta
		4/06/2011 17:58:17
Sheet: 1/3		

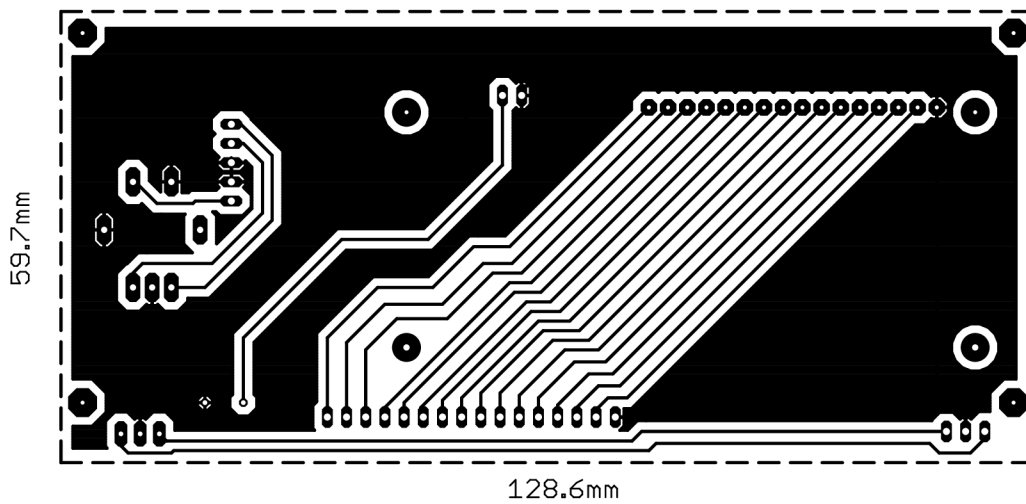
B DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



Obr. B.1: Obrazec plošného spoje digitální a analogové části (1:1)

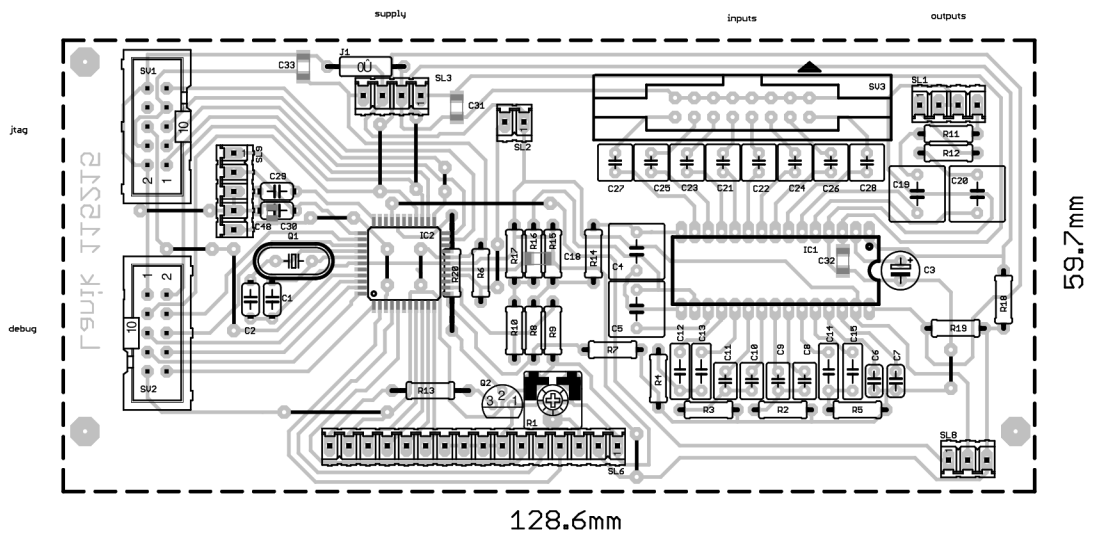


Obr. B.2: Obrazec plošného spoje napájecího zdroje (1:1)

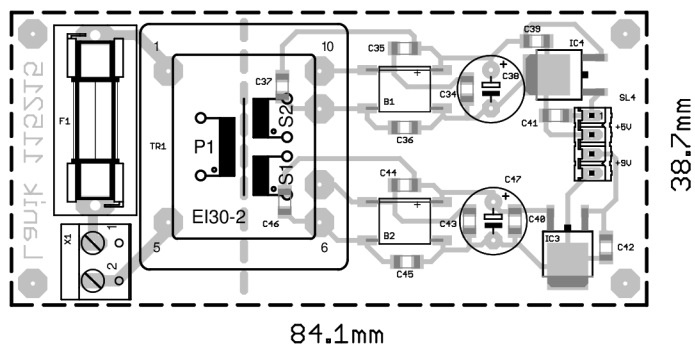


Obr. B.3: Obrazec plošného spoje panelu (1:1)

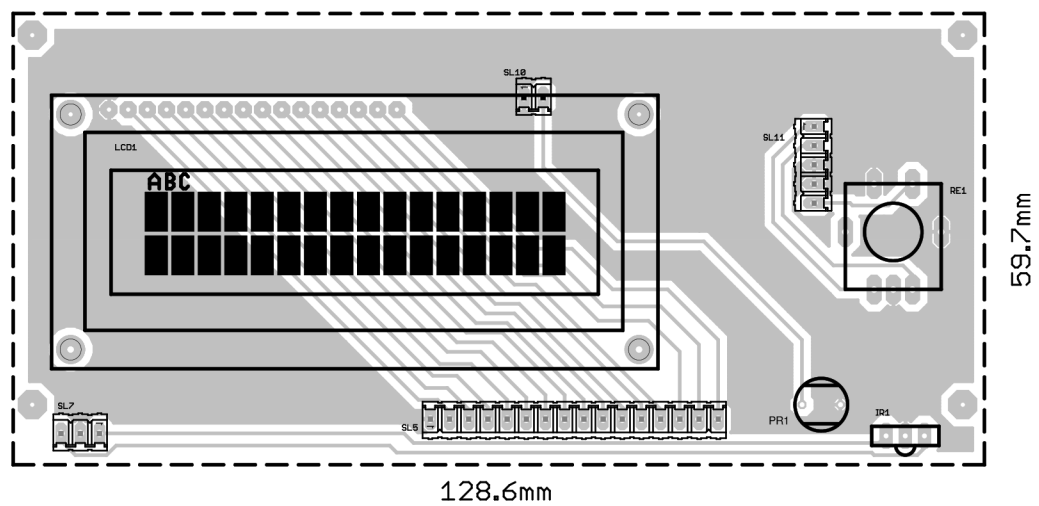
C ROZLOŽENÍ SOUČÁSTEK



Obr. C.1: Rozložení součástek digitální a analogové části (1:1)



Obr. C.2: Rozložení součástek napájecího zdroje (1:1)



Obr. C.3: Rozložení součástek panelové desky (1:1)

D ROZPISKA SOUČÁSTEK

č.	Zkratka	Hodnota	Pouzdro
1	B1	DB 104S	SO8
2	B2	DB-104S	SO8
3	C1	22p	C050-024X044
4	C2	22p	C050-024X044
5	C3	10M/25V	E2,5-5
6	C4	2M2/50V	C050-075X075
7	C5	2M2/50V	C050-075X075
8	C6	6n8/100V	C025-024X044
9	C7	6n8/100V	C025-024X044
10	C8	100n/63V	C025-030X050
11	C9	100n/63V	C025-030X050
12	C10	100n/63V	C025-030X050
13	C11	100n/63V	C025-030X050
14	C12	15n/100V	C050-025X075
15	C13	22n/63V	C050-025X075
16	C14	22n/63V	C050-025X075
17	C15	15n/100V	C050-025X075
18	C18	100n	C1206
19	C19	2M2/50V	C050-075X075
20	C20	2M2/50V	C050-075X075
21	C21	470n/50V	C025-050X050
22	C22	470n/50V	C025-050X050
23	C23	470n/50V	C025-050X050
24	C24	470n/50V	C025-050X050
25	C25	470n/50V	C025-050X050
26	C26	470n/50V	C025-050X050
27	C27	470n/50V	C025-050X050
28	C28	470n/50V	C025-050X050
29	C29	22n	C050-024X044
30	C30	22n	C050-024X044
31	C31	100n	C1206
32	C32	100n	C1206
33	C33	100n	C1206
34	C34	100n	C1206

Pokračování na další straně

č.	Zkratka	Hodnota	Pouzdro
35	C35	100n	C1206
36	C36	100n	C1206
37	C37	100n	C1206
38	C38	470M/25V	E5-8,5
39	C39	100n	C1206
40	C40	100n	C1206
41	C41	100n	C1206
42	C42	100n	C1206
43	C43	100n	C1206
44	C44	100n	C1206
45	C45	100n	C1206
46	C46	100n	C1206
47	C47	470M/25V	E5-8,5
48	C48	68n	C0805
49	F1	PP5 32mA	SH22,5A
50	IC1	TDA7439	SDIP30
51	IC2	MEGA16-A	TQFP44
52	IC3	78M09-DPAK	TO252
53	IC4	78M05-DPAK	TO252
54	IR1	SFH5110	SFH5110
55	J1	n.a.	0R/10
56	LCD1	GDM1602A	GDM1602A_LEZAK
57	PR1	VT83N2	VT83N2
58	Q1	8MHz	HC49U-V
59	Q2	BC337	TO92
60	R1	10K	CA6V
61	R2	5k6	0207/7
62	R3	5k6	0207/7
63	R4	2k7	0207/7
64	R5	2k7	0207/7
65	R6	22K	0207/7
66	R7	33K	0207/7
67	R8	43K	0207/7
68	R9	33k	0207/7
69	R10	43k	0207/7
70	R11	2K2	0207/7

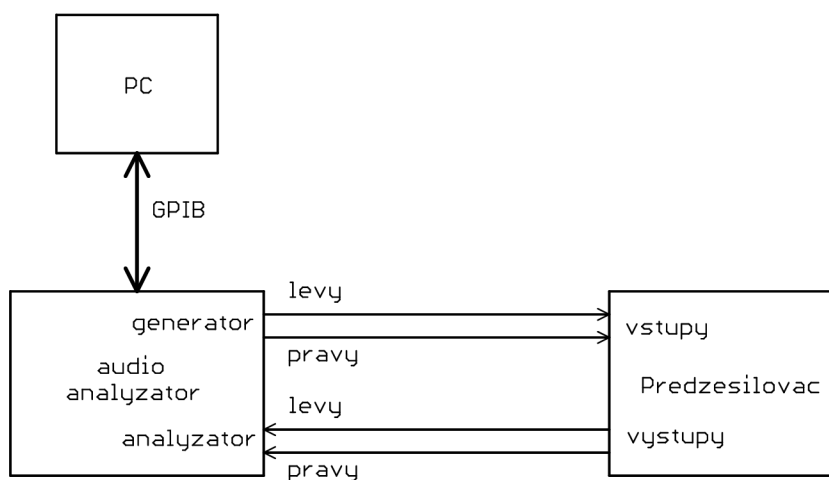
Pokračování na další straně

č.	Zkratka	Hodnota	Pouzdro
71	R12	2K2	0207/7
72	R13	56R	0207/10
73	R14	0R	0207/7
74	R15	inf neos	0207/7
75	R16	0R	0207/7
76	R17	inf neos	0207/7
77	R18	10K	0207/7
78	R19	10K	0207/7
79	R20	10K	0207/15
80	RE1	P-RE20S	P-RE20S
81	SL1	S1G4	04P
82	SL2	S1G2	02P
83	SL3	S1G4	04P
84	SL4	S1G4	04P
85	SL5	BL16G	16P
86	SL6	S1G16	16P
87	SL7	BL03G	03P
88	SL8	S1G3	03P
89	SL9	S1G5	05P
90	SL10	BL02G	02P
91	SL11	BL05G	05P
92	SV1	MLW10	ML10
93	SV2	MLW10	ML10
94	SV3	MLW16	3M_16
95	TR1	2x9V	EI30-2
96	X1	CZM5/2	W237-102

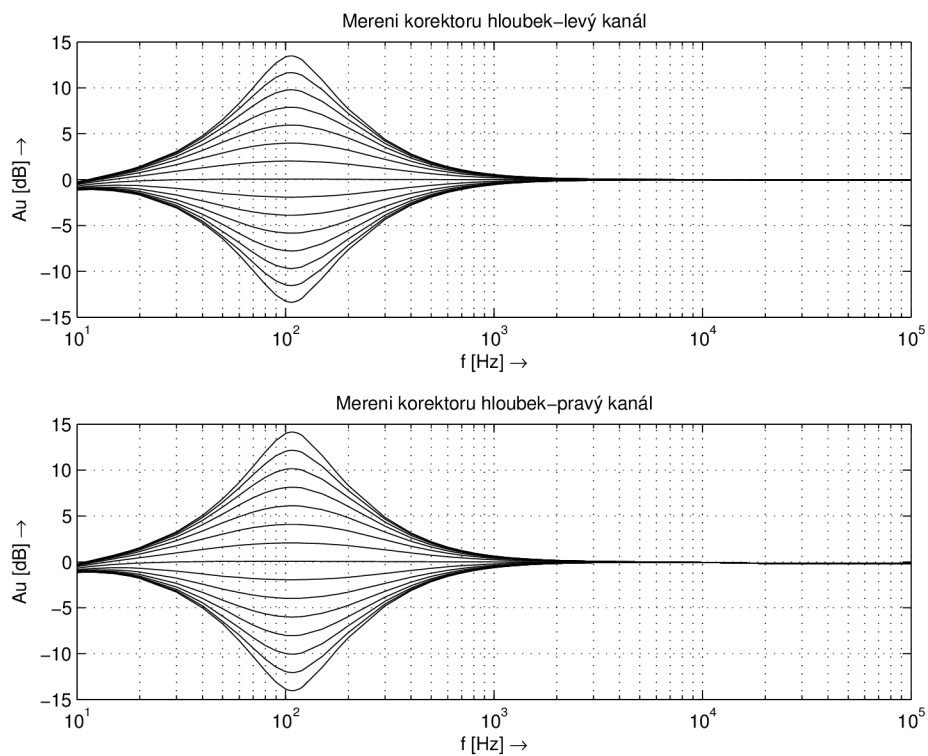
E NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

Měření probíhalo na automatizovaně na audio analyzátoru *Rohde & Schwartz UPV*. Přístroj je schopen plnohodnotně měřit stereofonní nízkofrekvenční zařízení. Dále je vybaven komunikačním rozhraním *GPiB* pro komunikaci s PC, ovládací skript byl napsán v programu *Matlab*. Měřicí schéma je na obr. E.1 a byly změřeny následující parametry:

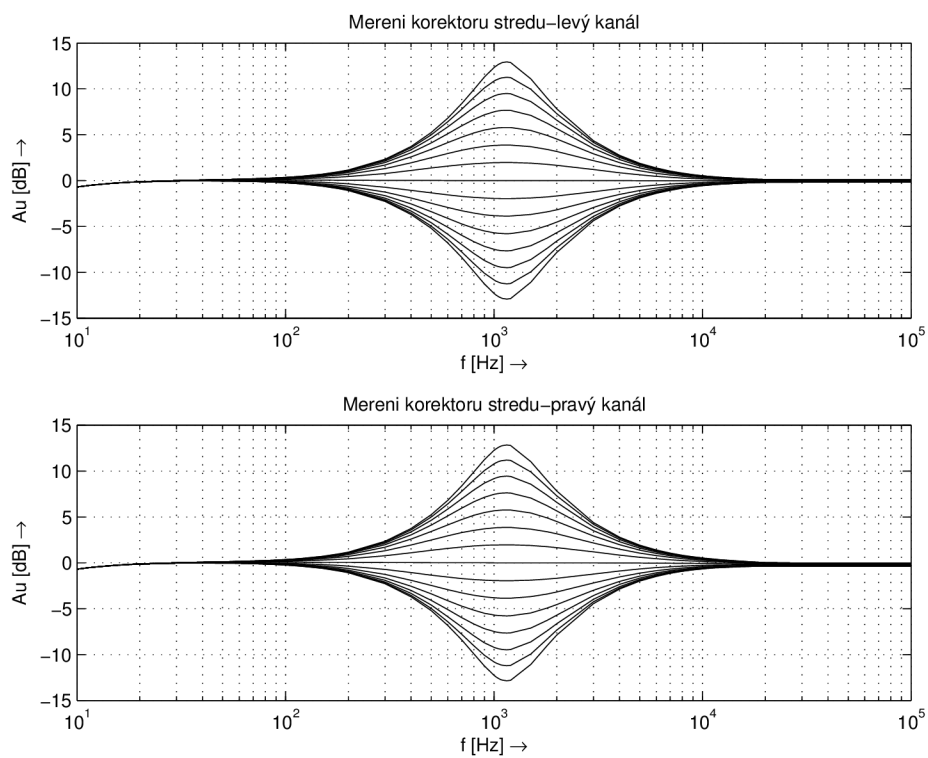
- Frekvenční charakteristiky jednotlivých kmitočtových korektorů (všechny měřeny při vstupním napětí $U_1 = 500\text{mV}$),
- frekvenční charakteristiky samotných vstupů při vypnutých frekvenčních korektorech (vstupní napětí $U_1 = 500\text{mV}$),
- linearita předzesilovače pro všechny vstupy při vypnutých kmitočtových korektorech (měřeno při frekvenci $f = 1\text{KHz}$),
- harmonické zkreslení THD+SINAD pro všechny vstupy také s neaktivními frekvenčními korektory.



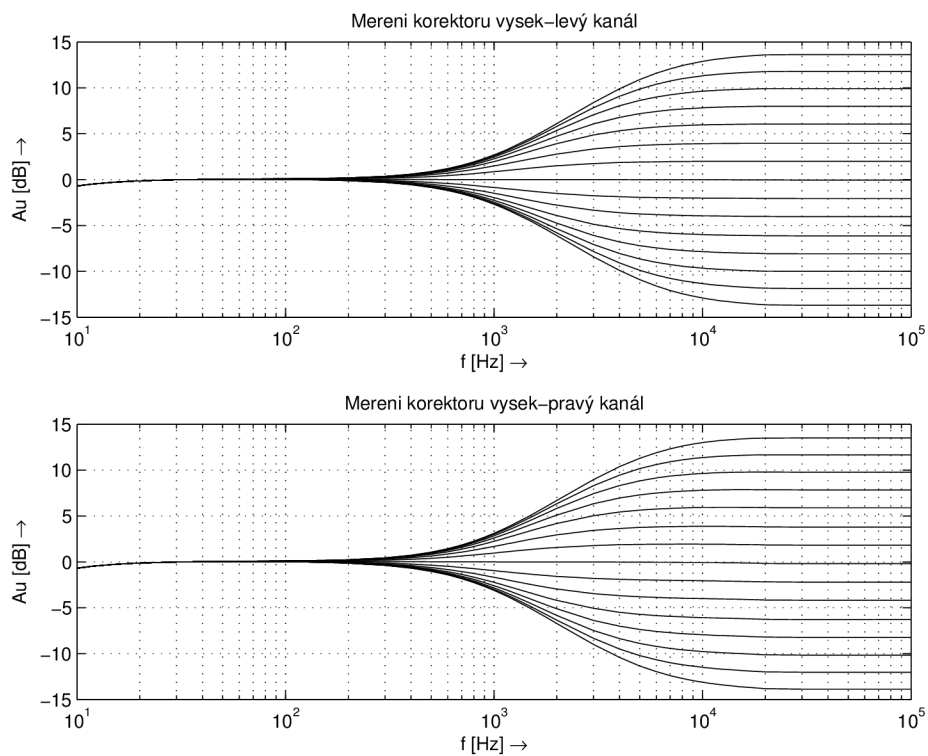
Obr. E.1: Blokové schéma měřicí aparatury



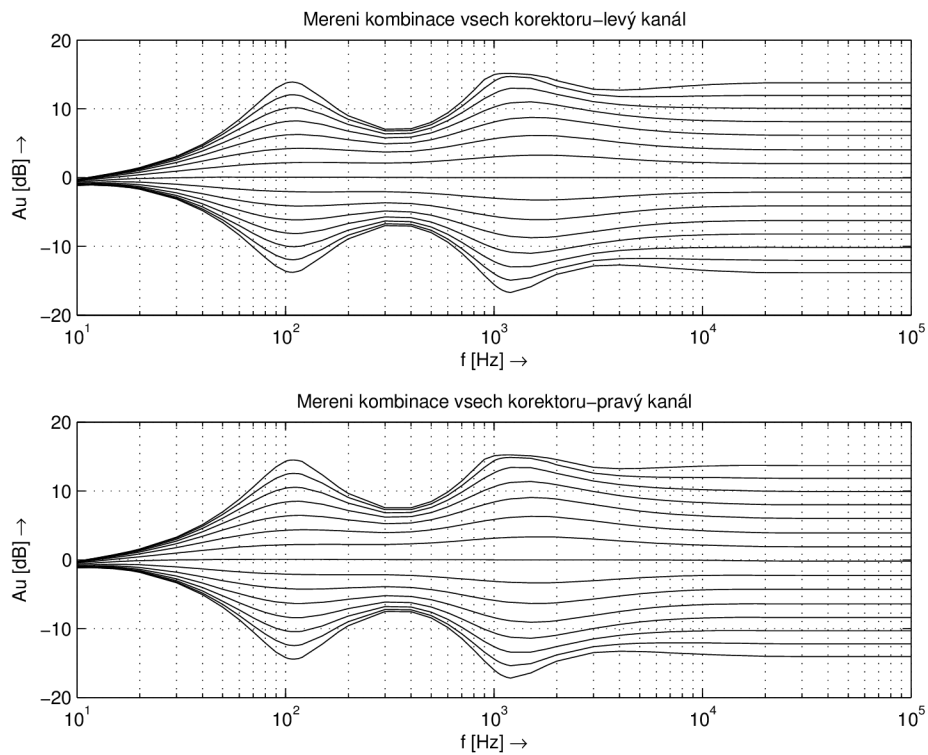
Obr. E.2: Frekvenční charakteristiky korektoru hloubek



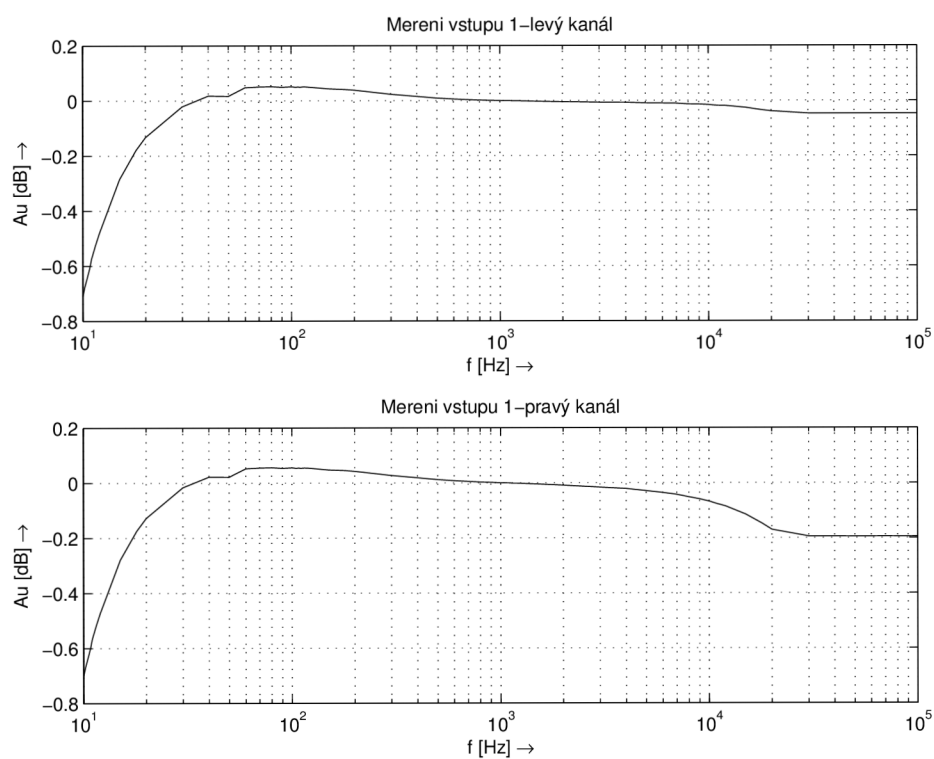
Obr. E.3: Frekvenční charakteristiky korektoru středů



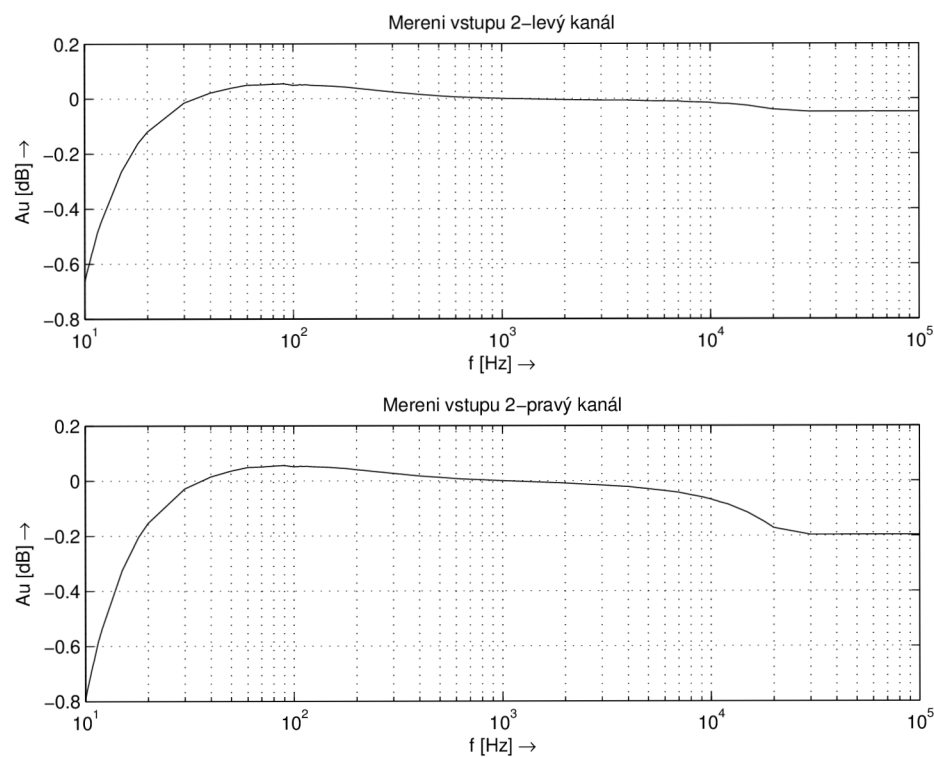
Obr. E.4: Frekvenční charakteristiky korektoru výšek



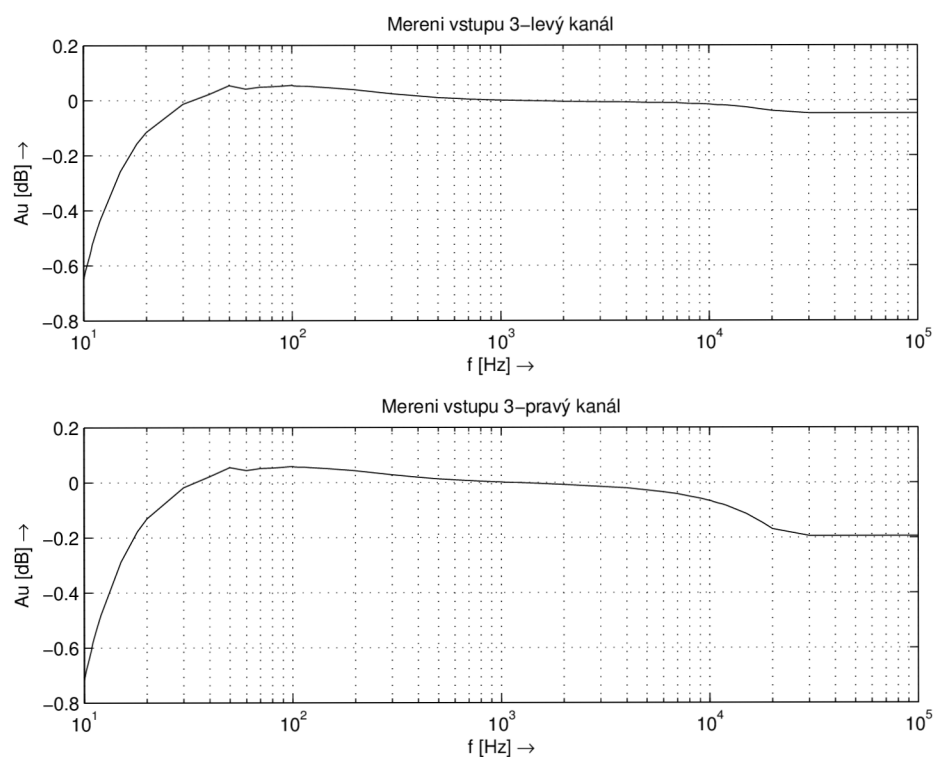
Obr. E.5: Frekvenční charakteristiky kombinace všech korektorů



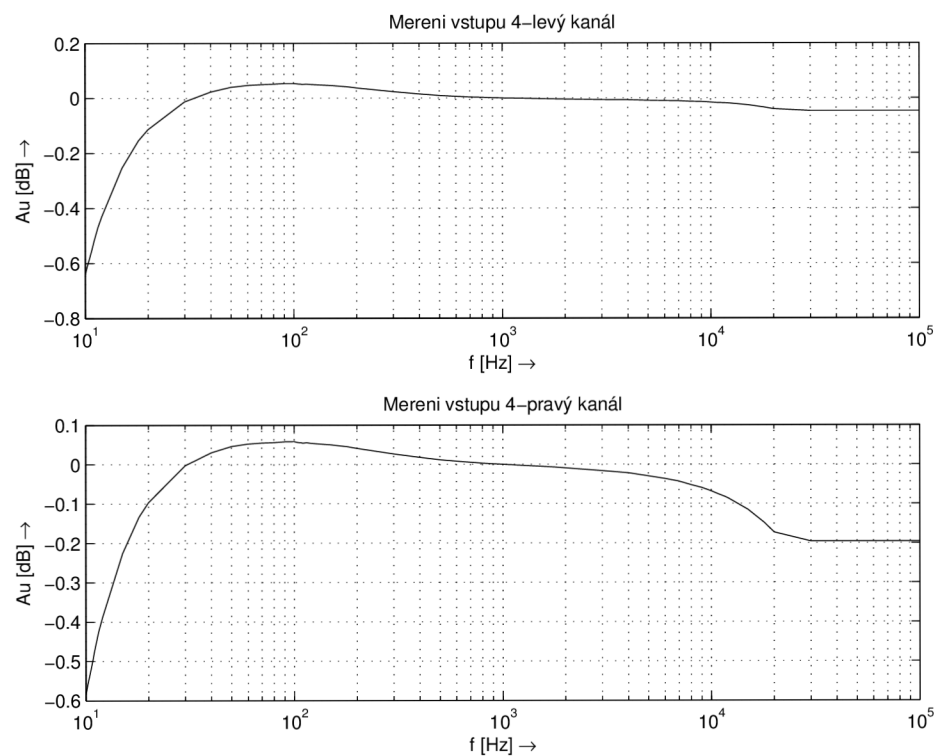
Obr. E.6: Frekvenční charakteristiky vstupu 1 bez kmitočtových korektorů



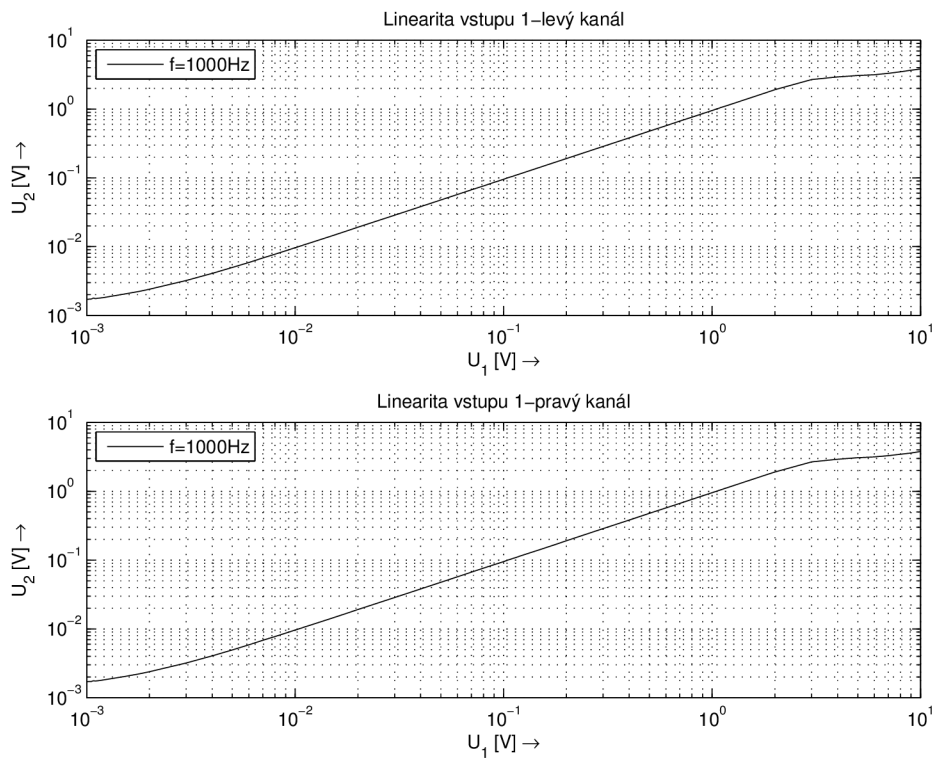
Obr. E.7: Frekvenční charakteristiky vstupu 2 bez kmitočtových korektorů



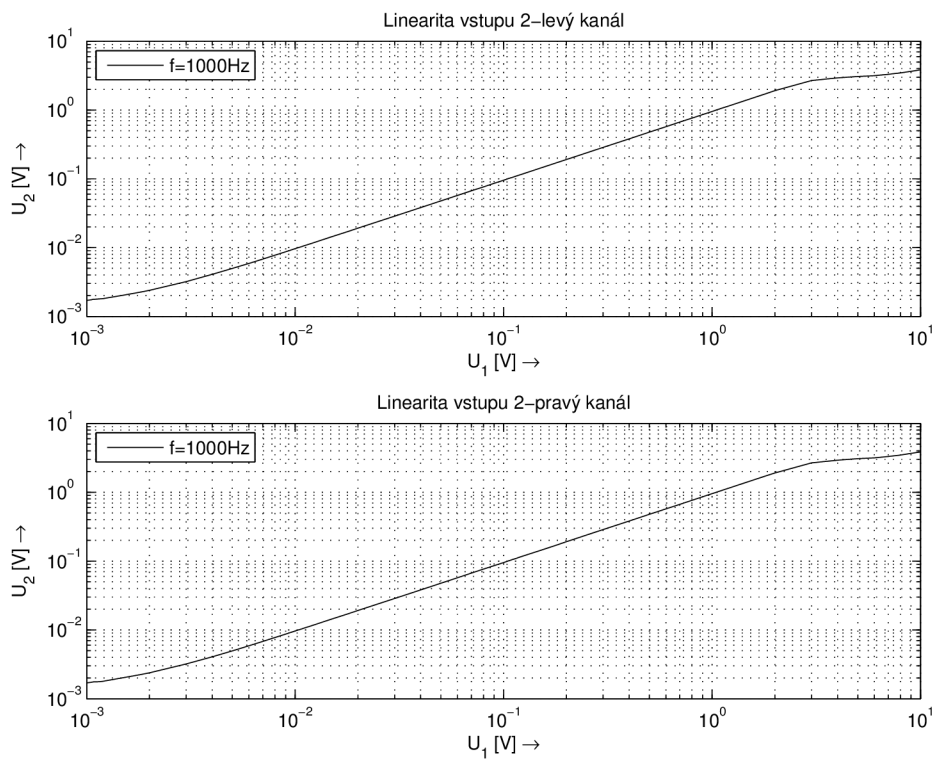
Obr. E.8: Frekvenční charakteristiky vstupu 3 bez kmitočtových korektorů



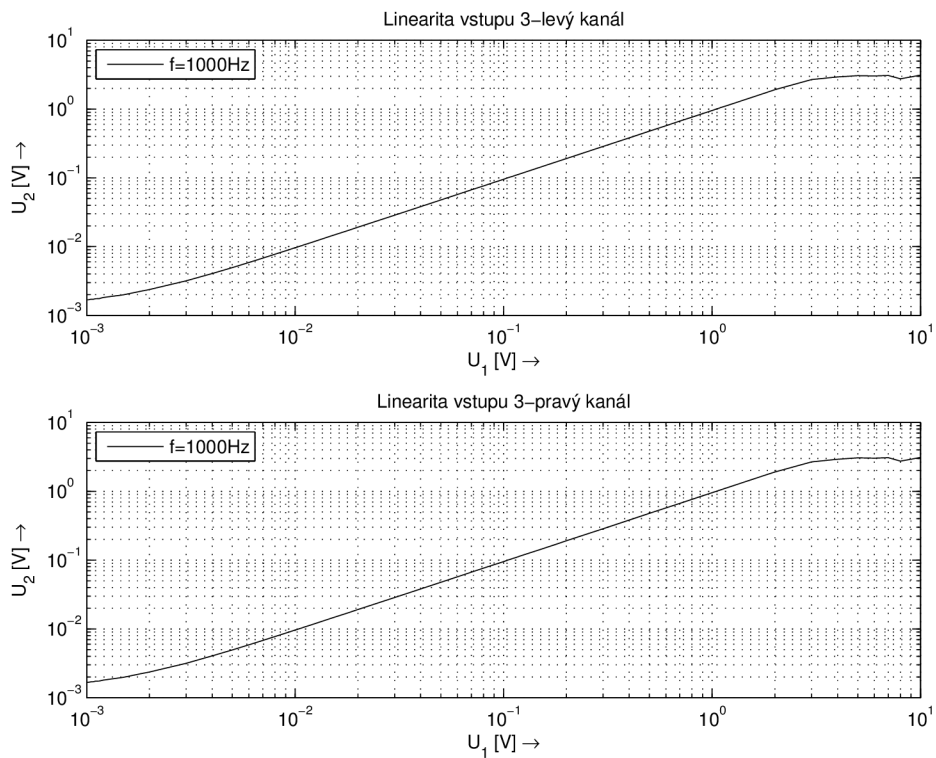
Obr. E.9: Frekvenční charakteristiky vstupu 4 bez kmitočtových korektorů



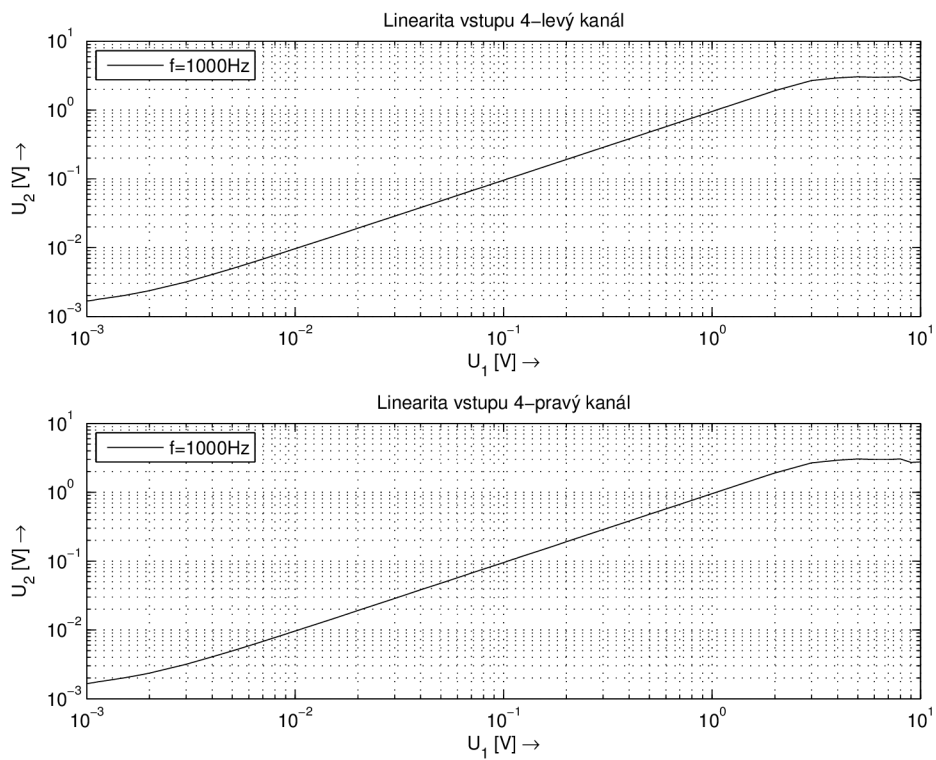
Obr. E.10: Měření linearity přenosu vstupu 1



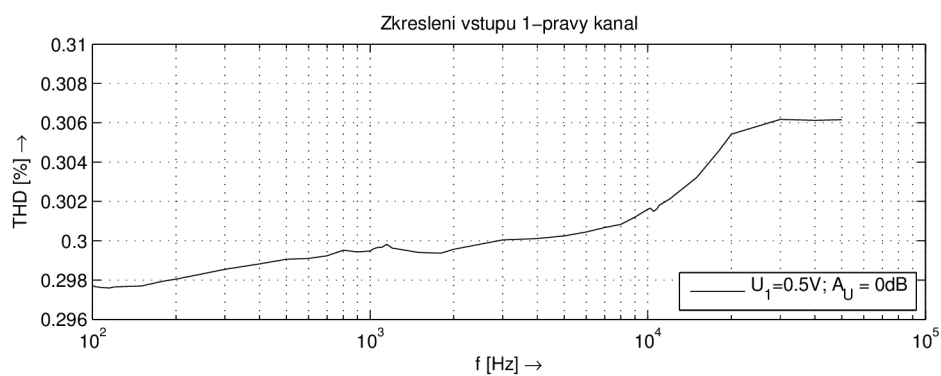
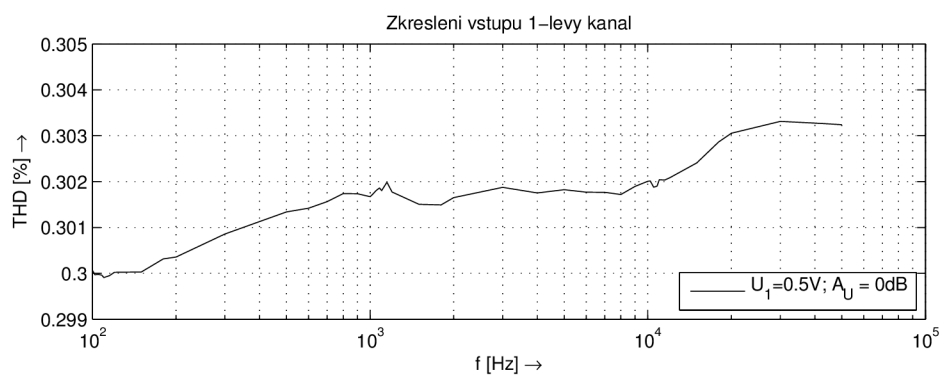
Obr. E.11: Měření linearity přenosu vstupu 2



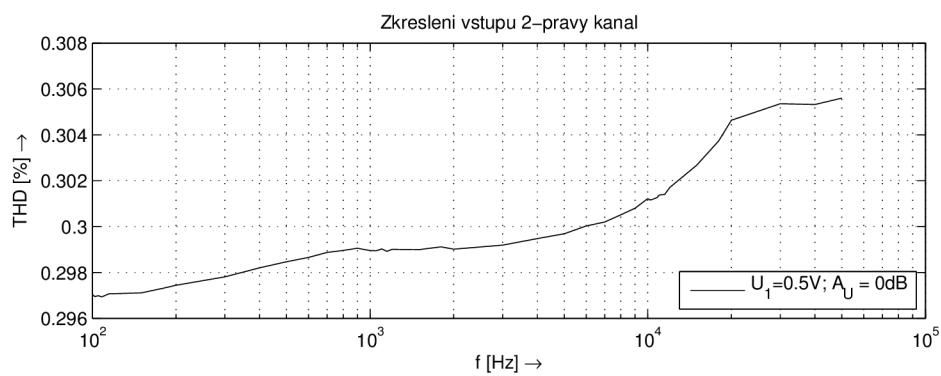
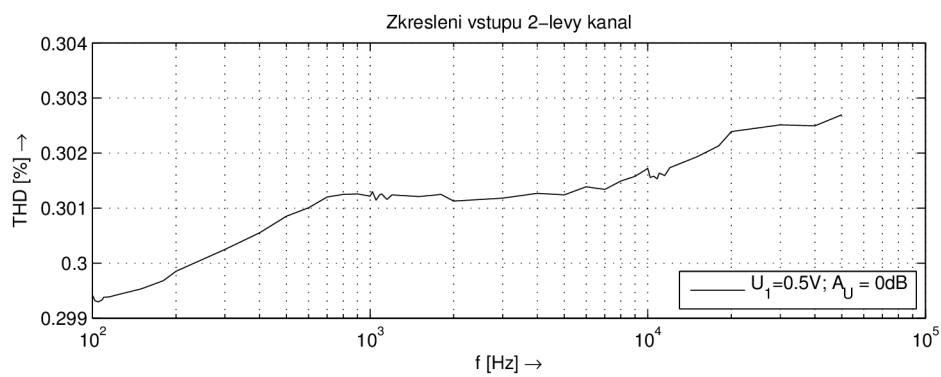
Obr. E.12: Měření linearity přenosu vstupu 3



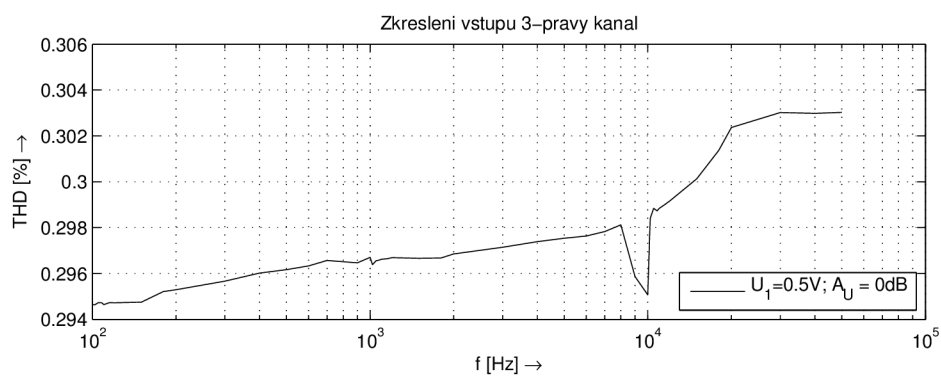
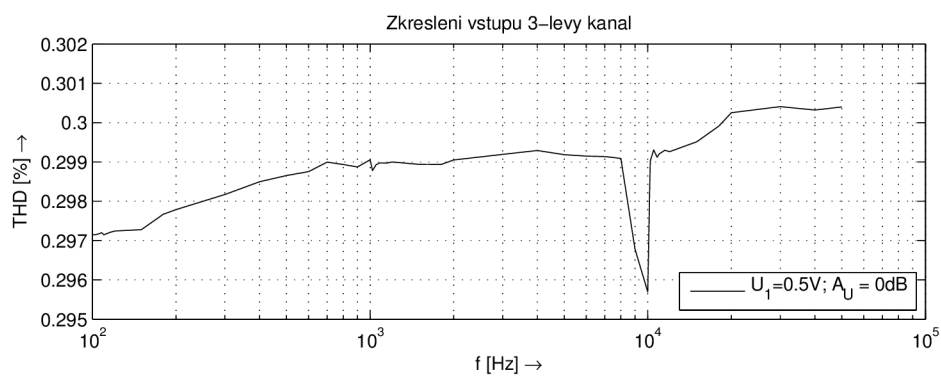
Obr. E.13: Měření linearity přenosu vstupu 4



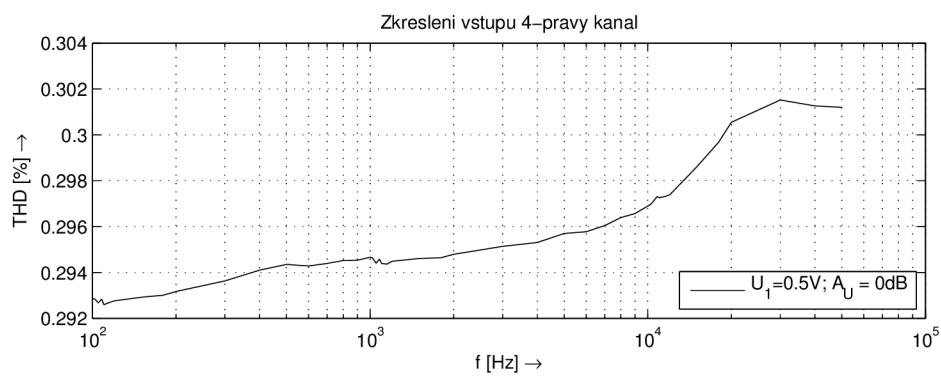
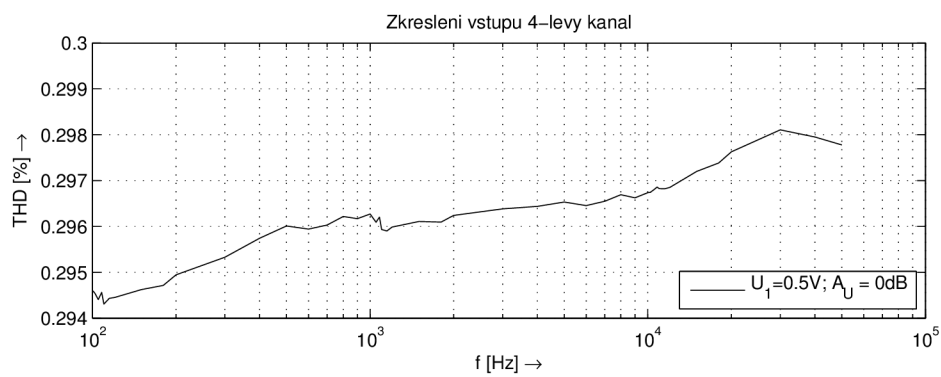
Obr. E.14: Měření harmonického zkreslení vstupu 1



Obr. E.15: Měření harmonického zkreslení vstupu 2

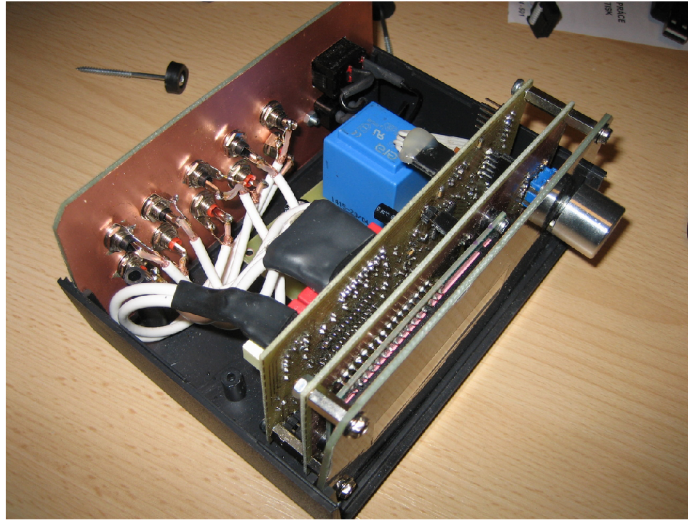


Obr. E.16: Měření harmonického zkreslení vstupu 3



Obr. E.17: Měření harmonického zkreslení vstupu 4

F FOTODOKUMENTACE



Obr. F.1: Otevřený sestavený přístroj



Obr. F.2: Čelní panel přístroje