

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

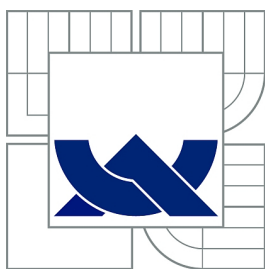
APLIKACE KAPACITNÍCH SNÍMAČŮ V TECHNICKÉ PRAXI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

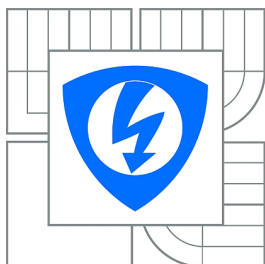
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ MICHALÍK

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

APLIKACE KAPACITNÍCH SNÍMAČŮ V TECHNICKÉ PRAXI APPLICATION OF CAPACITY SENSORS IN TECHNICAL PRACTICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

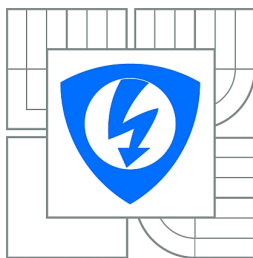
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ MICHALÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. TOMÁŠ FRÝZA, 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: Lukáš Michalík

ID: 115229

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Aplikace kapacitních snímačů v technické praxi

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Projekt je zaměřen do oblasti praktického využití kapacitních snímačů jako ovládacích prvků samostatných zařízení. Provedte rozbor dostupných kapacitních snímačů, jejich principu, příp. vlivu na okolní zařízení. Navrhněte jednoduché aplikace, pomoci níž bude možné provést detailní srovnání senzorů. Zaměřte se na bezchybnou interpretaci snímaných veličin. Navrhněte blokové uspořádání audio zesilovače.

Navrhněte a realizujte audio zesilovač s vámi vybranou strukturou: předzesilovač, koncový zesilovač, příp. ekvalizér. Mikroprocesorové řízení těchto obvodů bude ovládáno výhradně zvolenými kapacitními senzory. Diskutujte alternativní ovládání zesilovače pomocí osobního počítače. Provedte posouzení kvality zesilovače pomocí parametrů běžných v audio technice.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Freescale Semiconductor. Touch Sensing [online]. 2010 - [cit. 3. června 2010]. Dostupné na [www: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPR083](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPR083).

[2] STMicroelectronics. S-Touch [online]. 2010 - [cit. 3. června 2010]. Dostupné na [www: http://www.st.com/stonline/products/families/sensors/touch_sensors/stouch.htm](http://www.st.com/stonline/products/families/sensors/touch_sensors/stouch.htm).

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

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

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

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se v první části zabývá srovnáním několika kapacitních snímačů doteku různých firem. Cílem srovnávání je výběr jednoho typu kapacitních snímačů, které jsou následně použity pro konstrukci ovládacího panelu audio zesilovače. Vybraný typ kapacitního snímače je podrobně popsán a testován. Testované vlastnosti jsou porovnány s údaji výrobců.

Ve druhé části této práce je navržen a zkonstruován audio zesilovač. Pomocí vybraných kapacitních snímačů je pro tento zesilovač navržen dotykový ovládací panel, prostřednictvím něhož jsou následně řízeny všechny dostupné funkce zesilovače.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kapacitní dotykové senzory, mikrokontrolér, korekční předzesilovač, audio zesilovač.

ABSTRACT

This bachelor work deals with a comparison of several capacity touch sensors from different companies. The aim of this comparison is the selection of one type of capacity touch sensors which will be used to construct the audio amplifier touch screen control panel. The selected type of capacitive sensors is described and tested. Tested properties are compared with the data specified by its producer.

In the second part of this work, there will be designed and constructed audio amplifier. With help of the selected capacitive touch sensor the touch screen control panel for this amplifier is created. The control touch panel manages all of the available features of amplifiers.

KEYWORDS

Proximity capacitive touch sensors, microcontroller, correction pre-amplifier, audio amplifier.

MICHALÍK, L. Aplikace kapacitních snímačů v technické praxi. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 105 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Aplikace kapacitních snímačů v technické praxi“ 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 doc. Ing. Tomáši Frýzovi, Ph.D., vedoucímu bakalářské práce, za cenné rady a účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Úvod	13
1 Kapacitní senzory a jejich vlastnosti	14
1.1 MAX1441	14
1.2 STMPE821	15
1.3 MPR08x	16
1.3.1 Hlavní parametry obvodů MPR08x	17
1.3.2 Použitá terminologie u obvodů MPR08x	17
1.3.3 Popis pinů obvodů MPR08x	17
1.3.4 Parametry elektrod	17
1.3.5 Možnosti obvodů MPR08x	22
2 Testování vybraných obvodů	29
2.1 Srovnání obvodů	29
2.2 Zhodnocení vlastností elektrod obvodů MPR08x	29
2.2.1 Tvary a velikosti dotykových ploch	31
2.2.2 Zhodnocení parametrů cest vedoucích k elektrodám	33
2.3 Zhodnocení vlastností obvodů MPR08x	35
3 Realizace audio zesilovače	37
3.1 Blokové schéma, konstrukce zesilovače	37
3.2 Napájení	38
3.2.1 Napájení logických obvodů a korekcí	38
3.2.2 Napájení koncového zesilovače	39
3.3 Koncový zesilovač	40
3.4 Řídící jednotka a korekce	40
3.5 Ovládací panel	42
3.5.1 Umístění senzorů a vedení spojů na DPS	42
3.5.2 Nerovnosti čelní stěny panelu	43
3.5.3 Napájení LED diod	45
3.5.4 Zapouzdření ovládacího panelu	46
4 Naměřené parametry	47
4.1 Korekční a koncový zesilovač	47
4.1.1 Kmitočtové charakteristiky	47
4.1.2 Čistota výstupního signálu	48
4.1.3 Odezva na různé druhy signálu	48

4.2	Kapacitní snímače	53
4.2.1	Měření vlastností kapacitních snímačů	53
4.2.2	Rušivé vlastnosti kapacitních snímačů	53
5	Závěr	55
5.1	Závěrečné zhodnocení a výběr obvodů	55
5.2	Realizace audio zesilovače	55
5.3	Zhodnocení kapacitních snímačů	56
5.4	Možnosti dalšího testování	57
	Literatura	58
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	60
	Seznam příloh	62
A	Schémata	63
A.1	Ovládací panel	63
A.2	Řídící panel	67
A.3	Zdroj	70
A.4	Koncový zesilovač	71
B	Plošné spoje	73
B.1	Testovací desky	73
B.2	Ovládací panel	76
B.3	Řídící panel	78
B.4	Zdroj	80
B.5	Koncový zesilovač	82
C	Osazovací předlohy	84
C.1	Ovládací panel	84
C.2	Řídící panel	86
C.3	Zdroj	88
C.4	Koncový zesilovač	90
C.5	Ostatní obrazová příloha	93
D	Soupiska součástek	95
D.1	Ovládací panel	95
D.2	Řídící panel	98
D.3	Zdroj	100
D.4	Koncový zesilovač	101

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Doporučené zapojení obvodu MAX1441.	15
1.2	Snímání doteku u obvodu MAX1441.	15
1.3	Vnitřní struktura obvodu STMPE821.	16
1.4	Popis pinů obvodů MPR08x.	19
1.5	Snímání doteku u obvodu MPR08x.	20
1.6	Okrajová kapacita spoje.	20
1.7	Kapacita uzavřená přes DPS.	20
2.1	Výrobce doporučené zapojení obvodů MPR08x.	29
2.2	Doporučené zapojení po korekci.	31
3.1	Blokové schéma audio zesilovače.	37
3.2	Náhled ovládacího panelu.	43
3.3	Umístění LED diody do ovládacího panelu.	44
3.4	Použití „hřebíku“ na prokovení dotykových plošek.	45
4.1	Měřená kmitočtová charakteristika zesilovače s výchozí polohou korekcí.	48
4.2	Měřená kmitočtová charakteristika zesilovače. Korekce nastaveny pro zvýraznění, respektive potlačení basů.	49
4.3	Měřená kmitočtová charakteristika zesilovače. Korekce nastaveny pro zvýraznění, respektive potlačení středů.	49
4.4	Měřená kmitočtová charakteristika zesilovače. Korekce nastaveny pro zvýraznění, respektive potlačení středů.	50
4.5	Výstupní spektrum zesilovače ve slyšitelném pásmu. Měřeno přes útlumový článek -10 dB. Buzeno sinusovým signálem 10 kHz.	50
4.6	Výstupní spektrum zesilovače v celém měřitelném rozsahu. Měřeno přes útlumový článek -10 dB.	51
4.7	Odezva zesilovače na buzení trojúhelníkovým průběhem (spodní průběh), kanál 1 zobrazen v poměru 10:1.	51
4.8	Odezva zesilovače na buzení obdélníkovým průběhem (spodní průběh), kanál 1 zobrazen v poměru 10:1.	52
4.9	Spektrum signálu na dotykových ploškách (1/2). Měřeno za sondou 10x a útlumovým článkem -10 dB.	53
4.10	Spektrum signálu na dotykových ploškách (2/2). Měřeno za sondou 10x a útlumovým článkem -10 dB.	54
4.11	Průběh signálu na dotykové plošce. (Pouze složky do 60 MHz).	54
A.1	Ovládací panel - rotační kodér	63
A.2	Ovládací panel - korekce	64
A.3	Ovládací panel - přepínání kanálů	65
A.4	Ovládací panel - buzení led diod	66

A.5	Řídící panel - řízení a rozhraní	67
A.6	Řídící panel - napájení	68
A.7	Řídící panel - korekční předzesilovač	69
A.8	Napájecí zdroj	70
A.9	Koncový zesilovač	71
A.10	Koncový zesilovač - pojistky	72
B.1	Testovací deska plošek	73
B.2	Testovací deska spojů	74
B.3	Testovací deska „zemnicí plocha“	75
B.4	Testovací deska rotačního kodéru a posuvníku	75
B.5	Ovládací panel - bottom (scale 0,6)	76
B.6	Ovládací panel - top(scale (0,7)	77
B.7	Řídící panel - bottom	78
B.8	Řídící panel - top	79
B.9	Napájecí zdroj - bottom	80
B.10	Napájecí zdroj - top	81
B.11	Koncový zesilovač - bottom	82
B.12	Koncový zesilovač - top	83
C.1	Ovládací panel - osazovací předloha bottom (scale 0,7)	84
C.2	Ovládací panel - osazovací předloha top (scale 0,7)	85
C.3	Řídící panel - osazovací předloha bottom	86
C.4	Řídící panel - osazovací předloha top	87
C.5	Napájecí zdroj - osazovací předloha bottom	88
C.6	Napájecí zdroj - osazovací předloha top	89
C.7	Koncový zesilovač - osazovací předloha bottom	90
C.8	Koncový zesilovač - osazovací předloha top	91
C.9	Katalogový list usměrňovače EZK301	92
C.10	Krycí maska ovládacího panelu s popisy funkcí jednotlivých tlačítek (scale = 0.7)	93
C.11	Zobrazení celého zařízení	94
C.12	Pohled na vnitřní zapojení zařízení	94

SEZNAM TABULEK

1.1	Terminologie obvodů MPR08x.	18
1.2	Popis pinů MPR08x.	19
1.3	Konfigurační registry.	23
1.4	Mapa registrů.	28
2.1	Porovnání kapacitních snímačů.	30
2.2	Kapacita elektrody proti zemnicí ploše.	34
3.1	Příkon jednotlivých součástek a celkový potřebný příkon.	39
3.2	Naměřené parametry LED diod.	45
4.1	Použité měřicí přístroje.	47
D.1	Soupis součástek - ovládací panel	98
D.2	Soupis součástek - řídicí panel	100
D.3	Soupis součástek - napájecí zdroj	101
D.4	Soupis součástek - koncový zesilovač	105

ÚVOD

V současné době se začínají prosazovat kapacitní dotyková čidla jako náhrada za mechanické ovládací prvky nejen ve speciálních aplikacích, ale jsou implementována i do běžných zařízení denní potřeby. Je to dáno převážně jejich kladnými vlastnostmi. Po uživatelské stránce například nulovým opotřebením a uživatelskou přívětivostí. Po stránce konstrukční je to pak snadná implementace do cílového zařízení, nezávislost na standardizovaných mechanických prvcích a v neposlední řadě odstranění zákmitů při stisknutí. Dále k jejich rozšiřování přispívá neustále se zlepšující dostupnost na trhu.

Tato práce srovnává jednotlivé, v současnosti dostupné obvody. Závěrem srovnání je výběr několika kapacitních snímačů, které jsou použity pro realizaci ovládacího panelu audio zesilovače.

V rámci této bakalářské práce je řešeno samotné ovládání audio zesilovače pomocí čistě dotykového ovládacího panelu. Ovládací panel slouží k řízení mikrokontroléru, který se stará o celkový chod zařízení. Samotná část audio zesilovače je sestavena z korekčního předzesilovače TDA7439 a na něj navazující výkonové části, složené z integrovaného zesilovače TDA7293. V závěru práce je posouzena možnost ovládání zařízení pomocí osobního počítače a je uvedeno srovnání vlastností sestaveného zesilovače s běžně dostupnými audio zesilovači.

1 KAPACITNÍ SENZORY A JEJICH VLASTNOSTI

Následující kapitola srovnává kapacitní senzory od firem Freescale Semiconductor, STMicroelectronics a Maxim Integrated Products. Jak bylo uvedeno v úvodu, dostupnost dotykových senzorů se neustále zlepšuje, ovšem v době vzniku této zprávy se podařilo zajistit pouze vzorky od firmy Freescale Semiconductor. U zbylých dvou výrobců byl problém s typem dodávaných komponentů, které jsou pouzřeny pro strojovou montáž a nevhodné pro ruční osazování. Tyto obvody jsou proto srovnány jen na základě údajů udávaných výrobcí.

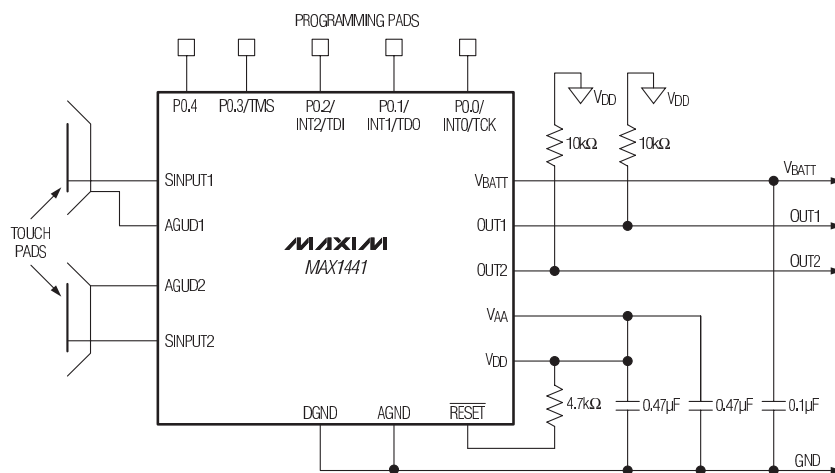
1.1 MAX1441

Možnosti obvodu MAX1441 [11] jsou značně odlišné od ostatních popisovaných obvodů v tomto textu. Jako jediný z obvodů zde popisovaných slučuje vlastnosti programovatelného mikrokontroléru a kapacitního snímače. Tato vlastnost mu poskytuje široké možnosti uplatnění, ale také jej značně omezuje.

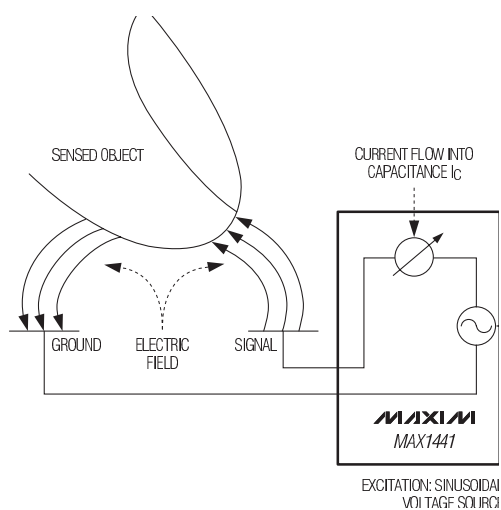
Jakožto mikrokontrolér s $2k \times 16$ b Flash paměti programu a 128 B SRAM paměti může sloužit samostatně pro obsluhu jednoduchých zařízení, aniž by musel být použit další řídicí prvek. Tato vlastnost je rozhodující v případě malých nároků na složitost zařízení a velkých nároků na malý počet použitých součástek, respektive na velikost daného zařízení. Obvod je programován pomocí JTAG programátorů, což poskytuje značné výhody při ladění aplikace. Jak je vidět na obrázku 1.1, je obvod vybaven pěti vstupně/výstupními piny. Piny P0.0 – P0.2 jsou navíc vybaveny externím přerušením. Kromě externího přerušení obvod disponuje také přerušením *Watchdog interrupt*, *Timer interrupts* a *AFE interrupts*. Instrukční sada tohoto mikrokontroléru obsahuje přibližně 60 instrukcí, jež umožňují realizovat základní logické a matematické operace. Obvod MAX1441 lze tedy považovat za vhodnou náhradu kombinace mikrokontroléru a externího kapacitního snímače. Jediná věc, která tomuto obvodu chybí, na rozdíl od „velkých“ mikrokontrolérů, je prostředek pro komunikaci s okolními prvky zařízení, jako je například: I²C (TWI), UART nebo SPI.

Tím, že je obvod kombinací mikrokontroléru a kapacitního snímače, obsahuje pouze dva piny pro připojení elektrod. Respektive piny čtyři; každá elektroda je totiž složena z napájené – aktivní části a analogové země, obrázek 1.2. Což je rozdíl od většiny ostatních kapacitních snímačů, které používají virtuální zem, obrázek 1.5. Malý počet elektrod omezuje použití tohoto obvodu v aplikacích s požadavkem na velký počet ovládacích prvků. Na rozdíl od níže popisovaných obvodů firmy

Freescale Semiconductor je tento obvod vybaven piny pro připojení kapacitního offsetu pro případ, že by konstrukce zařízení vyžadovala změnu rozsahu, ve které je obvod schopen pracovat.



Obr. 1.1: Doporučené zapojení obvodu MAX1441 [11].

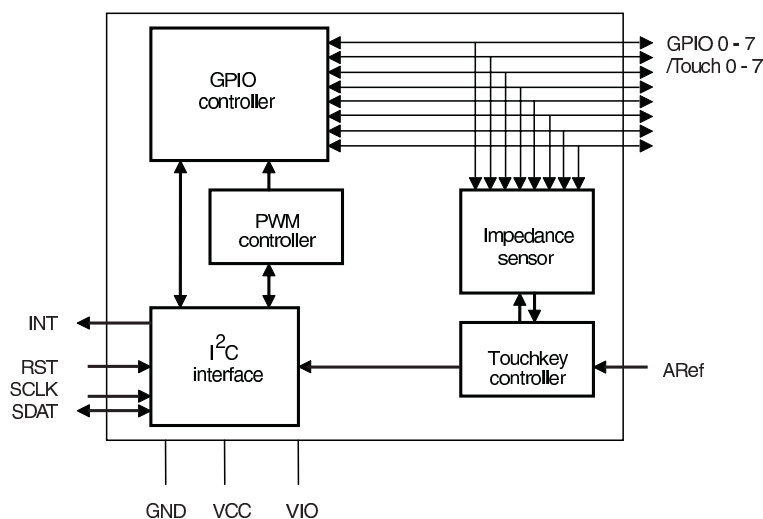


Obr. 1.2: Snímání doteku u obvodu MAX1441 [11].

1.2 STMPE821

Firma STMicroelectronics vyrábí celou řadu kapacitních snímačů. Pro bližší popis byl vybrán obvod STMPE821 [13], který lze považovat za průměrného zástupce celé řady. Srovnání všech kapacitních snímačů je zobrazeno v tabulce 2.1.

K základním vlastnostem obvodu STMPE821 patří nízké napájecí napětí 2,7 – 3,6 V, velmi malé rozměry 2,6 x 1,8 mm a možnost připojit až 8 snímacích elektrod. Obvod má velice zajímavou vnitřní strukturu, obrázek 1.3, která mu umožňuje využívat všech osm pinů pro připojení elektrod, nebo lze tyto jednotlivé piny softwarově přepojit na PWM generátor, který může spolu s LED diodami sloužit pro signalizaci určitých stavů. Veškerá komunikace s obvodem probíhá po sběrnici I²C. Obvod má bohužel pevně stanovenou I²C adresu, což omezuje počet obvodů v jednom zařízení na jediný kus. Větší počet elektrod lze tedy dosáhnout jiným „větším“ obvodem nebo kombinací obvodů různých řad. Některé z obvodů vyšších řad poskytují volbu mezi více adresami I²C, například u obvodu STMPE16M31 lze zvolit ze čtyř různých adres.



Obr. 1.3: Vnitřní struktura obvodu STMPE821 [13].

Obvod dále disponuje výstupem INT pro vyvolávání události v připojeném mikrokontroléru. Stav výstupu INT může být ovlivněn událostmi v PWM modulaci, při restartu obvodu a hlavně také při detekci dotyku na elektrodě, potažmo změnou hodnoty v FIFO paměti. Pouzdro obvodu zahrnuje také vstupní pin \overline{RST} , kterým je možno kapacitní snímač restartovat a pin ARef pro připojení referenční kapacity.

1.3 MPR08x

Jak bylo již dříve zmíněno, firma Freescale Semiconductor [7] poskytuje v dnešní době kapacitní senzory v integrované podobě, která je ještě vhodná pro ruční osazení. Tyto obvody se vyrábějí v modelové řadě MPRxyz. Hlavními zástupci této řady jsou obvody MPR083 [4] a MPR084 [3] (a méně rozšířené MPR121 a MPR031). Samotné

obvody se od sebe moc neliší, jediný jejich rozdíl je v cílové aplikaci. Obvod MPR084 slouží k vytváření tlačítek (dotykových plošek) všech možných velikostí a tvarů. Naopak obvod MPR083 je určen k nahrazení posuvníků, rotačních kodérů a všech aplikací, kde se počítá s přejížděním prstu z jedné dotykové plošky na druhou.

1.3.1 Hlavní parametry obvodů MPR08x

Jedná se o velice malý integrovaný obvod o rozměrech 5x5 mm, v současné době vyráběný v provedení pouzdra 16-LEAD FQN CASE 1679 a 16-LEAD TSSOP CASE 948F. Od této druhé verze pouzdra se již pomalu upouští.

Jeden z hlavních parametrů obvodu je malé napájecí napětí 1,8 – 3,6 V s napájecím proudem 2 – 41 μA podle zvoleného provozního režimu. Obvod obsahuje vlastní vyrovnávací paměť FIFO, do které ukládá informace o stisknutých ploškách. K této paměti a ke všem konfiguračním registrům je možno přistupovat pomocí sběrnice I²C. Pro usnadnění komunikace je obvod vybaven výstupním pinem \overline{TRQ} , pomocí kterého si obvod může zažádat o přerušení řídicí mikrokontrolér. V neposlední řadě je obvod vybaven výstupem pro zvukovou signalizaci stisku. Tato vlastnost je velice důležitá, protože v případě kapacitního snímání nemá člověk mechanickou odezvu stisku tlačítka.

1.3.2 Použitá terminologie u obvodů MPR08x

V tabulce 1.1 jsou vysvětleny jednotlivé termíny používané v oblasti kapacitních snímačů.

1.3.3 Popis pinů obvodů MPR08x

V tabulce 1.2 jsou popsány vlastnosti jednotlivých pinů obvodů MPR08x. Rozložení pinů je zobrazeno na obrázku 1.4.

1.3.4 Parametry elektrod

V následujícím textu budou popsány vlastnosti elektrod, tak jak jsou doporučeny výrobcem [5]. V další části práce budou tyto údaje zhodnoceny.

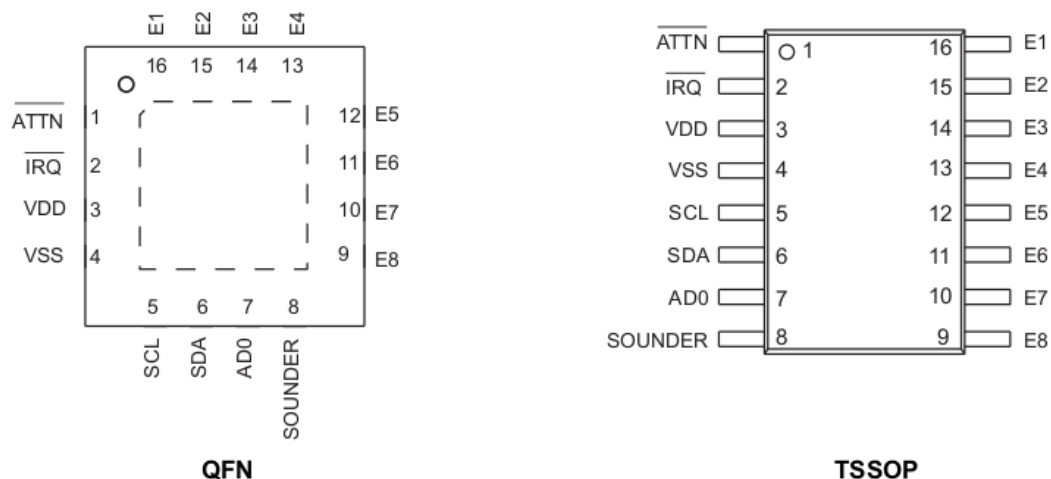
Firma Freescale Semiconductor vyrábí několik typů kapacitních snímačů. Všechny tyto obvody měří kapacitu elektrod, a to od elektrody k virtuální zemi, jak je znázorněno na obrázku 1.5. K vyhodnocení stisku tlačítka (elektrody) se využívá změna kapacity na elektrodě oproti referenční úrovni. Tato změna kapacity musí být minimálně o jeden řád jiná, než referenční hodnota.

Tab. 1.1: Terminologie obvodů MPR08x [3] [4].

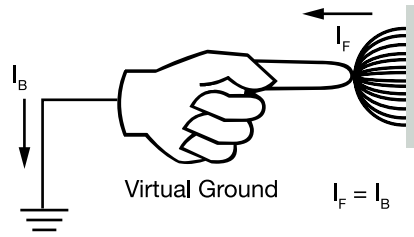
Termín	Definice
Touch Sensor – Dotykové čidlo	Touch Sensor je spojení inteligentního čipu a vodivé plošky k němu připojené.
Touch Sensor Controller – Dotykový snímač – Kapacitní snímač	Touch Sensor Controller je inteligentní obvod, který měří kapacitu a rozlišuje aktivní a neaktivní plošky.
Key – Tlačítko	Key or Switch je mechanické zařízení umožňující elektrické propojení pouze při mechanické zátěži.
Touch Pad – Dotyková ploška – Elektroda – Ploška	Touch Pad je část dotykového čidla, která se používá k nahrazení mechanického spínače. Dotykový snímač určuje stav pomocí nízké a vysoké hladiny kapacity. Změna stavu je vyhodnocena stejně jako u mechanického prvku.
Solid Pad	Solid or Full Pad je varianta, při které se používá právě jedna elektroda připojená na dotykový snímač.
Split Pad	Split Pad je varianta, při které se používá více než jedna elektroda připojená na dotykový snímač. Jde o zvýšení celkového počtu dotykových plošek, bez zvýšení elektrických přípojek kapacitního snímače.
N-key Lockout – Počet aktivních plošek	N-Key Lockout určuje maximální možný počet současných doteků. $N = 1$ pouze jeden aktivní dotek.
N-key rollover – Postupné stisknutí	N-Key Rollover určuje kolik tlačítek jde stisknout postupně za sebou bez uvolnění předchozího. Například $N\text{-key Loc} = 1$ a $N\text{-key Rol} = 2$; tlačítko stisknuté jako druhé bude detekováno, ale až po uvolnění prvního tlačítka.
I ² C	Inter-Integrated Circuit Communication

Tab. 1.2: Popis pinů MPR08x [3] [4].

Pin	Název	Funkce
1	\overline{ATTN}	Attention Pin. Jedná se o vstupní pin, aktivní při nízké úrovni. Nastavuje v konfiguračním registru bit \overline{DCE} na vysokou úroveň a tím aktivuje komunikaci s obvodem.
2	\overline{IRQ}	Interrupt Request Pin. Výstupní pin, aktivní v nízké úrovni, aktivuje se při nové události (vhodný pro externí přerušení řídicího mikrokontroléru).
3	VDD	Kladné napájecí napětí.
4	VSS	GND.
5	SCL	I ² C hodinový signál.
6	SDA	I ² C datový signál.
7	AD0	I ² C adresa zařízení. L = I ² C adresa 0x5C H = I ² C adresa 0x5D.
8	SOUNDER	Zvukový výstup pro připojení piezoakustického měniče, ten se připojí na tento pin a na GND. Výstup je push-pull.
9 – 16	E1 – E8	Připojení Elektrod 1 – 8.

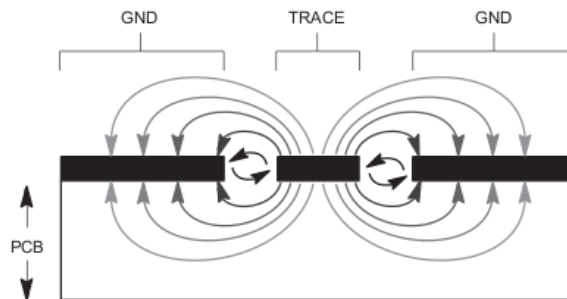


Obr. 1.4: Popis pinů obvodů MPR08x [3].

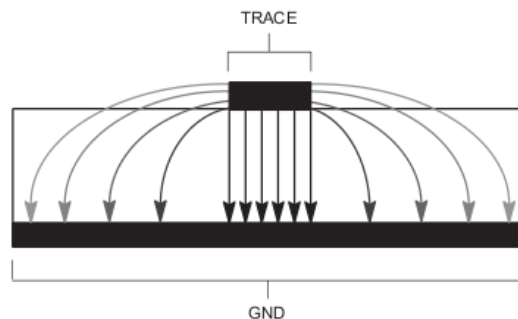


Obr. 1.5: Snímání doteku u obvodu MPR08x [6].

K tomu, aby zařízení pracovalo správně, je nutné minimalizovat rozptylové kapacity dotykových ploch a jejich přírodních cest. Rozptylové kapacity vznikají dvěma způsoby. Jednak kapacitami mezi elektrodou (popř. cestou k ní vedoucí) a okolní zemnicí plochou – okrajová kapacita, obrázek 1.6, nebo zemnicí plochou vyskytující se pod těmito dvěma částmi – kapacita uzavřená přes DPS, obrázek 1.7. Druhá z těchto variant má významnější podíl na rozptylové kapacitě, než prvně zmíněná okrajová kapacita.



Obr. 1.6: Okrajová kapacita spoje [5].



Obr. 1.7: Kapacita uzavřená přes DPS [5].

Dizajnové omezení [5]

Omezení tvaru dotykových plošek je minimální, výrobce ovšem udává nejlepší vlastnosti při použití čtvercových nebo kruhových elektrod.

Omezení elektrod

- Minimální velikost elektrody 3x3 mm.
- Maximální velikost elektrody 15x15 mm.
- Tloušťka krycího materiálu pro minimální velikost plošky 0,5 mm.
- Tloušťka krycího materiálu pro maximální velikost plošky 3 mm.

Stínění elektrod

Je-li potřeba elektrodu z nějakých důvodů stínit proti vnějšímu rušení, lze to provést stínícím kroužkem připojeným na zem. Šířka tohoto vodiče by měla být minimální, a to tak, jak dovolují konstrukční možnosti. Vzdálenost zemnícího kroužku by měla být rovněž minimální.

Omezení cest vedoucích k elektrodám

- Délka cesty 1 – 200 mm.
- Šířka cesty – výrobce udává méně než 0,2 mm (pravděpodobně chybná hodnota).
- Cesta vedoucí k elektrodě by neměla kříždit v jiných vrstvách DPS ostatní elektrody, avšak křížení samotných cest je dovoleno.
- Detekci nechtěného dotyku mimo elektrodu lze minimalizovat následovně:
 - obsah překryté cesty prstem mimo elektrodu by neměl být větší než 20% plochy elektrody. To znamená, má-li elektroda rozměry například 15x15 mm a dojde k nechtěnému dotyku mimo elektrodu, nesmí překrytá plocha cesty vyplnit více než 1/5 obsahu elektrody.
- Literatura [5] popisuje i využití odporových filmů k realizaci elektrod, tato problematika je však nad rámec této práce.

1.3.5 Možnosti obvodů MPR08x

Konfigurační registry

V následující tabulce 1.3 jsou zobrazeny konfigurační registry, jejich I²C adresy a počáteční hodnoty.

Popis konfiguračních registrů [3]

- FIFO registr
 - Každý vstup pro elektrodu má své interní 4 b číslo. Při stisku elektrody se toto číslo uloží do paměti FIFO. V případě přetečení paměti se přemazávají poslední data.
 - MDF – More Data Flag – je-li po skončení čtení roven 1, jsou v paměti další data.
 - NDF – No Data Flag – nejsou připravena žádná data.
 - OF – Overflow Flag – bit signalizující přetečení paměti.
 - TRF – Touch Release Flag – je-li roven 1, odpovídají data v paměti aktuálně stisknuté elektrodě, v opačném případě byla elektroda již uvolněna.
 - BF – Buffered Position – číslo identifikující stisknutou elektrodu, hodnoty v rozsahu 0b0000 – 0b0111.

- Fault registr
 - Obvody MPR08x umí detekovat chybový stav na elektrodách. Umí vyhodnotit zkrat elektrody na VSS nebo VDD. V případě detekování chyby je elektroda odpojena a obvod ji ignoruje, dokud není zkrat odstraněn. V případě vícenásobné chyby je v registru zobrazena první detekovaná chyba.
 - MNKE – Maximum Number of Keys Exceeded – je-li překročen maximální povolený počet dotyků, je bit roven 1.
 - FAULT – nabývá hodnot 00 – žádné chyby, 01 – zkrat k VSS, 10 – zkrat k VDD.

- Touch Pad Status Register
 - Registr obsahuje osm bitů ExS, kde x je číslo konkrétní elektrody. Jednotlivé bity E1S – E8S zobrazují v reálném čase stav elektrod (stisknutá/nestisknutá).

Tab. 1.3: Konfigurační registry [3].

Registr	Adresa registru	Následující adresa při auto inkrementaci	Počáteční nastavení
FIFO Register	0x00	0x00	žádná data
Fault Register	0x01	0x02	žádné chyby
Touch Pad Status Register	0x02	0x00	žádný dotyk
Touch Pad Configuration Register	0x03	0x04	elektrody aktivní, žádné přerušení, zvuková signalizace aktivní, auto-kalibrace vypnuta
Sensitivity Threshold Registers 1	0x04	0x05	maximální citlivost
Sensitivity Threshold Registers 2	0x05	0x06	maximální citlivost
Sensitivity Threshold Registers 3	0x06	0x07	maximální citlivost
Sensitivity Threshold Registers 4	0x07	0x08	maximální citlivost
Sensitivity Threshold Registers 5	0x08	0x09	maximální citlivost
Sensitivity Threshold Registers 6	0x09	0x0A	maximální citlivost
Sensitivity Threshold Registers 7	0x0A	0x0B	maximální citlivost
Sensitivity Threshold Registers 8	0x0B	0x0C	maximální citlivost
Electrode Channel Enable Mask Register	0x0C	0x0D	všechny elektrody aktivní
Maximum Number of Touched Positions Register	0x0D	0x0E	4 současné doteky
Master Tick Period Register	0x0E	0x0F	perioda je 10 ms
Touch Acquisition Sample Period Register	0x0F	0x10	perioda je 1 ms
Sounder Configuration Register	0x10	0x11	zvuková signalizace povolena, délka 10 ms, frekvence 1 kHz
Low Power Configuration Register	0x11	0x12	úspora energie vypnuta
Stuck Key Timeout Register	0x12	0x13	auto-kalibrace vypnuta
Configuration Register	0x13	0x00	stop1 mod, \overline{TRQ} vypnuto
Sensor Information Register	0x14	0x14	statická hodnota

- Touch Pad Configuration Register
 - Konfigurační registr slouží ke konfiguraci hlavních funkcí obvodů MPR08x.
 - Bit TPSE – Touch Pad Sounder Enable – povoluje/zakazuje použití zvukové signalizace.
 - BKA – Best Key Algorithm – aktivuje algoritmus nahrazující omezení současného dotyku. Best key algoritmus vybere vždy jen jeden správný dotek.
 - ACE – Auto Calibration Enable – aktivuje automatickou kalibraci.
 - TPRBE – Touch Pad Release Buffer Enable – aktivuje zápis dat do FIFO paměti při uvolnění elektrody.
 - TPTBE – Touch Pad Touch Buffer Enable – aktivuje zápis dat do FIFO paměti při stlačení elektrody.
 - TPE – Touch Pad Enable – hromadná aktivace/deaktivace elektrod.
- Sensitivity Threshold Registers 1
 - Celý tento registr určuje citlivost elektrod. Citlivost je v rozsahu 0b00000000 – 0b00111111 (0x00 – 0x3F).
- Electrode Channel Enable Mask Register
 - Maskovací registr, pomocí jehož lze vypnout/zapnout jakoukoliv elektrodu nezávisle na ostatních. Elektrody jsou v registru seřazeny E8EN – E1EN.
- Maximum Number of Touched Positions Register
 - Poslední 3 bity tohoto registru udávají, kolik elektrod může být současně stisknuto, respektive na kolik stisknutých elektrod bude dotykový snímač reagovat. (Ostatní bity jsou nevyužity.)
- Master Tick Period Register
 - MTP – jedná se o nastavení primárních hodin celého obvodu. Tyto hodiny lze nastavit v rozmezí 5 – 31 ms. Od této hodnoty se dále odvíjí rychlost všech operací obvodu. Binární kombinace jsou 0b00000000 pro 5 ms a 00011010 pro 31 ms.
 - Hodnota tohoto registru je použita pouze v RUN1 MODE, v ostatních módech je nastavena standardně 8 ms.

- Touch Acquisition Sample Period Register
 - Tento registr nastavuje násobící koeficient pro výpočet vzorkovací rychlosti, pro odebírání vzorků z jednotlivých elektrod.
 - Hodnota může být v rozmezí 1 – 32 binárně 0b00000000 – 0b00011111.
- Sounder Configuration Register
 - Účelem tohoto registru je možnost konfigurace zvukové signalizace.
 - Bit CP – Click Period – nastavuje délku zvuku 10 nebo 20 ms (0/1).
 - FREQ – Frequency – vybírá frekvenci zvuku 1 nebo 2 kHz (0/1).
 - SEN – Sounder Enable – povoluje nebo zakazuje zvukový výstup (0/1).
- Low Power Configuration Register
 - Registr slouží ke konfiguraci režimu nízké spotřeby.
 - ITP – Idle Timeout Period – pomocí těchto tří bitů lze nastavit, po kolika vzorkovacích periodách nečinnosti (obvod nedetekuje žádný dotek) může obvod přejít do stavu nízké spotřeby.
 - SCD – Sleep Cycle Duration – tato část registru (zbylých pět bitů) udává, po kolik vzorkovacích period může obvod zůstat ve stavu nízké spotřeby.
- Stuck Key Timeout Register
 - Celý registr obsahuje SKT – Stuck Key Timeout – proměnnou, sloužící k nastavení periody skenování elektrod.
- Configuration Register
 - Pomocí konfiguračního registru lze ovládat základní provozní stavy obvodu.
 - IRQ – Interrupt Rate – nastavuje minimální počet period primárních hodin (MTP), které musí uplynout mezi jednotlivými sekvencemi přerušování. Může nabývat hodnot 0b000 – 0b111, kde 0b000 značí jednu MTP.
 - \overline{RST} – pomocí tohoto bitu je možné provést restart obvodu.

- \overline{DCE} a RUNE – obvod je schopen pracovat ve čtyřech pracovních módech Run1, Run2, Stop1 a Stop2 mód. Výběr konkrétního módu se volí pomocí těchto dvou bitů. Přičemž RUNE přepíná mezi Run – elektrody jsou skenovány a Stop - elektrody se neskenují a \overline{DCE} volí mezi módem 1 nebo 2.
 - Run1 – plný výkon – elektrody jsou skenovány a obvod je připraven pro okamžitou I²C komunikaci.
 - Run2 – snížení spotřeby – elektrody jsou pravidelně skenovány, ale po každém cyklu obvod sníží spotřebu. V této chvíli nemusí být dostupná komunikace I²C. Komunikaci lze vynutit pomocí \overline{ATTN} pinu.
 - Stop1 – úsporný režim – v tomto režimu nejsou skenovány elektrody, ale obvod odpovídá na případné I²C požadavky.
 - Stop2 – ST-BY režim – obvod je uspán, probudit lze pouze pomocí \overline{ATTN} pinu.
- IRQEN – Interrupt Enable – povolovací bit žádosti o přerušení \overline{IRQ} .
- Sensor Information Register
 - Registr zobrazuje výrobní informace o čipu.

Popis konfiguračních registrů obvodu MPR083 [4]

Výše zmíněné registry jsou řídicí registry obvodu MPR084. Obvod MPR083 má většinu řídicích registrů shodných. Výjimku tvoří tyto registry:

- Fault registr
 - Na rozdíl od obvodu MPR084 zobrazuje tento registr pouze zkrat na VSS nebo VDD, nezobrazuje vícenásobný dotek.
- Rotary Status Register
 - Registr Touch Pad Status Register obvodu MPR084 je nahrazen Rotary Status Register. Registr obsahuje následující dvě části:
 - SF – Status Flag zobrazuje stav všech elektrod. Je-li momentálně detekován dotek, je tento bit nastaven na logickou 1.
 - CP – Current Position zobrazuje aktuální stisklou elektrodu pomocí binárního vyjádření 0b0000 – 0b0111.
- Rotary Configuration Register

- Tento Registr má stejnou funkci jako jeho ekvivalent Touch Pad Configuration Register u obvodu MPR08. Jediný rozdíl je absence bitu BKA – algoritmus pro automatický výběr nejvhodnějšího stisku při vícenásobném doteku – který je u rotačního kodéru z principu zbytečný.
- Vypuštěné registry
 - Následující dva registry jsou v obvodech MPR083 vypuštěny. Jedná se o maskovací registr elektrod „Electrode Channel Enable Mask Register“ a registr vícenásobného doteku „Maximum Number of Touched Positions Register“. Funkce rotačního kodéru vyžaduje užití všech elektrod, přičemž v jednom okamžiku může být detekován pouze jeden dotek. Proto není konstrukčně dovoleno jednotlivé elektrody softwarově odpojovat nebo povolovat vícenásobný dotek.

Mapa konfiguračních registrů [3]

V tabulce 1.4 jsou zobrazeny všechny konfigurační registry včetně bitové struktury.

Tab. 1.4: Mapa registrů.

Registr	Obsah/Počáteční hodnota										Adresa	Následující adresa					
	7	6	5	4	3	2	1	0									
FIFO	R	MDF / 0	NDF / 1	OF / 0	TRF / 0	BP / 0 0 0 0					0x00	0x00					
	W																
Fault	R	0	0	0	0	0	MNKE / 0				FAULT / 0 0	0x01	0x02				
	W																
Touch Pad Status	R	E8S / 0	E7S / 0	E6S / 0	E5S / 0	E4S / 0	E3S / 0	E2S / 0	E1S / 0		0x02	0x00					
	W																
Touch Pad Configuration	R	TPSE / 1	0	BKA / 0	ACE / 0	TPRBE / 0	TPTBE / 0	0	TPE / 1			0x03	0x04				
	W																
Sensitivity Threshold	R/W	SL / 0 0 0 0 0 0 0 0										0x04	0x05				
Sensitivity Threshold	R/W	SL / 0 0 0 0 0 0 0 0										0x05	0x06				
Sensitivity Threshold	R/W	SL / 0 0 0 0 0 0 0 0										0x06	0x07				
Sensitivity Threshold	R/W	SL / 0 0 0 0 0 0 0 0										0x07	0x08				
Sensitivity Threshold	R/W	SL / 0 0 0 0 0 0 0 0										0x08	0x09				
Sensitivity Threshold	R/W	SL / 0 0 0 0 0 0 0 0										0x09	0x0A				
Sensitivity Threshold	R/W	SL / 0 0 0 0 0 0 0 0										0x0A	0x0B				
Sensitivity Threshold	R/W	SL / 0 0 0 0 0 0 0 0										0x0B	0x0C				
Electrode Channel Enable Mask	R	E8EN / 1	E7EN / 1	E6EN / 1	E5EN / 1	E4EN / 1	E3EN / 1	E2EN / 1	E1EN / 1	E0EN / 1		0x0C	0x0D				
	W																
Maximum Number of Touched Positions	R	0	0	0	0	0	TCP / 1 0 0				0x0D	0x0E					
	W																
Master Tick Period	R/W	MTP / 0 0 0 0 0 1 0 1										0x0E	0x0F				
Touch Acquisition Sample Period	R/W	TASP / 0 0 0 0 0 0 0 1										0x0F	0x10				
	R	0	0	0	0	0	CP / 0				FREQ / 0	SEEN / 1	0x10	0x11			
Sounder Configuration	W																
Low Power Configuration	R	ITP / 0 0 0										SCD / 0 0 0 0 0	0x11	0x12			
	W																
Stuck Key Timeout	R/W	SKT / 0 0 0 0 0 0 0 0										0x12	0x13				
	R	IRQR / 0 0 0										RST / 1	0	DCE / 1	IRQEN / 0	RUNE / 0	0x13	0x00
Configuration	W																
	R	SensorInfo / 0 1 0 0 0 1 1 0										0x14	0x14				
Sensor Information	W																

neimplementováno

2 TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH OBVODŮ

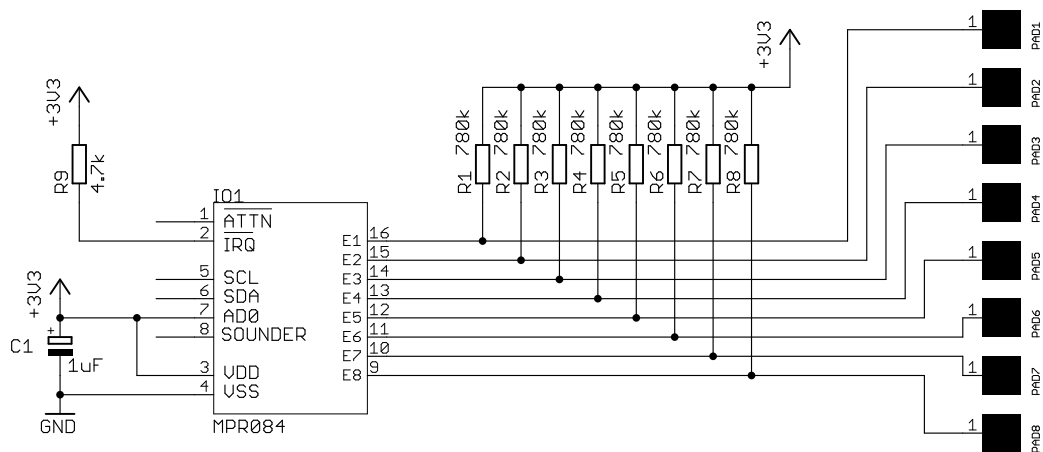
2.1 Srovnání obvodů

Následující tabulka 2.1 srovnává obvody firem Freescale Semiconductor – obvody začínající MPR, obvod firmy Maxim s názvem MAX1441 a obvody firmy STMicroelectronics nesoucí název začínající STMPE.

Dále jsou v textu popisovány pouze obvody firmy Freescale Semiconductor, které byly vybrány pro konstrukci ovládacího panelu audio zesilovače.

2.2 Zhodnocení vlastností elektrod obvodů MPR08x

Před samotným hodnocením vlastností obvodů a snímacích elektrod je nutné uvést změnu zapojení. Výrobce, jak je uvedeno na obrázku 2.1, doporučuje každou elektrodu připojit přes rezistor 780 k Ω na napájecí napětí VDD. V průběhu testování se toto zapojení projevilo jako naprosto nevhodné. Správná funkce obvodu je značně závislá na přesné hodnotě rezistoru. Proto byly rezistory nahrazeny rezistorovými trimry o hodnotě 500 k Ω , jak je zobrazeno na obrázku 2.2. Při jakékoliv změně nastavení citlivosti obvodu, tvaru elektrody a délky cesty k elektrodě je nutné pro správnou funkčnost upravit velikost odporu tohoto trimru.

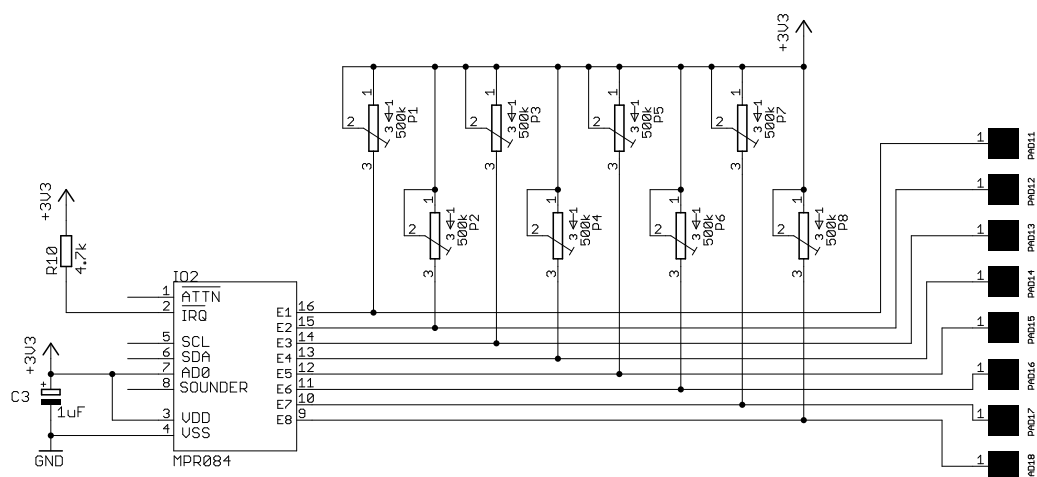


Obr. 2.1: Výrobce doporučené zapojení obvodů MPR08x [3] a [4].

Tab. 2.1: Porovnání kapacitních snímačů [7][14][12]

Obvod	Počet elektrod	Rotační kódér	Zvuková signali-zace	Světelná signali-zace	Napájecí napětí [V]	Provozní proud [μ A]	Proud v úsporném režimu [μ A]	I ² C	PWM	IRQ INT	GPIO	FIFO	Programovatelný	Provozní teplota [$^{\circ}$ C]
MPR031	3	-	-	-	1,71 - 2,75	8	4	x	-	x	-	-	-	-40 - 85
MPR083	8	x	x	-	1,80 - 3,60	41	2	x	-	x	-	x	-	-40 - 85
MPR084	8	-	x	-	1,80 - 3,60	41	2	x	-	x	-	x	-	-40 - 85
MPR121	12	-	-	x	1,71 - 3,60	29	3	x	-	x	-	-	-	-40 - 85
MAX1441	2	-	*	*	5,00 - 28,0	100	?	-	*	-	4	-	JTAG	-40 - 105
STMPE321	3	-	-	-	1,65 - 1,95	280	1,8	x	-	x	3	-	-	-40 - 85
STMPE821	8	-	-	-	2,70 - 3,60	280	1,8	x	x	x	8	-	-	-40 - 85
STMPE1208S	12	-	-	-	2,50 - 5,50	98	60	x	-	2	12	-	-	-40 - 85
STMPE16M31	16	-	-	x	1,65 - 1,95	600	5	x	x	x	15	-	-	-40 - 85
STMPE24M31	24	-	-	x	1,65 - 1,95	600	5	x	x	x	15	-	-	-40 - 85

x -obsahuje, **-** -neobsahuje, ***** -lze vyřešit softwarově, **?** -informace není dostupná



Obr. 2.2: Doporučené zapojení po korekci.

2.2.1 Tvary a velikosti dotykových ploch

Jak bylo uvedeno v kapitole 1.3.4 „Parametry elektrod“, je obvod schopen pracovat s téměř jakýmkoliv tvarem dotykové plošky. Za účelem testování byla zhotovena testovací deska s názvem „Test-desk PAD 1.0“, obrázek B.1. V následujícím textu budou podrobněji rozebrány vlastnosti jednotlivých elektrod.

Velikost dotykových ploch

Na testovací desce je vyrobeno 18 dotykových plošek. První dvě, označené jako 1 a 2 na obrázku B.1, jsou vyrobeny záměrně větší, než je doporučeno výrobcem. Doporučená maximální velikost je 15x15 mm. Ploška 1 má rozměry 25x25 mm a ploška 2 má rozměry 20x20 mm. I přes své „velké“ rozměry se tyto dotykové plošky chovají naprosto stejně, jako dotykové plošky s rozměry menšími než 15x15 mm.

Zemnicí kroužek

Dalšími speciálními ploškami na desce „Test-desk PAD 1.0“, obrázek B.1, jsou elektrody 17 a 18. Tyto dvě elektrody jsou obklopeny zemnicím kroužkem. Při testování citlivosti těchto elektrod nebyl pozorován výrazný rozdíl, snad jen v jednodušším nalezení správné velikosti odporu příslušného trimru. Tento rozdíl byl však tak málo citelný, že jej nelze brát v úvahu. Vlastnosti tohoto zapojení by se nejspíše projevilily v silně zarušeném prostředí.

Výrobu takové plošky značně komplikuje umístění zemnicího kroužku. Ten musí být umístěn v bezprostřední blízkosti elektrody, což klade vysoké požadavky na výrobní postup. Další nevýhodou je obklopení celé elektrody zemnicím kroužkem.

To má za následek stížení přístupu pro přívodní vodič elektrody, který musí být vyveden v jiné vrstvě DPS.

Tvar elektrod

Na zbylých dotykových ploškách 3 – 16 je možné pozorovat jejich různé tvary, považmo schopnost uživatele lehce stisknout elektrodu. Schopnost správně se trefit na elektrodu je velice subjektivní a posouzení je složité. Subjektivním posouzením bylo zjištěno, že jsou lepší kruhové elektrody 5, 6, 13, 14, než čtvercové 3, 4, 15, 16. Dobrým kompromisem jsou půlkulaté elektrody 7 a 8. Elektrody 9 – 12 jsou velice malé a pro průměrnou velikost prstu nevhodné.

Další vlastnost, ve které se tyto elektrody 3 – 16 liší, je umístění pájecího/prokovovacího očka. Přejechod přívodní cesty k elektrodě do druhé vrstvy (na druhou stranu plošného spoje) značně omezí nechtěné doteky. I když výrobce uvádí, že k nechtěným dotekům nedojde, dodržíme-li podmínku tloušťky přívodního vodiče, je lepší cestu přenést co nejdále od panelu. Budou-li se propoje prokovovat výrobním automatem, je vhodné prokovy umístit do středu dotykové plošky. Toto umístění nezabere žádný prostor navíc na DPS a snímání doteků to neovlivní. Avšak je naprosto nevhodné pro pájené prokovy. V tomto případě je z tepelných důvodů potřeba odsunout prokovy dále od dotykové plošky.

Krytí elektrod a jejich vzájemné ovlivňování

Při testování plošek na desce "Test-desk PAD 1.0", obrázek [B.1](#), nebylo pozorováno (při správném nastavení citlivosti obvodu a velikosti odporu příslušného trimru) žádné ovlivňování sousedních elektrod.

Dále bylo na této desce testováno, jakým materiálem mohou být jednotlivé elektrody překryty. Výrobce udává u větších plošek až 3 mm krycího materiálu. (Testovací deska je překryta izolepou, aby se zabránilo oxidaci mědi. Tato vrstva by neměla zkreslit závěry při testování.) Po dlouhém testování bylo zjištěno následující: Obsah registru citlivosti jednotlivých elektrod lze nastavit v rozsahu 0 – 63. Největší číslo 63 ovšem nesymbolizuje největší citlivost, ale naopak tu nejnižší. Tato informace je v katalogovém listu [\[3\]](#) podána velice nepřímě. Při nastavení citlivosti = 0 nemá obvod problémy detekovat dotek i přes 6 mm tlustý bloček papíru. Nevýhoda u takto vysoké citlivosti je velké rozostření a detekce doteku i v okolí dotykové plošky. Další věcí, na kterou je třeba dát pozor, je přeslech od sousedních vodičů. Při příliš vysoké citlivosti nastávají přeslechy od elektrod majících přívody vedené dlouho v blízkosti přívodů elektrod s velkou citlivostí.

2.2.2 Zhodnocení parametrů cest vedoucích k elektrodám

V této části jsou zhodnoceny možné návrhy spojů, které lze využít při tvorbě vodivých cest sloužících pro připojení snímacích elektrod. Testovací deska "Test-desk error 1.0" je zobrazena na obrázku [B.2](#).

Křížení přívodních cest

Jak je vidět na obrázku [B.2](#), jsou přívodní cesty pro elektrody 1 a 2 překříženy celkem dvanáctkrát. Vliv na správnou detekci dotyku při správném nastavení citlivosti nebyl pozorován. Při vyšších citlivostech obvodu dochází k občasným přeslechům.

Křížení cesty pod elektrodou

Na testovací desce, obrázek [B.2](#), jsou přívody k elektrodám 3, 4, 5 vedeny vždy pod sousední elektrodou. Tloušťka spoje je různá pro elektrody 5 a 3, 4. V obou případech nebyl při doteku pozorován vliv jedné elektrody na druhou. Výrobce nedoporučuje křížení cesty s elektrodou. V krajním případě, při nízké citlivosti a malé šířce spoje, by šla tato varianta při návrhu desky použít.

Dvě elektrody pod sebou

Z konstrukčního hlediska je umístění dvou elektrod ve dvou vrstvách pod sebou téměř nesmyslné. Dala by se uvažovat aplikace, kdy bude tvar elektrod podlouhlý a budou tvořit křížovou matici, například 4 řádky a 4 sloupce. Pokud by byly elektrody blízko povrchu a při doteku by reagovaly zároveň, vznikla by při správné softwarové interpretaci křížová spínací matice o rozměru 4x4, tedy šestnáct spínacích prvků.

Zapojení dvou elektrod pod sebou je znázorněno na obrázku [B.2](#) – elektroda 7. Tloušťka DPS při vyšší citlivosti obvodu (např. 5) není pro detekci doteku překážkou. Při nastavení vícenásobného doteku, nebo při použití více kapacitních snímačů by byla realizace křížové matice teoreticky možná.

Velmi tlustá přívodní cesta, popřípadě cesta pokrývající velkou plochu

Elektrody 8 a 9 na obrázku [B.2](#) mají upraveny přívodní cesty tak, aby porušovaly výše uvedenou zásadu: „nechtěný dotek mimo elektrodu nesmí přesáhnout 20% plochy elektrody“. Zmíněné pravidlo bylo při návrhu porušeno a při doteku nad přívodní cestou je tento dotek vyhodnocen jako dotek na elektrodě.

Elektroda nad velkou plochou cesty

Elektrody 10 a 12 mají plochu přívodní cesty pod elektrodami 11 a 13 rozšířenou. Toto rozšíření by se mohlo chovat podobně jako kombinace dvou elektrod 7, které jsou nad sebou, ale při nastavení kapacitního snímače na detekci jediného doteku a snížení citlivosti nebyl pozorován u elektrod 10 a 12 žádný problém.

Vliv kapacity zemnicí plochy

V katalogovém listu [5] se výrazně nedoporučuje velká zemnicí plocha v okolí elektrod a vodivých cest k nim vedoucích. Pro testování tohoto problému byla vytvořena testovací deska „Test-desk GND 1.0“, zobrazena v příloze na obrázku B.3.

Na testovací desce jsou tři elektrody. Elektroda 1 je obklopena zemnicí plochou včetně přívodní cesty. Elektroda 2 má v zemnicí ploše uzavřenu pouze přívodní cestu a nakonec elektroda 3, kde je obklopena zemnicí plochou pouze elektroda. Tato deska byla při testování kombinována ještě se zemnicí deskou, přidávanou pod tuto testovací desku. Kapacity jednotlivých elektrod proti zemi jsou uvedeny v tabulce 2.2.

Tab. 2.2: Kapacita elektrody proti zemnicí ploše.

Elektroda č.	Kapacita proti zemnicí ploše bez zemnicí desky [pF]	Kapacita proti zemnicí ploše se zemnicí deskou [pF]
1	10,7	23,2
2	9,7	19,4
3	21,0	26,5

I přes varování výrobce se při testování nevyskytly žádné větší problémy. Elektrody snímaly doteky i při maximální citlivosti a pravděpodobně díky zemnicí ploše nedocházelo k tak velkému rozostření snímané oblasti jako u klasické elektrody bez zemnicí plochy. Jediný pozorovaný problém nastal při postupném oddalování a přibližování přídavné zemnicí desky. Při tomto ději se mění kapacita deskového kondenzátoru tvořeného elektrodou a zemnicí deskou podle vztahu (2.1) [2].

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (2.1)$$

Kapacitní snímač tuto skutečnost vyhodnotí stejně, jako by se přibližoval a oddaloval prst obsluhy. Ovládací panel a veškeré prvky uvnitř zařízení musí být tedy velice dobře upevněny, aby nedošlo k nechtěnému stisku například při manipulaci se zařízením.

Hodnocení rotačního kodéru a posuvníku

U rotačního kodéru a posuvníku je využit obvod MPR083 firmy Freescale Semiconductor. Tento obvod má, jak bylo zmíněno dříve, stejné vlastnosti jako obvod MPR084. Má pouze přizpůsobené registry pro práci s rotačním kodérem nebo posuvníkem. Výše uvedené závěry tedy platí obdobně i pro tento obvod.

Jelikož rotační kodér nemá sám o sobě možnost zobrazovat stav svého natočení, je nutné indikovat jeho stav například pomocí led diod. Na testovací desku rotačního kodéru, obrázek B.4, bylo umístěno několik led diod, které byly pomocí mikrokontroléru postupně rozsvěcovány a zhasínány. Příklady, jak je na obrázku vidět, jsou vedeny pod ploškami rotačního kodéru. V situaci, kdy se stav diod neustále mění a citlivost elektrod je nastavena na maximum, nebyl pozorován žádný stav, kdy by došlo k nechtěné detekci doteku, nebo kdy by elektrody nezaznamenaly dotek obsluhy.

2.3 Zhodnocení vlastností obvodů MPR08x

Registry

Obvody MPR083 a MPR084 firmy Freescale Semiconductor mají velice široké možnosti vnitřního nastavení, potažmo implementace v různých zařízeních. Při použití v jednoduchých zařízeních není třeba využívat všechny možnosti tohoto obvodu, ale jen některé. V základní konfiguraci je třeba nastavit, které elektrody mají být aktivní – *Electrode Channel Enable Mask Register*, citlivost elektrod – *Sensitivity Threshold Registers*, popřípadě vypnout nebo zapnout zvuk elektrod – *Sounder Configuration Register*. Ostatní registry není třeba nějak zvlášť konfigurovat. Výchozí stav registrů je takový, aby byl obvod schopen pracovat bez důkladného nastavování. S narůstající složitostí zařízení narůstá i počet registrů, které je potřeba obsluhovat, jako například vícenásobný dotek, reakce při stisknutí nebo uvolnění tlačítka a jiné drobnosti pro dokonalé odladění zařízení. Ovšem i ve složitých zařízeních se do většiny registrů přistupuje pouze jednou, a to při inicializaci obvodu. Po té už není třeba obsah registrů nějak upravovat. Jedinou výjimku tvoří registr FIFO, do kterého se ukládají adresy stisknutých elektrod. Na základě obsahu tohoto registru (zásobník není prázdný) je vyvolán impuls způsobující ve většině zapojení externí přerušování řídicího mikrokontroléru. V případě, že by paměť FIFO nebyla vyčítána, docházelo by k neustálým žádostem o přerušování a aplikace by se tímto způsobem zacyklila na místě.

Při aplikaci obvodů v audio zesilovači bude použita většina registrů alespoň z části. Pouze registry řízení spotřeby, které nemají přímý vliv na funkci konstruo-

vaného zařízení, nebudou aktivně využity.

Jeden z mála zmiňovaných registrů je Fault Register – chybový registr. Zobrazuje chybový stav v případě zkratu elektrody na napájecí napětí nebo na zem. Při výrobě zařízení může také dojít ke zkratu mezi jednotlivými elektrodami. Tento stav zde není zachycen, avšak zkrat mezi elektrodami způsobí zmatení kapacitního snímače projevující se častými a nahodilými detekcemi dotyku na různých elektrodách. Při osazování obvodů MPR08x došlo k nechtěnému zkratu mezi piny E1 – E8 obvodu MPR084. Tyto zkratky byly tvořeny velice malými zbytky cínu, které nebyly odhaleny ani běžným multimetrem. Odhalit problém se podařilo až pomocí mikroskopu se značným zvětšením. Jiné problémy s obvodem této řady nebyly objeveny.

Elektrody

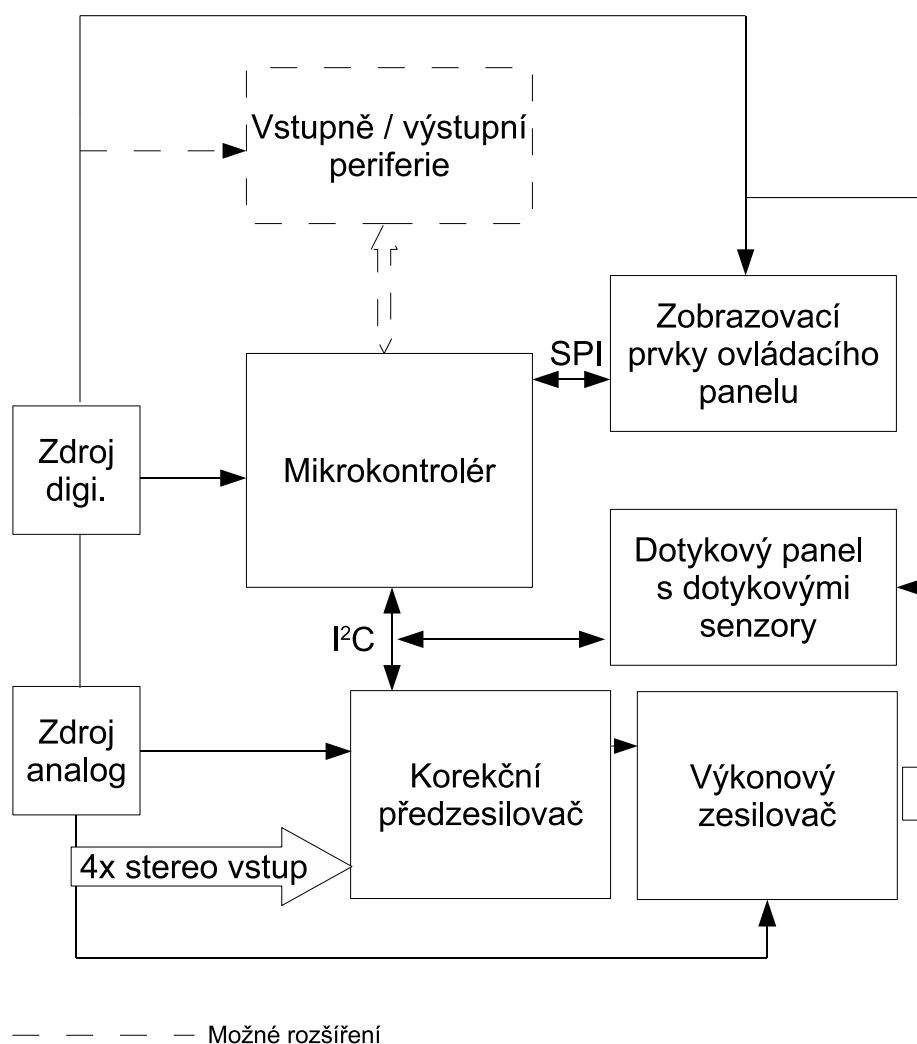
Pro aplikaci v audio zesilovači byly vybrány půlkulaté elektrody 7, 8, obrázek **B.1**, pro ovládání korekcí (výšky, basy, prvky potřebující variantu \pm) a dále elektrody 15, 16 nebo 3, 4 pro ostatní tlačítka. Tvar a velikost těchto elektrod byl zvolen jako optimální. Pro ovládání hlasitosti bude použit rotační kodér.

3 REALIZACE AUDIO ZESILOVAČE

3.1 Blokové schéma, konstrukce zesilovače

Zesilovač byl rozdělen do několika funkčních bloků, jelikož nebylo možné vyrobit celé zařízení na jedenu DPS. Na následujícím blokovém schématu, obrázek 3.1, je zobrazeno vnitřní zapojení audio zesilovače. Hlavním řídicím prvkem celého zařízení je mikrokontrolér ATmega. Jeho periferie tvoří ovládací panel s dotykovými snímači, elektrodami a zobrazovacími prvky a korekční předzesilovač. Toto zapojení je možné rozšířit ještě o jiné vstupně/výstupní periferie, jako například interface pro připojení k PC, IrDA a jiné. Dále jsou v blokovém schématu vidět dva napájecí zdroje (oddělené napájení pro audio část a digitální část) a výkonová část audio zesilovače.

V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé bloky zesilovače.



Obr. 3.1: Blokové schéma audio zesilovače.

3.2 Napájení

Z důvodů zamezení vzájemného rušení, ale i různých výkonových požadavků, bylo napájení rozděleno do dvou hlavních částí: napájení logických obvodů včetně korekcí a napájení koncového zesilovače.

3.2.1 Napájení logických obvodů a korekcí

Požadavky na napájení řídicích obvodů a korekcí byly následující. Obvody Freescale Semiconductor MPR08x [4],[3] vyžadují napájecí napětí do 3,6 V, mikrokontrolér ATmega16 [1] napětí do 5,5 V, zobrazovací posuvné registry (popsáno v kapitole 3.5) napětí do 7 V, korekce TDA7439 [16] napětí do 10,5 V a ovládací relé (napájení a mute) s cívkami na 12 V. Samostatný problém s napájením vznikl u zobrazovacích LED diod (kapitola 3.5), které mají proměnlivé a nemalé požadavky na napájení.

Tyto požadavky byly rozděleny na dvě skupiny: napájecí obvod pro zobrazovací LED diody a napájení ostatních logických obvodů. Důvodem tohoto rozdělení byl vyšší odebíraný výkon LED diod a nižší požadavky na stabilizaci napětí než u ostatních zmiňovaných prvků.

Při návrhu byly LED diody rozděleny do 87 větví po 20 mA s požadavkem napájecího napětí 6 V. Z toho vyplývá napájecí proud 1,74 A při rozsvícení všech LED diod. Pro tyto požadavky byl vybrán transformátor z řady TSZZ s napětím 6 V a výkonem 16 VA. Jeho napětí je pouze usměrněno a filtrováno filtračními kondenzátory.

Výpočet filtračních kondenzátorů [9]:

$$C = \frac{I}{2 \cdot f \cdot U_{ZV}} = \frac{1,74}{2 \cdot 50 \cdot 0,7} = \underline{\underline{24\,857 \mu\text{F}}} \quad (2 \times 10\,000 \mu\text{F}) \quad (3.1)$$

Význam proměnných:

C	.....	Výsledná kapacita [μF]
f	.....	Frekvence neusměrněného napětí [Hz]
U_{ZV}	.....	Povolené zvlnění filtrovaného napětí [V]
I	.....	Maximální odebíraný proud [A]

Druhá skupina požadavků na napájení je tvořena již zmíněnými logickými obvody, korekcemi a relé. Nejvyšší napětí požadují cívky relé (12 V). Tomu požadavku byl přizpůsoben i napájecí transformátor. Byl opět vybrán z řady TSZZ, tentokrát

s napětím 15 V na sekundárním vinutí a výkonem 3 VA. Jedná se o nejbližší vyšší výkon k požadované hodnotě 1,61 W. Ta byla stanovena součtem příkonů jednotlivých součástek, tabulka 3.1.

Tab. 3.1: Příkon jednotlivých součástek a celkový potřebný příkon.

Součástka	Napájecí proud [mA]	Napájecí napětí [V]	Příkon [mW]	Počet kusů
TDA7439	10	9	90	1
ATmega16	1,1	5	5,5	1
MPR08x	0,041	5	0,205	3
TPIC595	0,15	5	0,75	5
H500SD12	30	12	360	2
G5LE	33	12	396	2
Celkový potřebný příkon [W]: <u>1,61</u>				

Z transformovaného napětí 15 V bylo potřeba dále vyrobit 12 V pro relé, 9 V pro korekce a 5 V pro logické obvody. Velice účinná metoda použití snižujících integrovaných měničů byla zavržena z důvodu obav o zavlečení rušivých složek do audio signálu. Pro požadovaná napětí byla zvolena varianta stabilizace napětí pomocí tří kaskádně řazených stabilizátorů. Filtrační kondenzátor byl stanoven pomocí vztahu (3.1) na 3 300 μ F. Snížení napětí z 5 V na 3,6 V pro napájení obvodů MPR08x bylo docíleno zařazením diod do napájecí cesty těchto obvodů.

Schéma zapojení napájecího zdroje je zobrazeno na obrázku A.8 a DPS je zobrazena na obrázku C.5 a C.6.

3.2.2 Napájení koncového zesilovače

Napájecí obvod pro výkonovou část je, na rozdíl od napájení logických obvodů, značně jednodušší. Jelikož jsou do budoucna uvažovány až čtyři 100 W moduly, bylo zapotřebí použít transformátor minimálně se srovnatelným výkonem. Pro tyto účely byl vybrán transformátor TRONIC 2x29 V se špičkovým výkonem 500 VA.

Za transformátorem je umístěn malý blok (DPS) s usměrňovačem a filtračními kondenzátory. Na tomto bloku není potřeba řešit žádné zásadní problémy a při uvažovaných výkonech je již zapotřebí kvalitní DPS. Proto byla použita stavebnice „EZX 301“, jejíž dokumentace je přiložena v příloze na obrázku C.9.

3.3 Koncový zesilovač

K sestavení koncového zesilovače byly použity integrované zesilovače TDA7293. Jejich zapojení bylo provedeno podle doporučení katalogového listu [15]. Zapojení bylo rozšířeno o dvě spínací relé. První relé slouží k řízení stavu ST-BY/MUTE, druhé je určeno ke spínání síťového napětí výkonového transformátoru. Je tedy možné programově ošetřit, aby celá výkonová část byla ve ST-BY módu odpojena od síťového napětí. Schéma zapojení této části je na obrázku A.9. Dále bylo zapojení doporučené výrobcem rozšířeno o ochrany zesilovače, které vycházejí z komerčního produktu XSJ2168. Toto zapojení plní funkci ochrany reproduktorů zpožděným připojením a kontrolu stejnosměrné složky na výstupu zesilovače. Samotný zesilovač potom chrání proti přehřátí. Úpravami bylo zařízení rozděleno na dva samostatné obvody pro jednotlivé kanály (levý a pravý) a doplněno o zpětnou signalizaci (tepelné přetížení a stejnosměrná složka) k mikrokontroléru. Mikrokontrolér je zde využit pouze pro dohled a případnou signalizaci uživateli. Z bezpečnostních důvodů jsou ochrany zcela autonomní a na řídicí části zcela nezávislé. K chlazení výkonových prvků obvodu bylo použito, podle doporučení výrobce [15], chladiče s $R_{\theta} \leq 1,5 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$. Schéma zapojení ochrany zesilovače je na obrázku A.10, a celá DPS je vyobrazena na obrázku C.8 a C.7.

3.4 Řídicí jednotka a korekce

Řídicí jednotka je složena ze tří základních integrovaných obvodů. První z nich je převodník FT232 (USB na UART) [8]. Tento převodník byl do návrhu vložen jednak z důvodu snadného ladění řídicího programu, ale také pro případné ovládání zesilovače pomocí osobního počítače.

Druhým integrovaným obvodem na řídicím panelu je mikrokontrolér ATmega16, který zabezpečuje celkové řízení a dohled nad zařízením [10],[1]. Jednotlivé porty, respektive piny mikrokontroléru, byly zapojeny následovně. Všechny dostupné sběrnice (UART, I²C, SPI, JTAG) byly vytaženy na deseti-pinové konektory z důvodů snadného ladění aplikace a případného rozšíření zařízení. Sběrnice UART je dále, jak již bylo zmíněno, připojena na převodník FT232 pro snadnou komunikaci s osobním počítačem. Sběrnice I²C je připojena ke korekcím TDA7439 [16] a přes deseti-pinové konektory (SV1 a SV2) na ovládací panel, kde je dále připojena na obvody MPR08x. Ze sběrnice SPI jsou využity piny MOSI a SCK spolu s piny PB1 (RCK – paralelní zápis), PB0 (MR – master reset) a PD7 (OE – output enable) pro odesílání dat do posuvných registrů TPIC595 [17] na ovládacím panelu. Spojení s ovládacím panelem je provedeno přes konektor SV2. Pin PD7 je současně výstupem PWM modulátoru zabudovaného v mikrokontroléru. Jeho připojením na vstup output enable

posuvných registrů lze plynule měnit jas diod na zobrazovacím panelu.

Ze vstupně výstupních pinů mikrokontroléru nesmí být opomenuto zapojení pinů externího přerušení. Všechna tři externí přerušení, kterými ATmega16 disponuje, jsou zapojena (přes konektor SV1) na jednotlivé kapacitní snímače. Ty si v případě potřeby komunikace s mikrokontrolérem zažádají pomocí těchto pinů o spuštění I²C komunikace. Ostatní piny jsou využity převážně na ovládání koncového stupně zesilovače, vyjma pin PB3 – akustická signalizace, PD6 – rezervován pro IrDA a piny PC6, PD5, PD4 – pro ATTN jednotlivých kapacitních snímačů.

Ke koncovému stupni zesilovače jsou přes deseti-pinové konektory (ZES_1 a ZES_2) vedeny signály pro řízení stavu relé. Pomocí těchto relé se v koncovém stupni ovládá přepínání (ST-BY/MUTE) a spíná napájecí napětí koncového stupně. Dále je zde rezervován jeden pin pro případné řízení aktivního chlazení. Z koncového stupně se přes tyto dva konektory vrací signalizační informace o stavu ochran koncového stupně (detekce přebuzení, přehřátí a stejnosměrná složka na výstupu). Zapojení mikrokontroléru ATmega16 a převodníku FT232 je zobrazeno ve schématu [A.5](#).

Koncepce firmware mikrokontroléru ATmega16 je řešena tak, aby byla strukturně velice jednoduchá a snadno rozšiřitelná. Hlavní program po inicializaci čeká v nekonečné smyčce a kontroluje jednu proměnnou „events“. Pokud se její hodnota liší od výchozí, volá se podprogram, ve kterém se podle obsahu této proměnné vykonávají další procedury. Změna hodnoty stavové proměnné se provádí v příslušných přerušeních, nebo pomocí návratové hodnoty některých z podprogramů.

Jedinou výjimkou tohoto systému je kontrola rotačního kodéru. Obvody MPR08x generují žádost o přerušení až po uvolnění dotykové plošky (nebylo zjištěno, jakým způsobem by bylo možné nastavit generování tohoto přerušení při stisku dotykové plošky). U rotačního kodéru je toto nastavení velice nevýhodné, jelikož vygenerování přerušení a následná kontrola senzoru mikrokontrolérem přichází až ve chvíli, kdy obsluha „dokroužila“. Z tohoto důvodu byla do hlavního programu přidána procedura, která neustále kontroluje rotační kódér a reaguje již od prvního kontaktu prstu s dotykovou ploškou.

Posledním integrovaným obvodem na řídicím panelu jsou korekce TDA7439. Zapojení tohoto obvodu bylo provedeno podle doporučení výrobce [\[16\]](#). Zásadní věc, která musela být při návrhu této části DPS dodržena, je naprosto striktní oddělení napájení obvodu TDA7439 od ostatních obvodů na této DPS a také co nejlepší stínění audio cest tak, aby bylo zabráněno pronikání rušivých signálů do audio signálu. Schéma zapojení korekcí je na obrázku [A.7](#) a celá DPS na obrázku [B.8](#) a [B.7](#).

3.5 Ovládací panel

Pro konstrukci dotykového panelu, obrázek B.6, jehož výsledné uživatelské rozhraní je zobrazeno na obrázku 3.2 a C.11, byly vybrány dva obvody MPR084 [3] a jeden obvod MPR03 [4]. První obvod MPR084 slouží pro ovládání dotykových plošek určených pro volbu kanálu (vstup 1 – 4) a přepínání ST-BY módu. Druhý obvod MPR084 obsluhuje tlačítko MUTE a ovládání korekcí. Obvod MPR083 je z výroby předurčen pro tvorbu rotačního kodéru a tedy i pro ovládání hlasitosti.

Samotné schéma ovládacího panelu se skládá ze čtyř listů. Na prvním listu, obrázek A.1, je zapojení rotačního kodéru s obvodem MPR083, obvod MPR084 pro ovládání korekcí a MUTE. Uprostřed schématu je umístěno dvacet jedna LED diod sloužících k indikaci nastavované hodnoty hlasitosti, popřípadě basů, středů a výšek. Na druhém listu, obrázek A.2, je zapojení dotykových plošek a jim náležejících LED diod. List třetí, obrázek A.3, obsahuje schéma s posledním obvodem MPR084 a jemu náležící zapojení dotykových plošek přepínače kanálů a tlačítko ST-BY. Poslední čtvrtý list, obrázek A.4, zobrazuje zapojení pěti posuvných registrů TPIC595 [17], které jsou určeny pro buzení LED diod. Tyto 8 b posuvné registry mají sériový vstup, odpovídající „protokolu“ sběrnice SPI, sériový a paralelní výstup. Jak je ze schématu patrné, posuvné registry jsou zapojeny sériově. Pokaždé se tedy odesílá 40 b tak, aby se zaplnily všechny registry. Poté jsou data jedním impulzem zapsána na paralelní výstupy těchto registrů. Výstupní piny paralelního výstupu jsou řešeny otevřeným drain-em tranzistoru řízeného polem. Při stavu log. „1“ v dané paměťové buňce registru je odpovídající výstup připojen na zem. Diody bylo možné připojit přímo, bez pomocného tranzistoru.

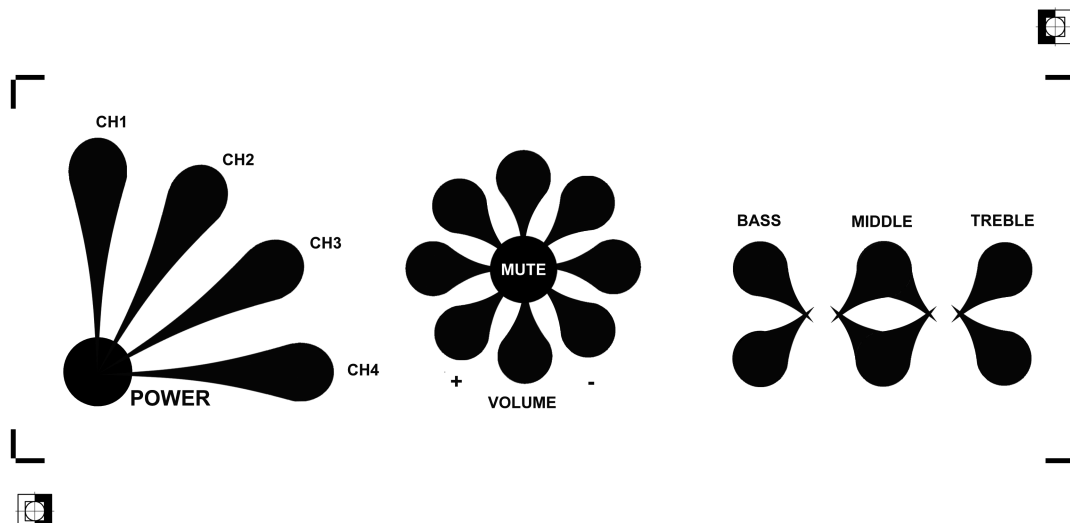
Při návrhu samotné DPS musely být zohledněny následující požadavky:

- Kapacitní snímače MPR08x umístit co nejbližší ovládacích plošek.
- Přívodní cesty k jednotlivým ploškám vést na zadní straně ovládacího panelu.
- Docílit naprosto hladké čelní stěny (strana s dotykovými ploškami).

Tyto tři požadavky zásadním způsobem zkomplikovaly návrh ovládacího panelu a jsou v následujícím textu podrobně rozebrány.

3.5.1 Umístění senzorů a vedení spojů na DPS

Při pohledu na ovládací panel, obrázek B.5, respektive B.6, je jasné, že umístění kapacitních snímačů tak, aby byly co nejbližší ke všem připojeným dotykovým ploškám je v podstatě nemožné, mají-li se zároveň dodržet všechny požadavky uvedené



Obr. 3.2: Náhled ovládacího panelu.

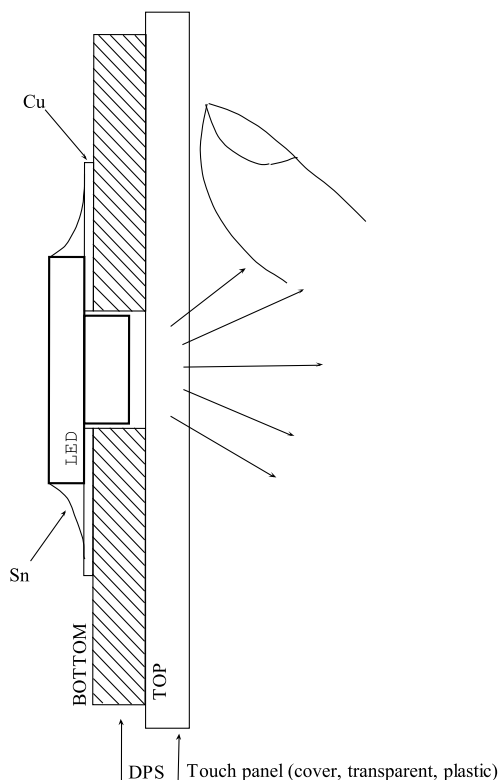
v první části tohoto dokumentu. Byla tedy vybrána optimální vzdálenost (přibližně stejná pro všechny dotykové plošky) a při navrhování vodivých cest na DPS byly spoje mezi ploškami a senzory taženy jako první. Tímto krokem byly docíleny co nejkratší vodivé cesty a jejich umístění pouze na zadní stranu ovládacího panelu (vzdálenější strana od uživatele, při čelním pohledu). Pomocné napájení (cesty od referenčních trimrů) nebylo navrhováno mezi prvními cestami, ale v případě křížení bylo z důvodů nechtěného doteku vedeno drátovou propojkou opět z vnitřní strany ovládacího panelu.

3.5.2 Nerovnosti čelní stěny panelu

Aby mohly kapacitní snímače kvalitně pracovat, nesmí docházet ke změnám klidové kapacity dotykových plošek. Tyto změny by mohly být způsobeny například nekvalitně upevněným krycím panelem. Z tohoto důvodu je nutné, aby čelní stěna panelu byla co možná nejrovnější. Proto musely být všechny součástky umístěny na zadní stranu ovládacího panelu včetně zobrazovacích prvků (LED diod).

Většina potřebných součástek se v dnešní době vyrábí v provedení SMD a jejich přesun na zadní stranu ovládacího panelu nebyl složitý. Větší problém nastal při řešení otázky, jak umístit diodu na zadní stranu ovládacího panelu tak, aby svítila přes ovládací panel směrem k uživateli. Tento problém byl vyřešen rozšířením knihovny součástky (návrhového systému) o vrtací otvor umístěný pod diodou. Návrh DPS byl řešen tak, jako by byly LED diody umístěny z přední strany ovládacího panelu, ale spoje a pájecí plošky byly umístěny na zadní stranu ovládacího panelu. Při vrtání prokovů byly pod diodami vyvrtány otvory takové velikosti, aby pouzdro

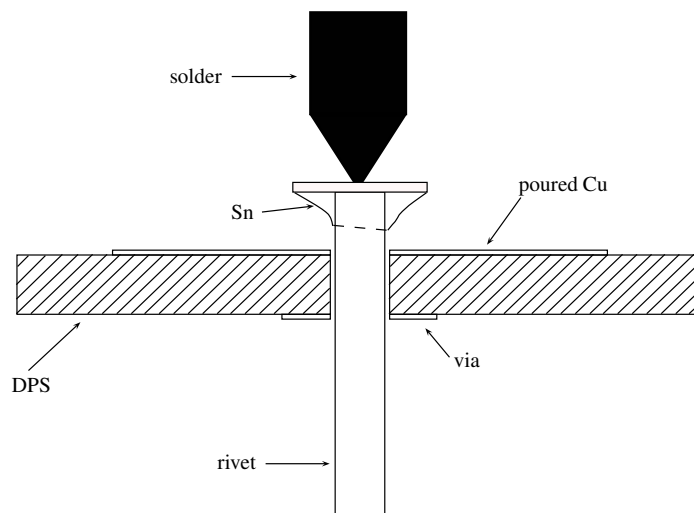
(jeho průhledná čočka) LED diody zapadlo přímo do panelu. Grafické řešení tohoto problému je na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Umístění LED diody do ovládacího panelu. ¹

Při návrhu ovládacího panelu bylo počítáno s galvanickým prokovením DPS. Při výrobě však došlo k chybě a ovládací panel nebyl prokoven. Bylo nutno řešit, jak DPS prokovit dodatečně a přitom dodržet přísné požadavky na hladkost čelního panelu. U obyčejných prokovů byla situace vyřešena klasickým způsobem. Dírkou prokovu byl protažen drátek a zapájen z obou stran. Po prokovení všech děr byla pájená místa na čelní straně zabroušena smirkovým papírem téměř na nulovou velikost. U dotykových plošek nemohlo být z důvodu rozlití cínu po celé plošce použito pájení drátových propojek, ale muselo být nalezeno alternativní řešení. Jednou z možností bylo použití prokovovacích nýtů. Vzhledem k cenové náročnosti byl tento způsob zamítnut. Jako ideální řešení se ukázalo použití cínovaných hřebů, jež se používají v bižuterii. Jedná se o pocínovaný drátek o průměru 0,8 mm s temvaným jedním koncem. Pod hlavičku tohoto „hřebíku“ byl nenesen cín a horkou páječkou zatlačen do otvoru ze strany dotykové plošky. Ze zadní strany ovládacího panelu bylo provedeno klasické zapájení jako v případě drátku. Pro názornost je postup uveden na obrázku 3.4.

¹Z důvodů neslučitelnosti české diakritiky a programu L^AT_EXDraw jsou popisy v obrázcích uváděny v angličtině



Obr. 3.4: Použití „hřebíku“ na prokovení dotykových plošek.

3.5.3 Napájení LED diod

Po sestavení napájecího zdroje, schéma na obrázku [A.8](#), bylo zjištěno, že zvolený transformátor má velký vnitřní odpor, a že při klidovém stavu dodává do zařízení až 10 V, zatímco při zátěži toto napětí padá přibližně na 6 V. Ochranné rezistory diod musely být navrženy tak, aby diody pracovaly – svítily – jak při nízkém napětí (celý ovládací panel svítí), tak při vysokém napětí (jsou rozsvíceny jen některé prvky ovládacího panelu).

Měřením bylo ověřeno, že LED diody svítí při podmínkách uvedených v tabulce [3.2](#).

Tab. 3.2: Naměřené parametry LED diod.

Barva	Proud [mA]	Jmenovité napětí [V]
Zelená	7-20	2,1
Modrá	7-20	3,1
Červená	7-20	2,0
Oranžová	7-20	2,2

Pro jednotlivé diody a zapojení diod byly vypočteny hodnoty rezistorů následujícím způsobem:

Příklad výpočtu hodnoty rezistoru pro sériovoparalelní kombinaci čtyř červených LED diod je popsán ve vztazích (3.2) a (3.3).

$$R = \frac{U_{cc10} - 2U_{led}}{I_{led} \cdot 2} = \frac{10 - 2 \cdot 2}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 2} = 150 \Omega \quad (3.2)$$

Z rezistorové řady byl zvolen rezistor 120 Ω a byl proveden kontrolní výpočet pro pokles napájení na 6 V:

$$I = \frac{U_{cc6} - 2U_{led}}{R} = \frac{6 - 2 \cdot 2}{120} = 0,016 \text{ A} \quad (3.3)$$

Na jednu větev LED diod připadne polovina tohoto proudu, což je 8,33 mA.

Pro červené LED diody u tlačítka ST-BY byla z řady vybrána hodnota 130 Ω (diody budou svítit pouze při zhasnutém ovládacím panelu). Obdobným způsobem byly vypočteny hodnoty ostatních rezistorů.

Význam proměnných:

R	.....	Výsledná hodnota rezistoru [Ω]
U_{cc10}	.....	Napájecí napětí bez zátěže [V]
U_{cc6}	.....	Napájecí napětí se zátěží [V]
U_{led}	.....	Jmenovité napětí diody [V]
I_{led}	.....	Jmenovitý proud diody [A]
I	.....	Proud diodou s vypočítaným rezistorem [A]

3.5.4 Zapouzdření ovládacího panelu

Celý ovládací panel, jak je vidět na obrázku B.6, je jednoduše uchycen za dva kovové hranoly u jeho horního a spodního okraje. Tím je možno celý panel překrýt tenkým papírem s popisem a grafickým ztvárněním ovládacího panelu, obrázek C.10. Možnosti návrhu uživatelského rozhraní, jeho vzhledu a funkce jsou velmi široké, což je jedna z hlavních výhod práce s kapacitním snímáním doteku. Celý ovládací panel byl nakonec překryt 1 mm tlustým plexisklem, které tvoří ochranou vrstvu celého ovládacího panelu, obrázek C.11. Při konstrukci zařízení bylo testováno i silnější plexisklo tloušťky 3 a 2 mm. V obou uvedených případech nebyla detekce dotyku stoprocentní.

4 NAMĚŘENÉ PARAMETRY

4.1 Korekční a koncový zesilovač

Po sestavení a oživení celého zesilovače byla na tomto zařízení provedena měření. Jedním z nich bylo měření audio zesilovače (korekce a výkonová část dohromady). Přístroje použité k tomu účelu jsou vypsány v tabulce 4.1.

Tab. 4.1: Použité měřicí přístroje.

Přístroj	Název přístroje	Číslo přístroje
Generátor	metex MS-9170	2001
Milivoltmeter	Tesla BM759	624-041
Osciloskop	GDS-806C	624-302
Spektrální analyzátor Rode&Schwarz	FSL 9 kHz – 3 Ghz	624-401
Impedanční přizpůsobení	1AF 86063 –10 dB	-
Umělá zátěž	8 Ω	-
Osciloskop	Agilent	-
Měřený zesilovač	TDA7293 s korekcemi TDA7439	-

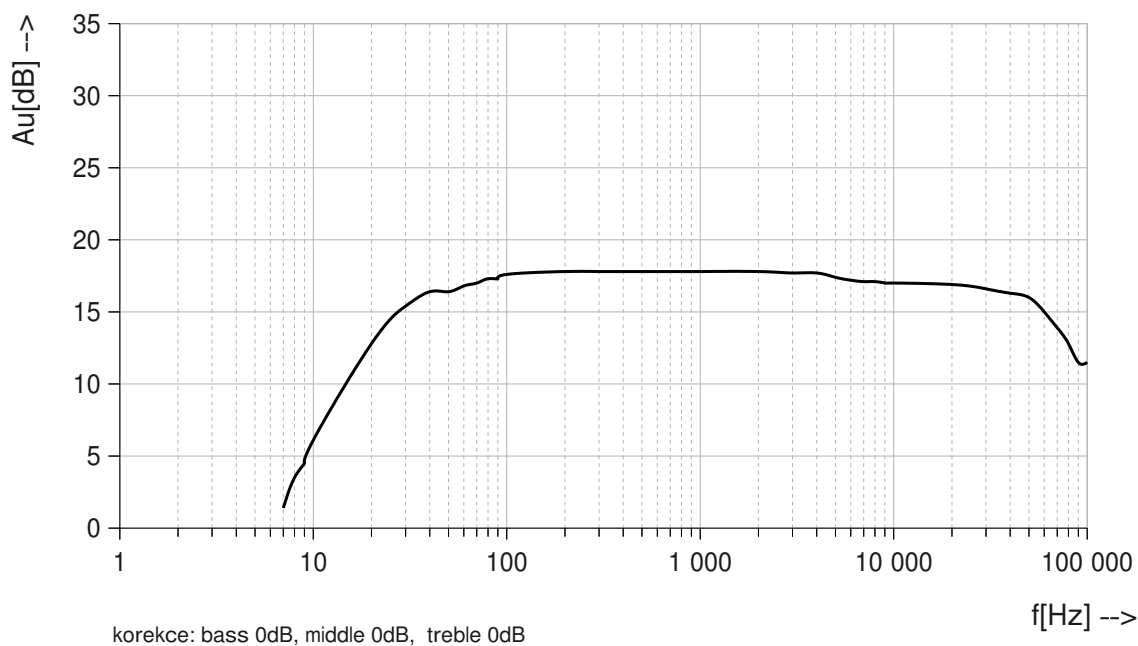
4.1.1 Kmitočtové charakteristiky

Bylo provedeno sedm měření kmitočtové charakteristiky zesilovače, vždy od 7 Hz do 100 kHz. Hodnota 100 kHz je v oblasti NF audio zesilovačů zbytečná, ale až v této oblasti je možné pozorovat pokles přenosové charakteristiky. Všechna měření byla prováděna se vstupním sinusovým průběhem o velikosti -12 dB (0 dB = 0,775 V).

Jako první je na obrázku 4.1 uvedena přenosová charakteristika při nastavení všech korekcí na 0 dB a zesílení korekčního předzesilovače rovněž na 0 dB. Z grafu je možné odečíst, že šířka pásma přenášená zesilovačem je 20 Hz – 70 kHz, přibližně tedy 70 kHz. Hodnota je určena pro pokles o 3 dB od referenční hodnoty na kmitočtu 1 kHz.

Další dvě charakteristiky, obrázek 4.2, zobrazují vliv korekcí, respektive regulaci basů. Z naměřené charakteristiky lze pozorovat regulaci o ± 14 dB.

Poslední čtyři kmitočtové charakteristiky, obrázek 4.3 a 4.4, zobrazují, obdobně jako v předchozím případě, vliv regulace středů a výšek pomocí korekčního zesilovače (TDA7439). Z charakteristik je patrné, že regulaci je možno provádět v rozsahu přibližně ± 14 dB.



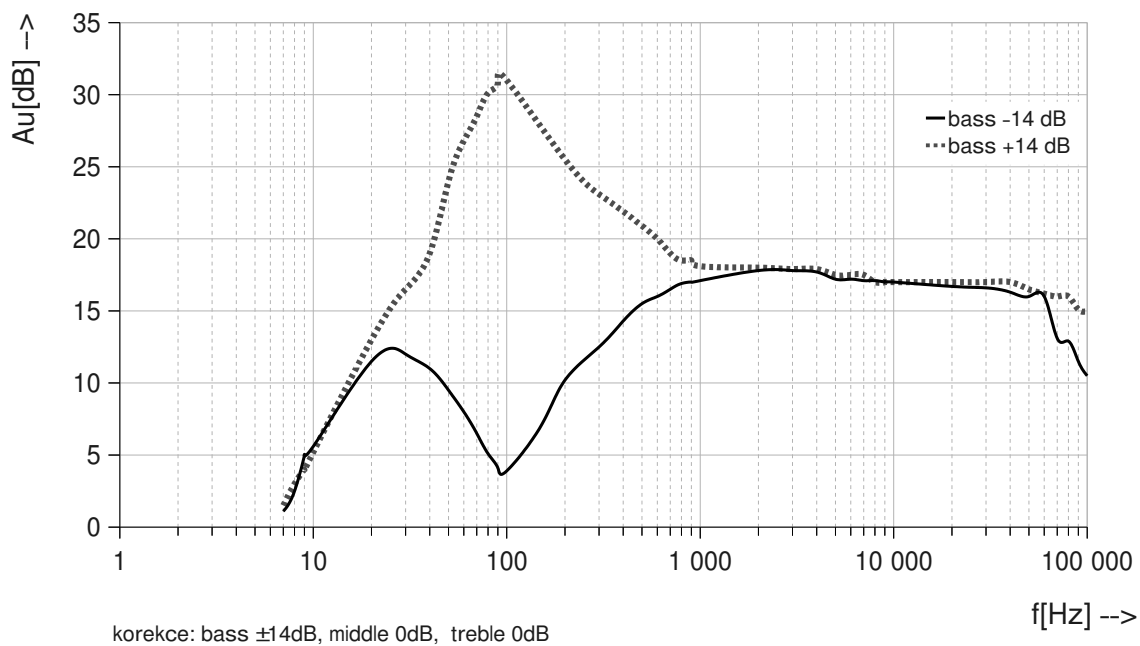
Obr. 4.1: Měřená kmitočtová charakteristika zesilovače s výchozí polohou korekcí.

4.1.2 Čistota výstupního signálu

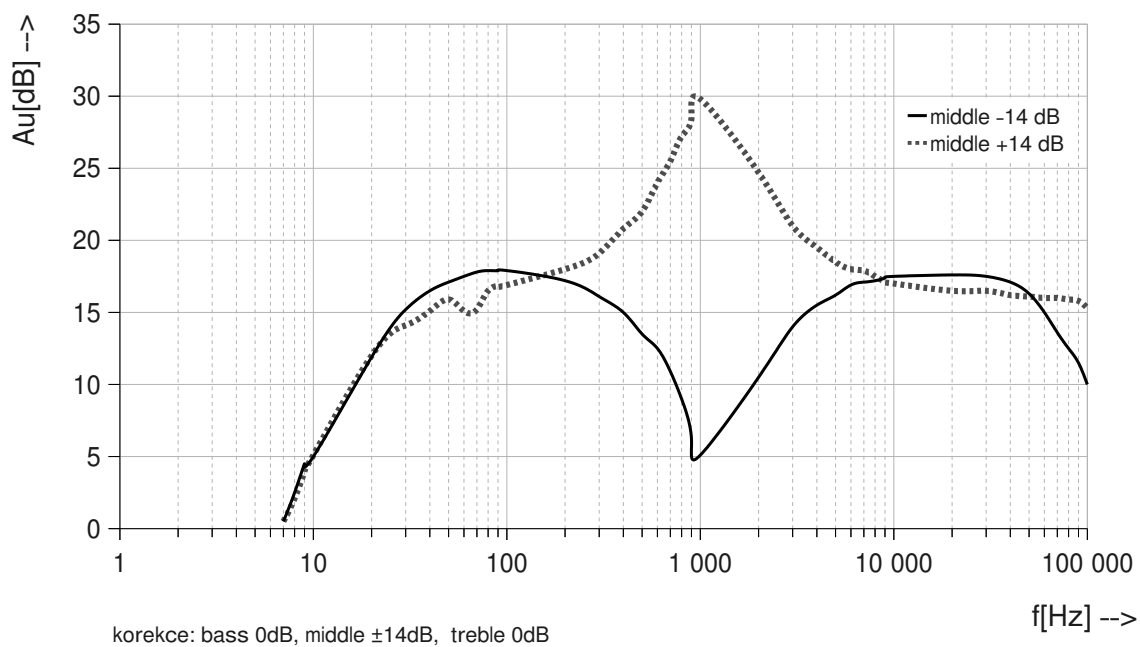
Jedním z mnoha dalších parametrů pro posouzení kvality zesilovače je kvalita výstupního signálu, respektive přítomnost jiných rušivých signálů. Za tímto účelem byl výstup zesilovače připojen na spektrální analyzátor. V tomto zapojení byla provedena dvě měření. Jedno pro slyšitelné spektrum 9 – 20 kHz, spektrální diagram 4.5. Na tomto diagramu je vidět pouze budící signál přiváděný z generátoru na frekvenci 10 kHz. Při zobrazení spektra v celém možném rozsahu měřicího přístroje (do 3 GHz), spektrální diagram 4.6, je zobrazen pouze šum – druhé měření. Lze tedy usuzovat, že zesilovač neprodukuje žádné rušivé signály.

4.1.3 Odezva na různé druhy signálu

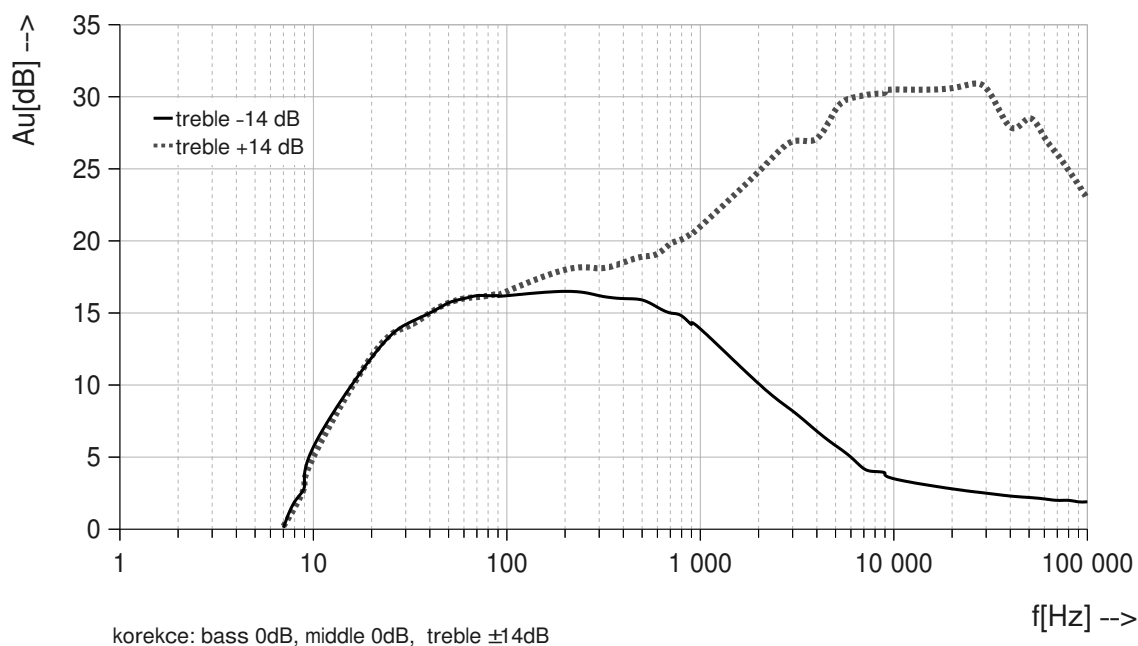
Posledním posuzovaným parametrem zesilovače byla odezva na neharmonický signál. V oscilogramech, obrázek 4.7 a 4.8, jsou zobrazeny pilovité a obdélníkové průběhy před a po průchodu zesilovačem. Na obdélníkovém průběhu je vidět lehké zaoblení, což je dáno omezením přenosových vlastností zesilovače na vyšších harmonických, popřípadě parazitními kapacitami proti zemi na signálové cestě.



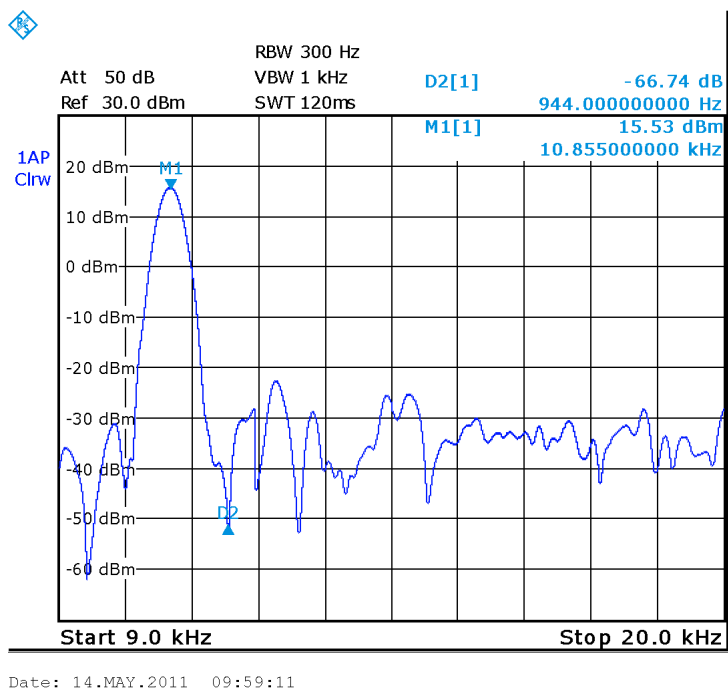
Obr. 4.2: Měřená kmitočtová charakteristika zesilovače. Korekce nastaveny pro zvýraznění, respektive potlačení basů.



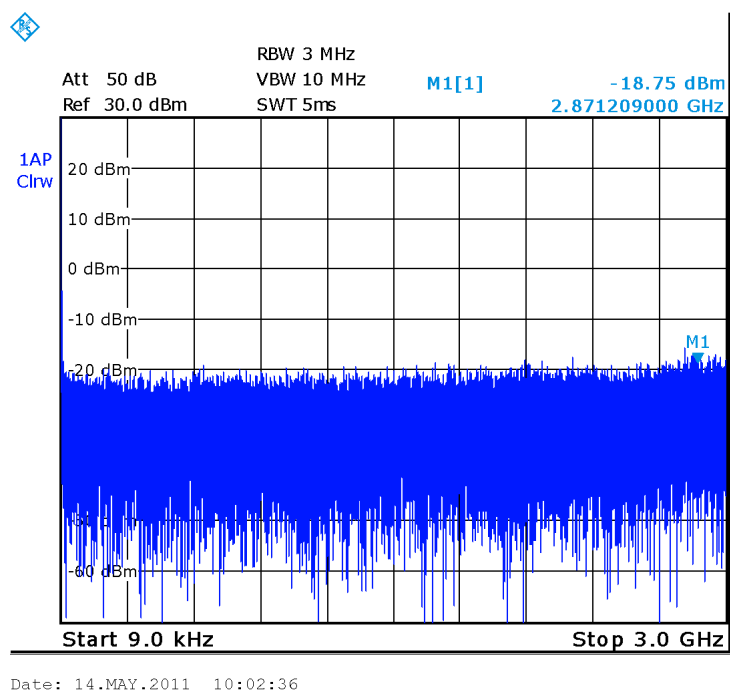
Obr. 4.3: Měřená kmitočtová charakteristika zesilovače. Korekce nastaveny pro zvýraznění, respektive potlačení středů.



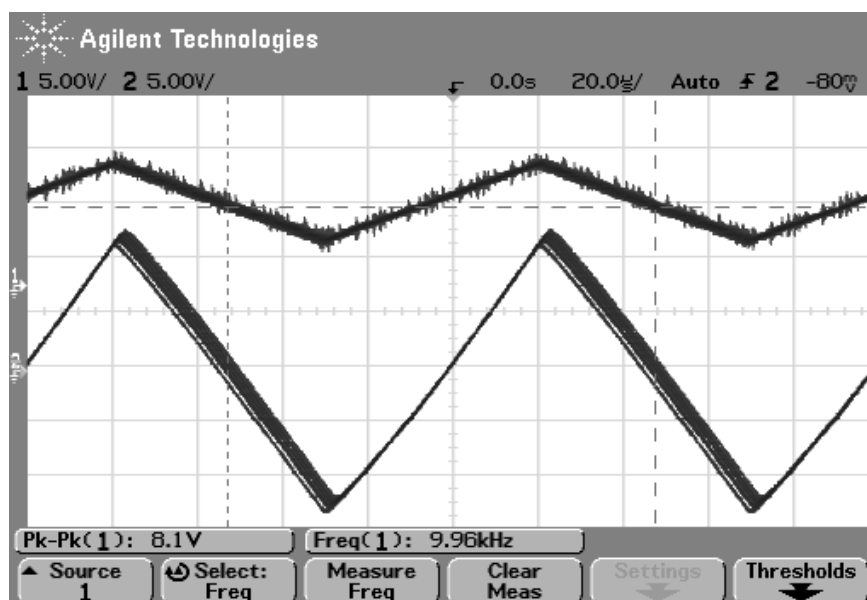
Obr. 4.4: Měřená kmitočtová charakteristika zesilovače. Korekce nastaveny pro zvýraznění, respektive potlačení středů.



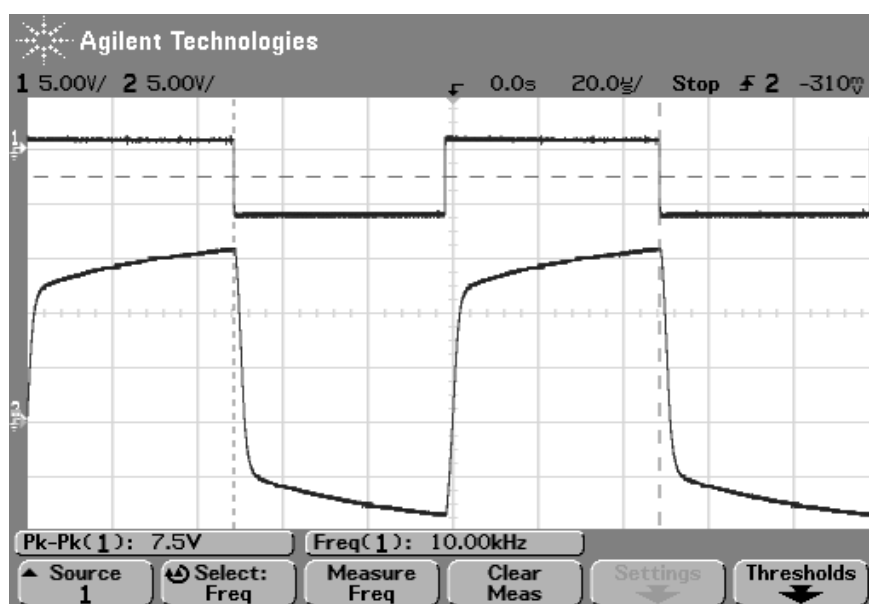
Obr. 4.5: Výstupní spektrum zesilovače ve slyšitelném pásmu. Měřeno přes útlumový článek -10 dB. Buzeno sinusovým signálem 10 kHz.



Obr. 4.6: Výstupní spektrum zesilovače v celém měřitelném rozsahu. Měřeno přes útlumový článek -10 dB.



Obr. 4.7: Odezva zesilovače na buzení trojúhelníkovým průběhem (spodní průběh), kanál 1 zobrazen v poměru 10:1.



Obr. 4.8: Odezva zesilovače na buzení obdélníkovým průběhem (spodní průběh), kanál 1 zobrazen v poměru 10:1.

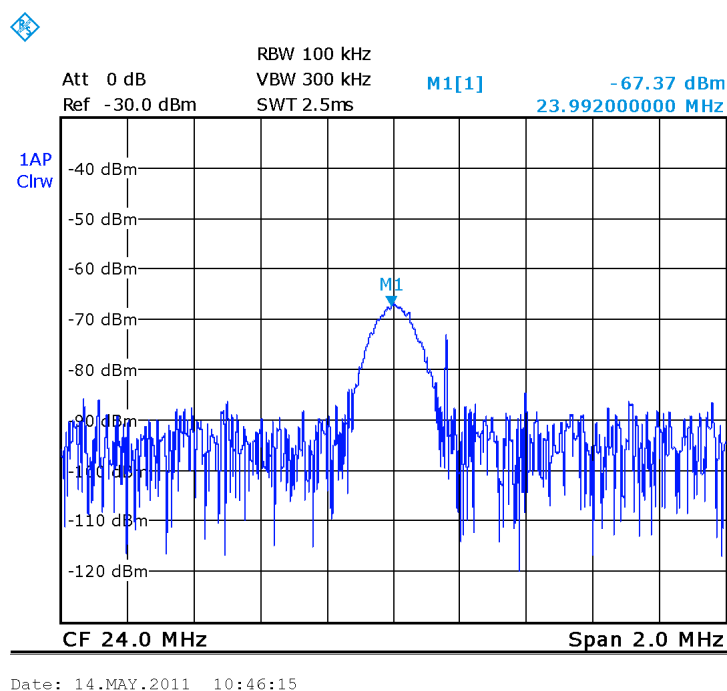
4.2 Kapacitní snímače

4.2.1 Měření vlastností kapacitních snímačů

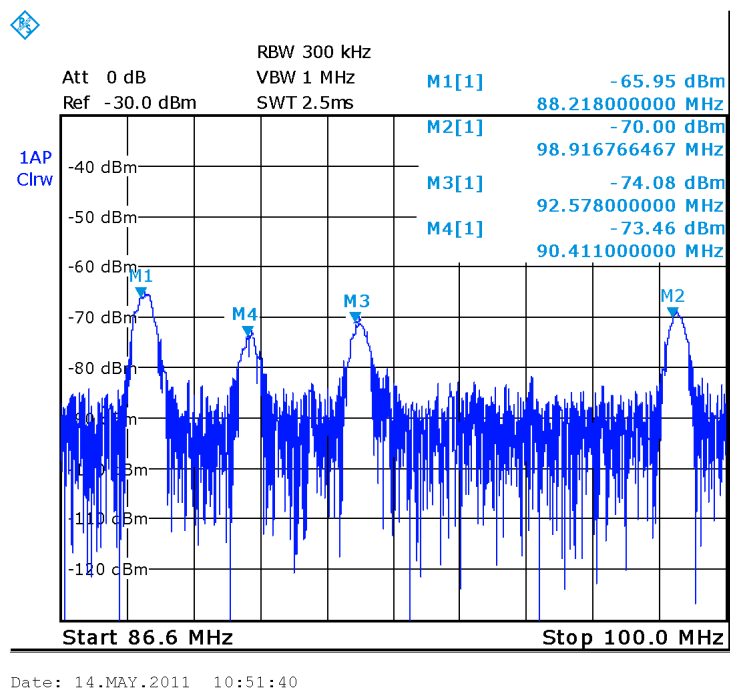
Pro vytvoření řádové představy o snímání kapacity, respektive jejich změn na dotykových ploškách, byly změřeny následující dva spektrální diagramy, obrázek 4.9 a 4.10. Tyto diagramy zobrazují výskyt signálů na následujících pěti frekvencích: 24, 88, 90, 92, 98 MHz. Detail signálu umístěného na frekvenci 24 MHz je zobrazen na oscilogramu 4.11. Oscilogramy signálů na vyšších frekvencích nemohly být zachyceny z důvodu omezeného kmitočtového rozsahu osciloskopu. Teorie „měření kapacity“ kapacitními snímači je uvedena v kapitole 1.3.4.

4.2.2 Rušivé vlastnosti kapacitních snímačů

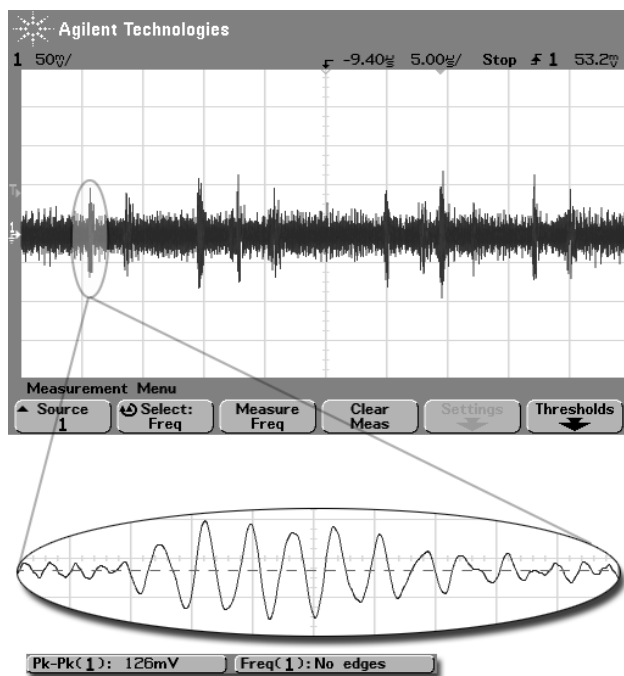
Součástí posouzení kapacitních snímačů je jejich rušivý vliv na zařízení. Jak je vidět ze spektrálních diagramů, obrázek 4.9 a 4.10, je případný rušivý signál velice malý a od šumu vzdálený pouze o 20 dBm. Navíc jsou signály produkované kapacitními snímači mimo slyšitelnou oblast. Není tedy možné, aby byl zesilovač rušen signály produkovanými kapacitními snímači. To se také potvrdilo po oživení zesilovače.



Obr. 4.9: Spektrum signálu na dotykových ploškách (1/2). Měřeno za sondou 10x a útlumovým článkem -10 dB.



Obr. 4.10: Spektrum signálu na dotykových ploškách (2/2). Měřeno za sondou 10x a útlumovým článkem -10 dB.



Obr. 4.11: Průběh signálu na dotykové plošce. (Pouze složky do 60 MHz).

5 ZÁVĚR

5.1 Závěrečné zhodnocení a výběr obvodů

V první části této práce byly porovnávány kapacitní snímače od tří různých výrobců. Výsledkem tohoto srovnání byl výběr obvodů vhodných pro konstrukci ovládacího panelu audio zesilovače. Vybrané kapacitní snímače byly podrobeny testování a výsledky srovnány s údaji výrobce.

Prvním ze zkoumaných obvodů byl obvod MAX1441 firmy Maxim, který se vyznačuje spojením kapacitního snímače a mikrokontroléru do jednoho pouzdra. I přes jeho velké možnosti nebyl tento obvod vybrán pro nedostatečný počet snímacích elektrod. Obvod disponuje pouze dvěma dotykovými elektrodami. S takovým počtem „tlačítek“ lze realizovat pouze velice jednoduchá zařízení.

Druhým diskutovaným obvodem, či spíše skupinou obvodů, byly obvody STMPE od firmy STMicroelectronics. Tyto obvody se vyrábějí s počtem elektrod 3 – 24, což je ideální počet pro výrobu malých ale i velkých zařízení. Vhodnější pro účely konstrukce ovládacího panelu jsou produkty MPR08x firmy Freescale Semiconductor. Konkrétně obvod MPR083, který je jako jediný určen pro tvorbu rotačního kodéru. Ten byl s výhodou použit k realizaci regulace hlasitosti na ovládacím panelu. Podružným faktorem pro výběr obvodů MPR08x bylo pouzdro obvodů, které je sice ve velice malém SMD provedení, ale má pájecí vývody, na rozdíl od obvodů STMPE, které mají pájecí plošky umístěny pod samotným pouzdrem.

5.2 Realizace audio zesilovače

Zesilovač jako celek, obrázek C.12, můžeme rozdělit na tyto části: napájení, koncový stupeň zesilovače a řídicí – ovládací část.

Napájení je složeno z několika samostatných obvodů rozdělených podle výkonové náročnosti jednotlivých sekcí zesilovače. Tímto rozdělením bylo možno docílit samostatné činnosti koncového stupně zesilovače a jeho řídicích obvodů, což se projeví především při provozu ST-BY, kdy je výkonová část zesilovače odstavena od napájení.

Koncový stupeň zesilovače je sestaven z integrovaných výkonových prvků TDA7293. Použitím těchto prvků je zaručeno kvalitní zesílení v šířce pásma přibližně 70 kHz. Naměřená hodnota zesílení se pohybuje do 30 dB.

Při porovnání všech naměřených parametrů zesilovače (korekčního předzesilovače a koncového stupně), kapitola 4.1, s teoretickými předpoklady podle literatury

„Abeceda nf. techniky [18]“ lze konstatovat, že zesilovač splňuje parametry běžných, standardně používaných audio zesilovačů.

Poslední, v této práci nejdůležitější částí, byl návrh řídicího a ovládacího panelu. Tyto dva panely jsou v zařízení spojeny pomocí tzv. „sendvičové“ struktury do jednoho funkčního bloku.

Řídicí panel je osazen mikrokontrolérem ATmega16, který zajišťuje celkový chod zařízení. Spolu s dalším obvodem – převodníkem FT232, osazeným rovněž na řídicím panelu, vytváří ideální podmínky pro řízení celého zařízení pomocí osobního počítače. Při konstrukci zesilovače bylo počítáno i s touto možností a je tomu přizpůsoben i obslužný firmware. Posledním obvodem na řídicím panelu je obvod TDA7439. Jedná se o integrovaný korekční předzesilovač. Nastavování parametrů tohoto korekčního předzesilovače bylo vyřešeno pomocí ovládacího panelu za podpory řídicího mikrokontroléru.

Ovládací panel tvoří dvě pomyslné části: zobrazovací a řídicí.

Zobrazovací část byla vytvořena z pěti posuvných registrů TPIC595. Tyto registry byly určeny pro buzení zobrazovacích LED diod (153 kusů). Pomocí těchto LED diod bylo vytvořeno kompletní uživatelské rozhraní. Výsledný efekt a uživatelskou přívětivost lze hodnotit jako vynikající, i přes složité umístění zobrazovacích prvků.

Řídicí část ovládacího panelu byla vytvořena ze tří obvodů firmy Freescale Semiconductor – dvou obvodů MPR084 a jednoho MPR083. Pomocí těchto obvodů byla navržena tlačítka pro přepínání vstupních kanálů (kanál 1 – 4), ovládání korekcí (basy, středy a výšky), MUTE a řízení stavu ST-BY. Pro ovládání hlasitosti byl na ovládací panel umístěn rotační kodér. Celý panel byl zapouzdřen plexisklem, pod kterým je umístěno grafické ztvárnění ovládacího panelu.

5.3 Zhodnocení kapacitních snímačů

Použití kapacitních snímačů přináší uživateli i konstruktérovi značné výhody, ale i jisté nevýhody. Při srovnání kapacitního snímání doteku s klasickými tlačítky můžeme pozorovat následující rozdíly. Kapacitní snímače jsou prostorově, tvarově a mechanicky téměř neomezené. Jejich vlastnosti se dají softwarově měnit, a to i za chodu zařízení. Grafické ztvárnění je možno řešit například samolepicí fólií, což umožňuje jak výrobcí, tak uživateli měnit vzhled zařízení bez zásahu do jeho mechanických vlastností. U mechanických tlačítek by těchto vlastností šlo dosáhnout jen stěží. Kapacitní snímače však vyžadují naprosto dokonalé uchycení krycího panelu, v opačném případě se stávají nespolehlivými a v krajních případech mohou vyvodit nebezpečné stavy. Odolnost vůči poruše je oproti mechanickým prvkům větší, ale v případě poruchy kapacitních snímačů (například vlivem přepětí v síti), je nutno

vyměnit v podstatě celý ovládací panel, na rozdíl od jednoduché výměny mechanického tlačítka.

Konstruktér by měl, s ohledem na požadavky cílové aplikace, při návrhu zařízení zvážit, zda je vhodné použít kapacitní snímání doteku, nebo zůstat u klasických tlačítek.

5.4 Možnosti dalšího testování

Inspirací pro další testování těchto kapacitních snímačů by mohlo být jejich nasazení v extrémních podmínkách, jako jsou extrémní teploty a jejich prudké změny nebo chování kapacitních senzorů při ponoření zařízení pod vodní hladinu.

LITERATURA

- [1] Atmel Corporation. *ATmega16* [online]. 2466T-AVR-07/10. USA: Atmel Corporation, 2010 [cit. 2011-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2466.pdf>>.
- [2] BEZDĚK, Miloslav. *Elektronika I: učebnice*. Dotisk prvního vydání. České Budějovice: PROTISK s.r.o., 2005. 271 s. ISBN 80-7232-171-4.
- [3] Freescale Semiconductor. *Proximity Capacitive Touch Sensor Controller: MPR084* [online]. Rev 6 . [s.l.]: [s.n.], 5/2010 [cit. 2010-11-23]. Dostupné z WWW: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPR084.pdf?fsp=1>.
- [4] Freescale Semiconductor. *Proximity Capacitive Touch Sensor Controller: MPR083* [online]. Rev 5. [s.l.]: [s.n.], 6/2010 [cit. 2010-11-23]. Dostupné z WWW: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPR083.pdf?fsp=1>.
- [5] Freescale Semiconductor. *Pad Layout Application Note: AN3747* [online]. Rev 1. [s.l.]: Freescale Semiconductor Literature Distribution Center, 2009, 09/2009 [cit. 2010-12-01]. Dostupné z WWW: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3747.pdf?fsrch=1&sr=1>.
- [6] Freescale Semiconductor. *Proximity Capacitive Sensor Technology for Touch Sensing Applications: By Bryce Osoinach, Systems and Applications Engineer* [online]. REV 1. Denver, Colorado 80217: Literature Distribution Center, 2008, 2008 [cit. 2010-12-29]. Dostupné z WWW: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/white_paper/PROXIMITYWP.pdf?fsp=1&WT_TYPE=White%20Papers&WT_VENDOR=FREESCALE&WT_FILE_FORMAT=pdf&WT_ASSET=Documentation>
- [7] Freescale Semiconductor. *Freescale.com* [online]. 2004 - 2010 [cit. 2010-12-29]. Microprocessors and microcontrollers sensors. Dostupné z WWW:<<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/taxonomy.jsp?nodeId=0112698268>>.
- [8] Future Technology Devices International Ltd. *FT232R USB UART I.C.: Incorporating Clock Generator Output and FTDIChip-IDTM Security Dongle* [online]. 1.04. United Kingdom: Future Technology Devices International Limited, 2005, 2006 [cit. 2011-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/144591/FTDI/FT232RL.html>>.

- [9] KŘIŠŤAN, Luděk; VACHALA, Vladimír. *Příručka pro navrhování elektronických obvodů*. Praha: SNTL, 1982. 393 s. DT 621 3 011 7. [kniha]
- [10] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATmega16: 4. díl*. Vyd. 1. Praha: BEN-technická literatura, 2006. 319 s. ISBN 80-7300-1748.
- [11] Maxim Integrated Products. *Automotive, Two-Channel Proximity and Touch Sensor: MAX1441* [online]. Rev 0. Sunnyvale: 120 San Gabriel Drive, 7/10 [cit. 2010-11-23]. Dostupné z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1441.pdf>>.
- [12] Maxim Integrated Products. *Maxim-ic.com* [online]. Rev 0. 2010-07-19, 2010-11-09 [cit. 2010-12-29]. Sensors and Microcontrollers. Dostupné z WWW: <<http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/6788>>.
- [13] STMicroelectronics. *8-channel capacitive touch key controller: STMPE821* [online]. Rev 4. [s.l.]: [s.n.], April 2009 [cit. 2010-11-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/14478.pdf>>
- [14] STMicroelectronics. *St.com* [online]. 2010 [cit. 2010-12-29]. Microcontrollers. Dostupné z WWW: <<http://www.st.com/stonline/stappl/productcatalog/app?page=productSelector&search=STMPE>>.
- [15] STMicroelectronics. *TDA7293* [online]. Italy: STMicroelectronics, 2003 [cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/9/0ozxelyhtgfl5jsx9108fj3sqq3y.pdf>>.
- [16] 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>>.
- [17] Texas Instruments. *TPIC6C595: POWER LOGIC 8-BIT SHIFT REGISTER* [online]. Dallas, Texas: Texas Instruments, 1998, 2005 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/tpic6c595.pdf>>.
- [18] WIRSUM, S. *Abeceda nf techniky*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. 192 s. ISBN 80-86056-26-0.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AD0 I²C adresa zařízení

\overline{ATTN} Attention Pin – upozorňovací pin

\overline{DCE} Duty Cycle Enable - přepínání módu 1 a 2

DPS Deska Plošných Spojů

Ex Elektroda $x \in \{1 - 8\}$

FIFO First In First Out memory – datová paměť (data uložená jako první, se jako první vyčítají)

GPIO General Purpose Input/Output – vstupně/výstupní piny

IrDA Infrared Data Association - Přenos dat pomocí infračerveného světla

\overline{IRQ} Interrupt Request Pin – pin žádající o přerušení

I²C Inter-Integrated Circuit – komunikační sběrnice

JTAG Joint Test Action Group – rozhraní pro programování paměti mikrokontroléru, ladění programů

LED Light-Emitting Diode

NF nízkofrekvenční

PWM Pulse Width Modulation – pulsně šířková modulace

\overline{RST} Reset

SCL I²C hodinový signál

SDA I²C datový signál

SMD Surface Mount Device – povrchová montáž

SPI Serial Peripheral Interface - Sériový kanál

SRAM Static Random Access Memory - Datová paměť

ST-BY pohotovostní režim

UART Universal Asynchronous Receiver and Transmitter – asynchronní sériové rozhraní

USB Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice

VDD Kladné napájecí napětí

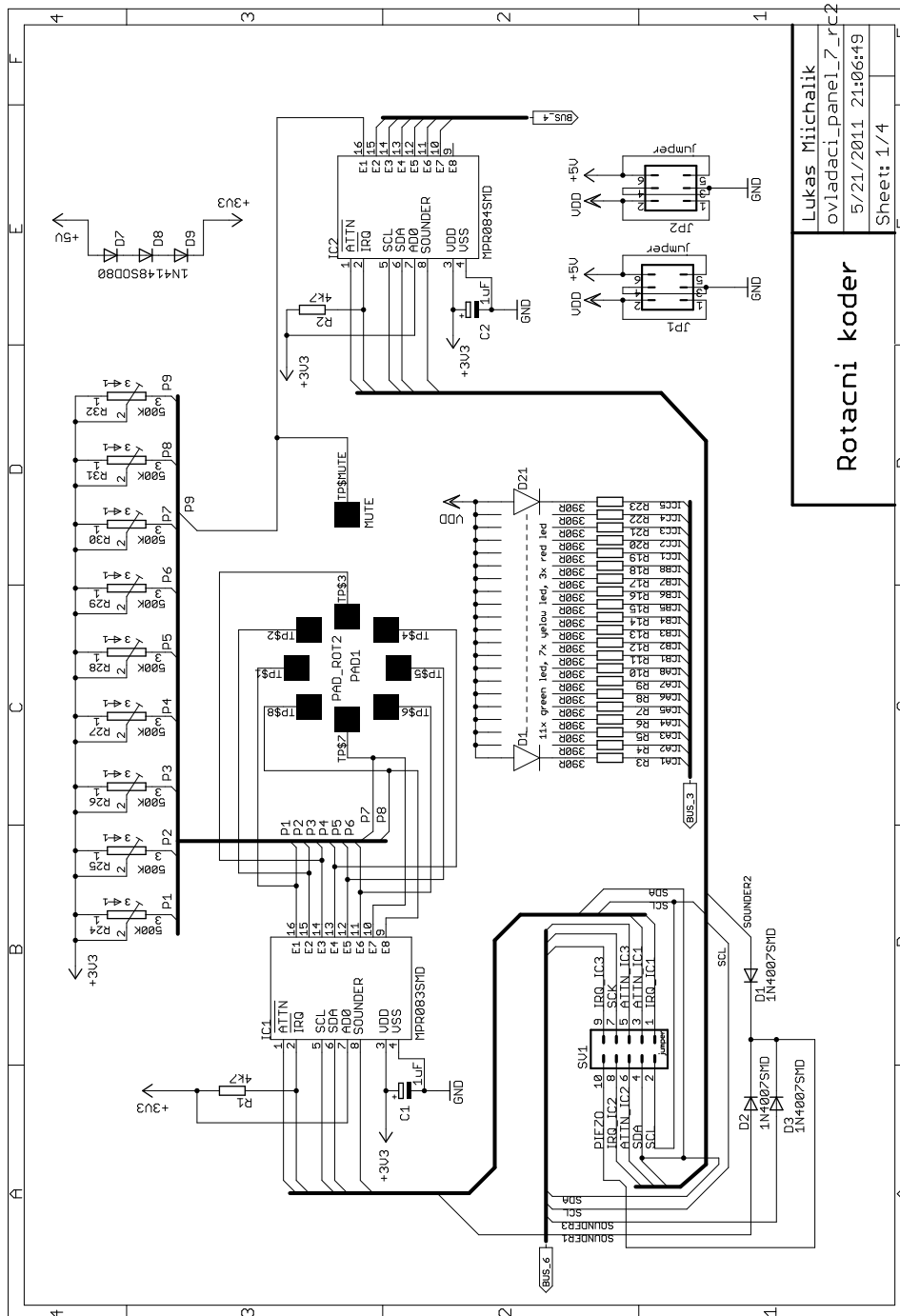
VSS GND - zem

SEZNAM PŘÍLOH

A Schémata	63
A.1 Ovládací panel	63
A.2 Řídící panel	67
A.3 Zdroj	70
A.4 Koncový zesilovač	71
B Plošné spoje	73
B.1 Testovací desky	73
B.2 Ovládací panel	76
B.3 Řídící panel	78
B.4 Zdroj	80
B.5 Koncový zesilovač	82
C Osazovací předlohy	84
C.1 Ovládací panel	84
C.2 Řídící panel	86
C.3 Zdroj	88
C.4 Koncový zesilovač	90
C.5 Ostatní obrazová příloha	93
D Soupiska součástek	95
D.1 Ovládací panel	95
D.2 Řídící panel	98
D.3 Zdroj	100
D.4 Koncový zesilovač	101

A SCHEMATA

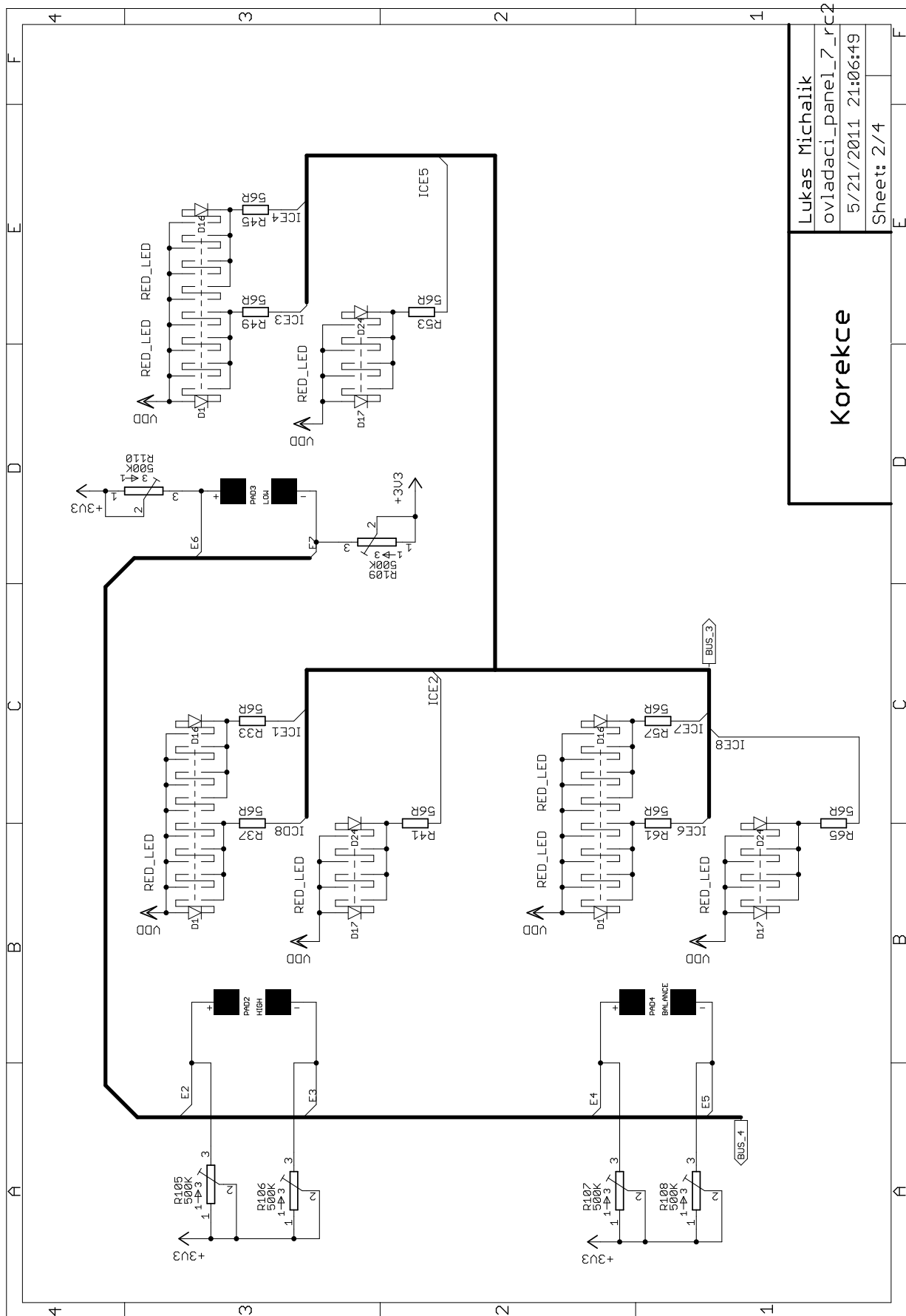
A.1 Ovládací panel



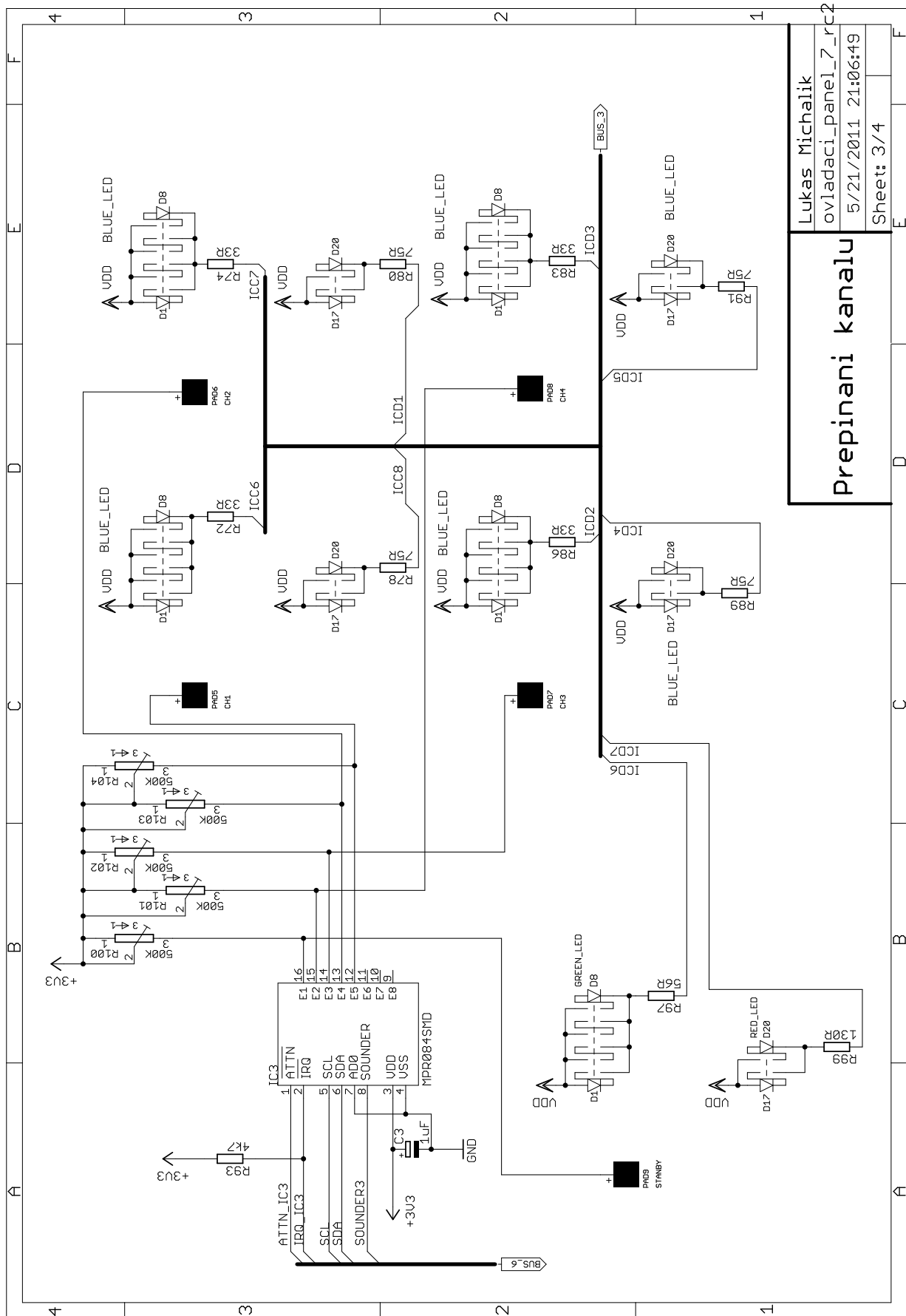
Rotacni koder

Lukas Miichalik
ovladaci_panel_7_rc2
5/21/2011 21:06:49
Sheet: 1/4

Obr. A.1: Ovládací panel - rotační kódér



Obr. A.2: Ovládací panel - korekce



Prepinani kanalu

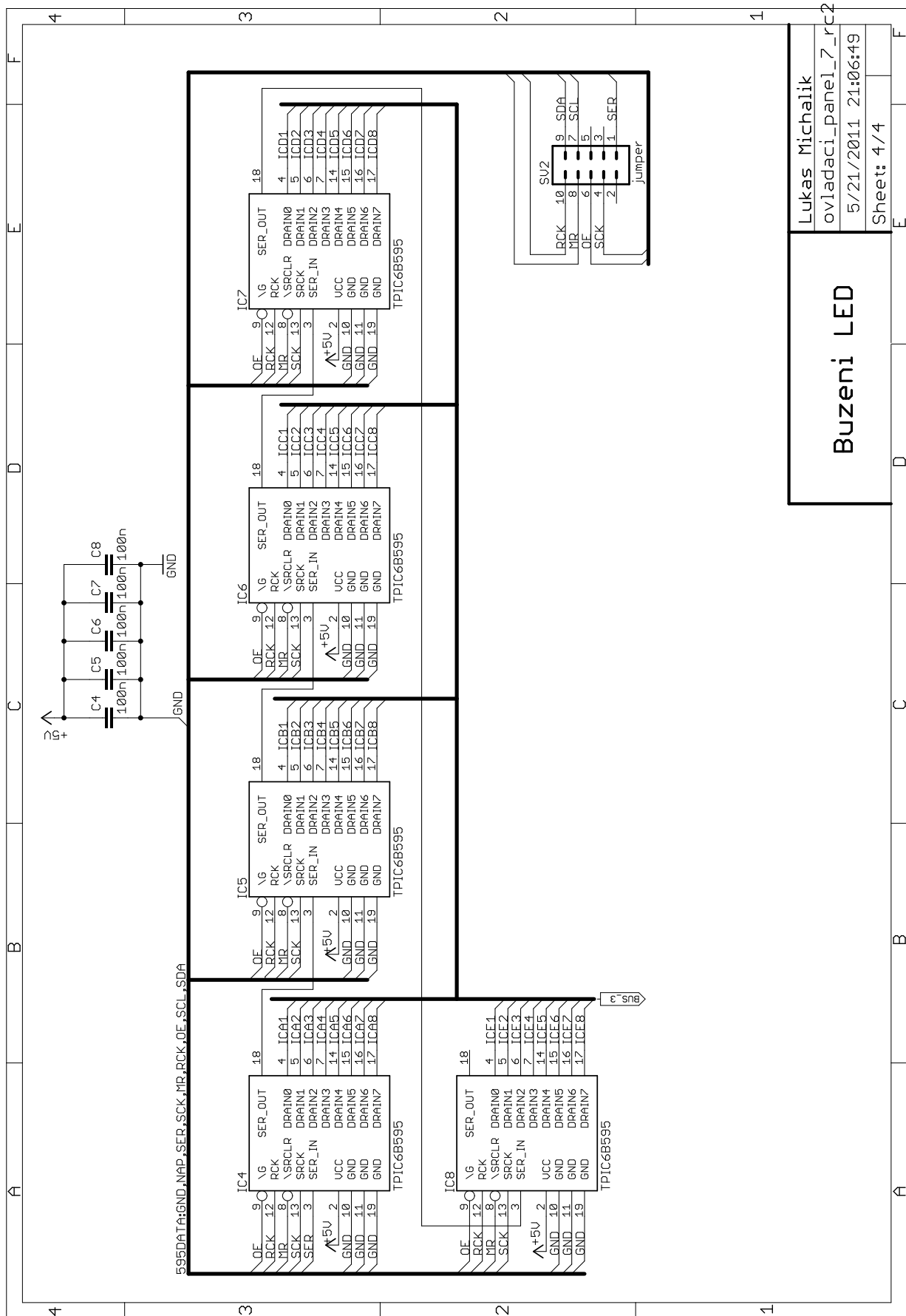
Lukas Michalik

ovladaci_panel_7_rc2

5/21/2011 21:06:49

Sheet: 3/4

Obr. A.3: Ovládací panel - přepínání kanálů



Buzeni LED

Lukas Michalik

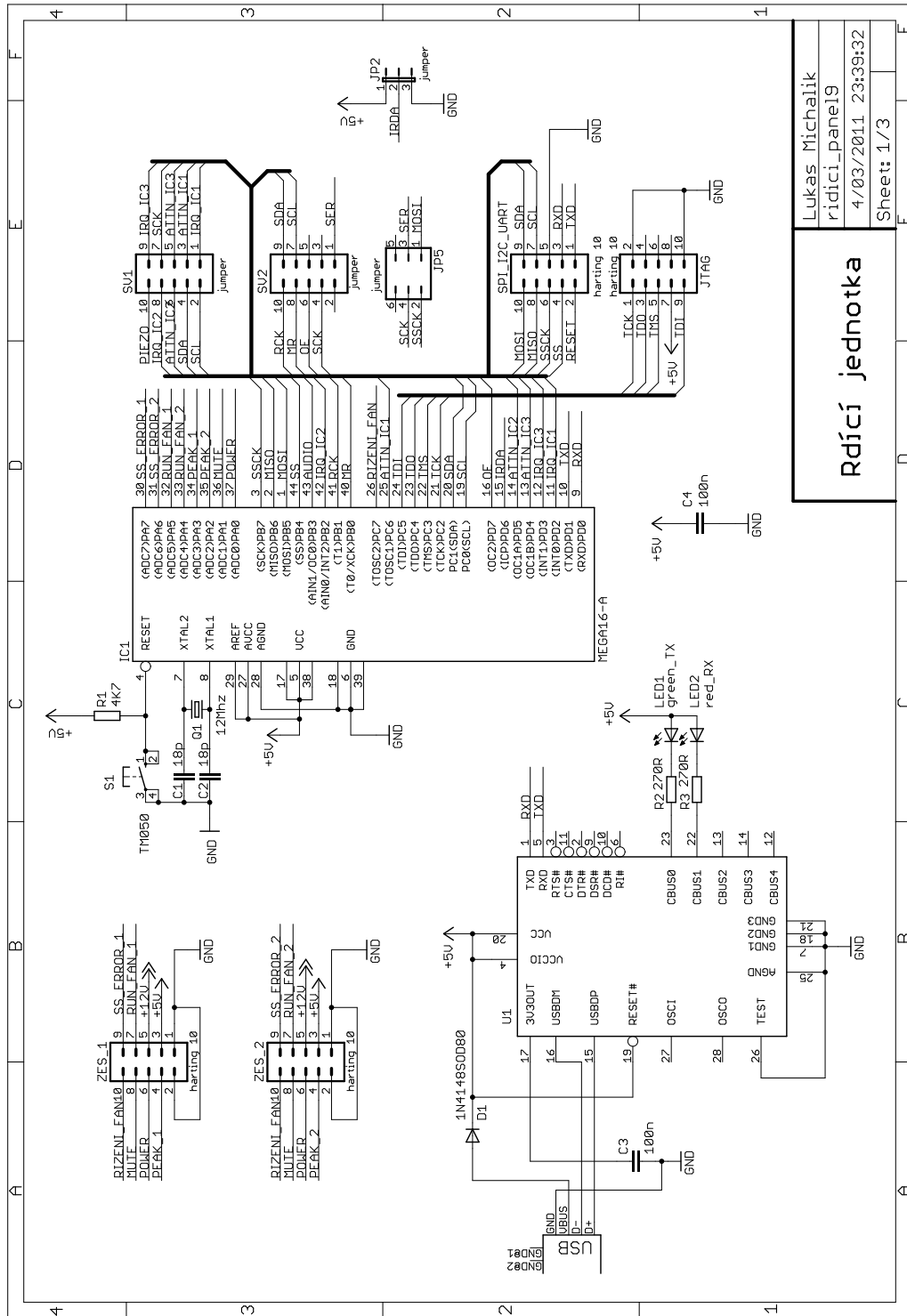
ovladaci_panel_7_rc2

5/21/2011 21:06:49

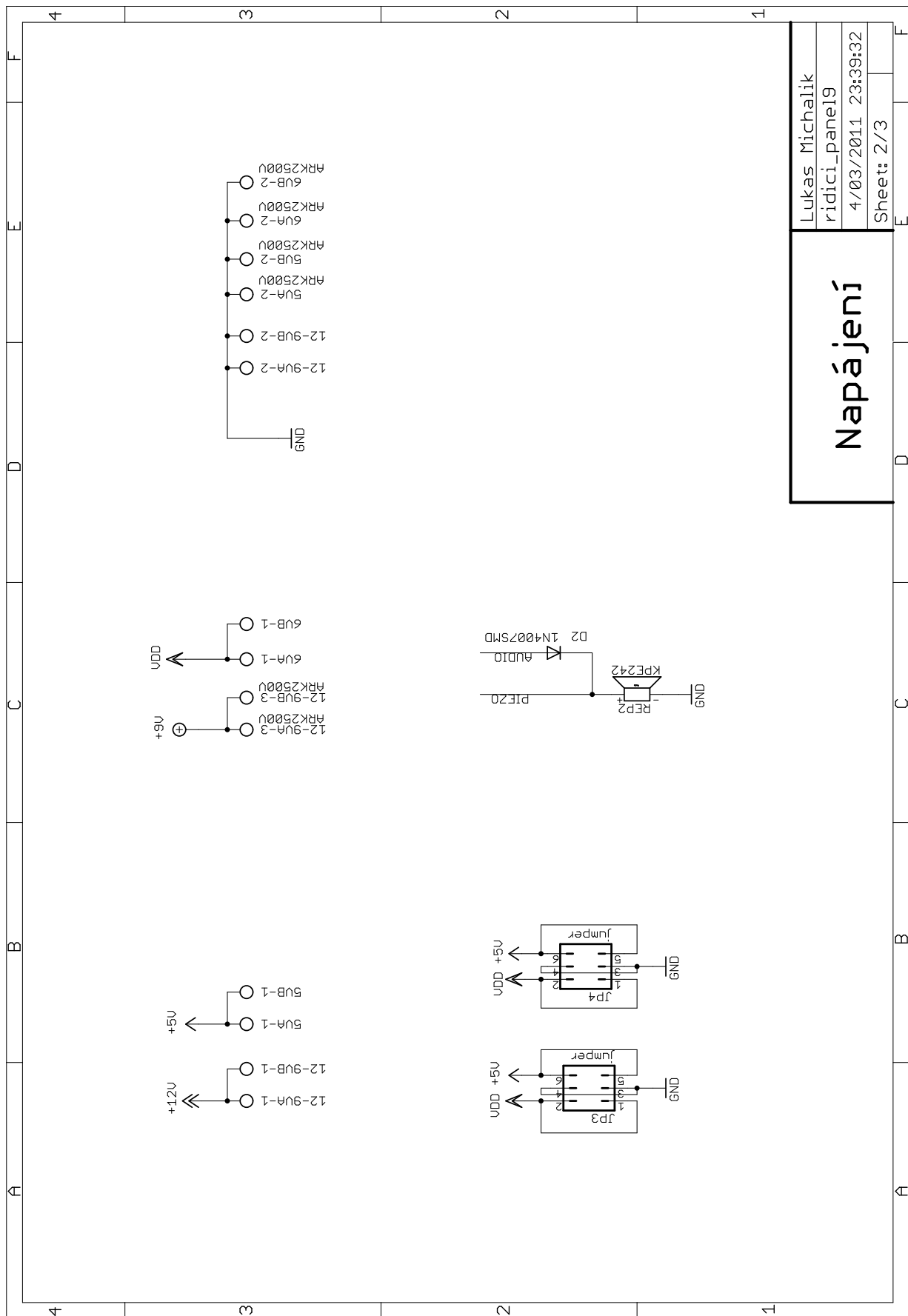
Sheet: 4/4

Obr. A.4: Ovládací panel - buzení led diod

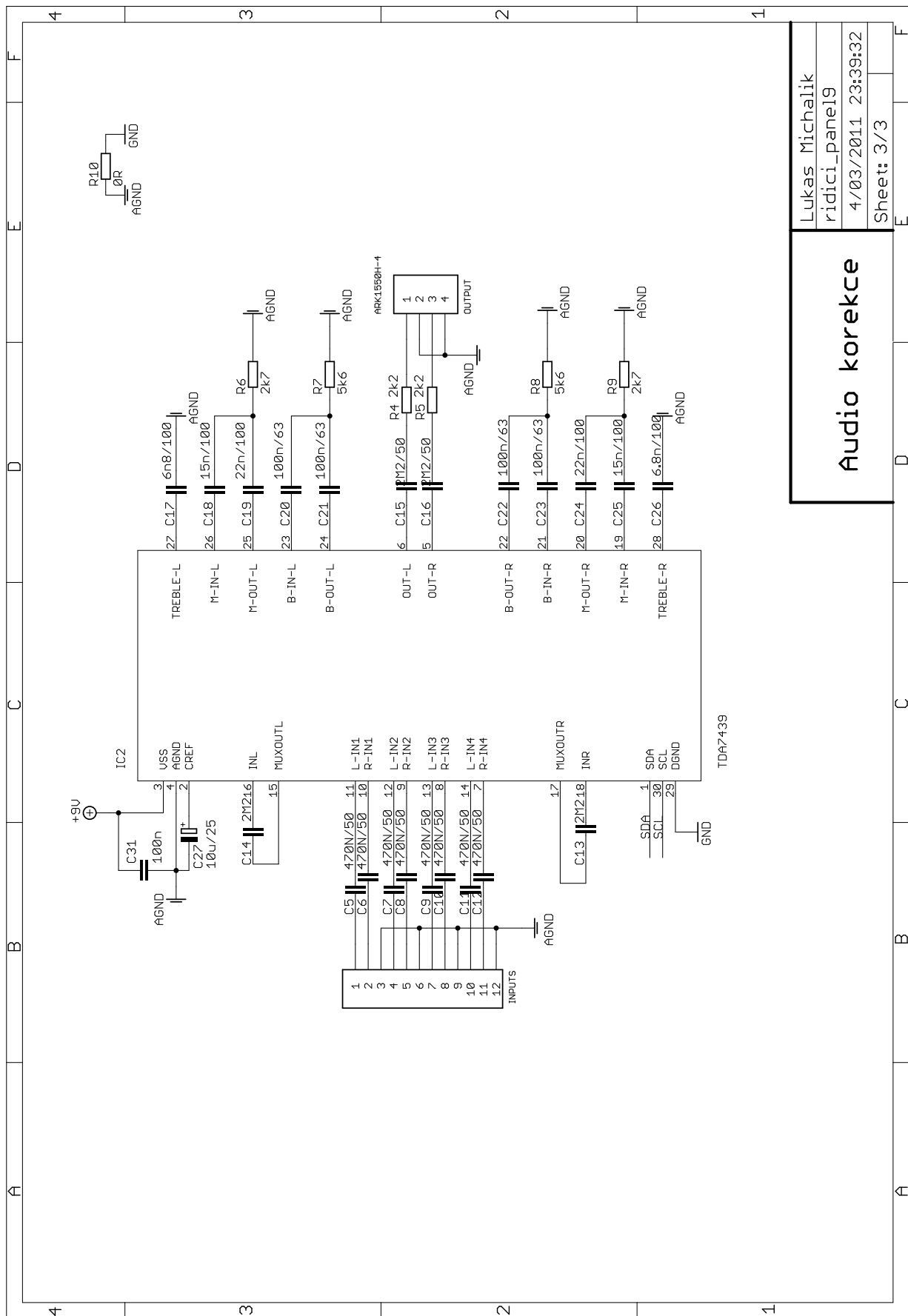
A.2 Řídicí panel



Obr. A.5: Řídicí panel - řízení a rozhraní



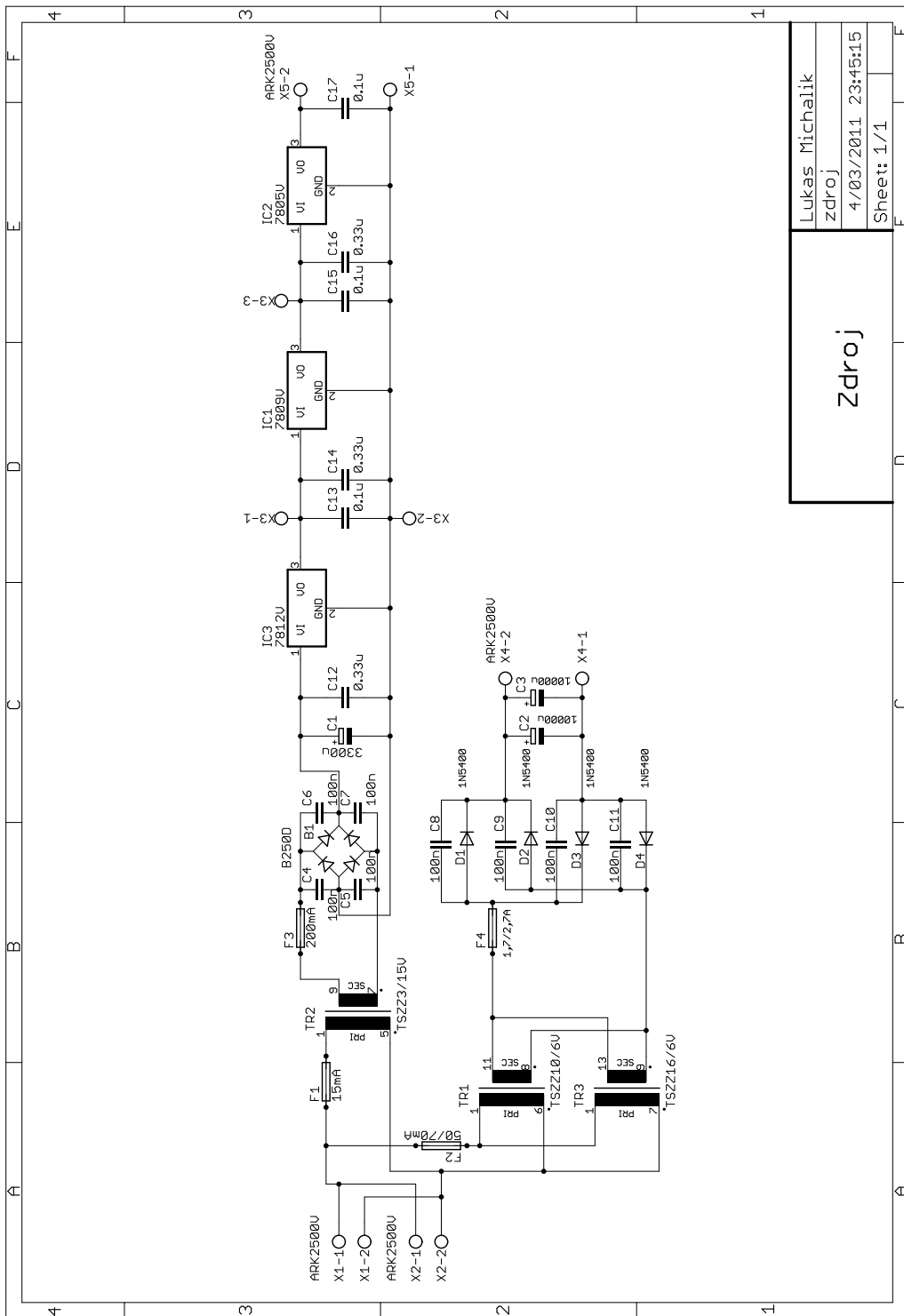
Obr. A.6: Řídicí panel - napájení



Audio korekce		Lukas Michalik
		ridici_panel9
		4/03/2011 23:39:32
		Sheet: 3/3

Obr. A.7: Řídicí panel - korekční předzesilovač

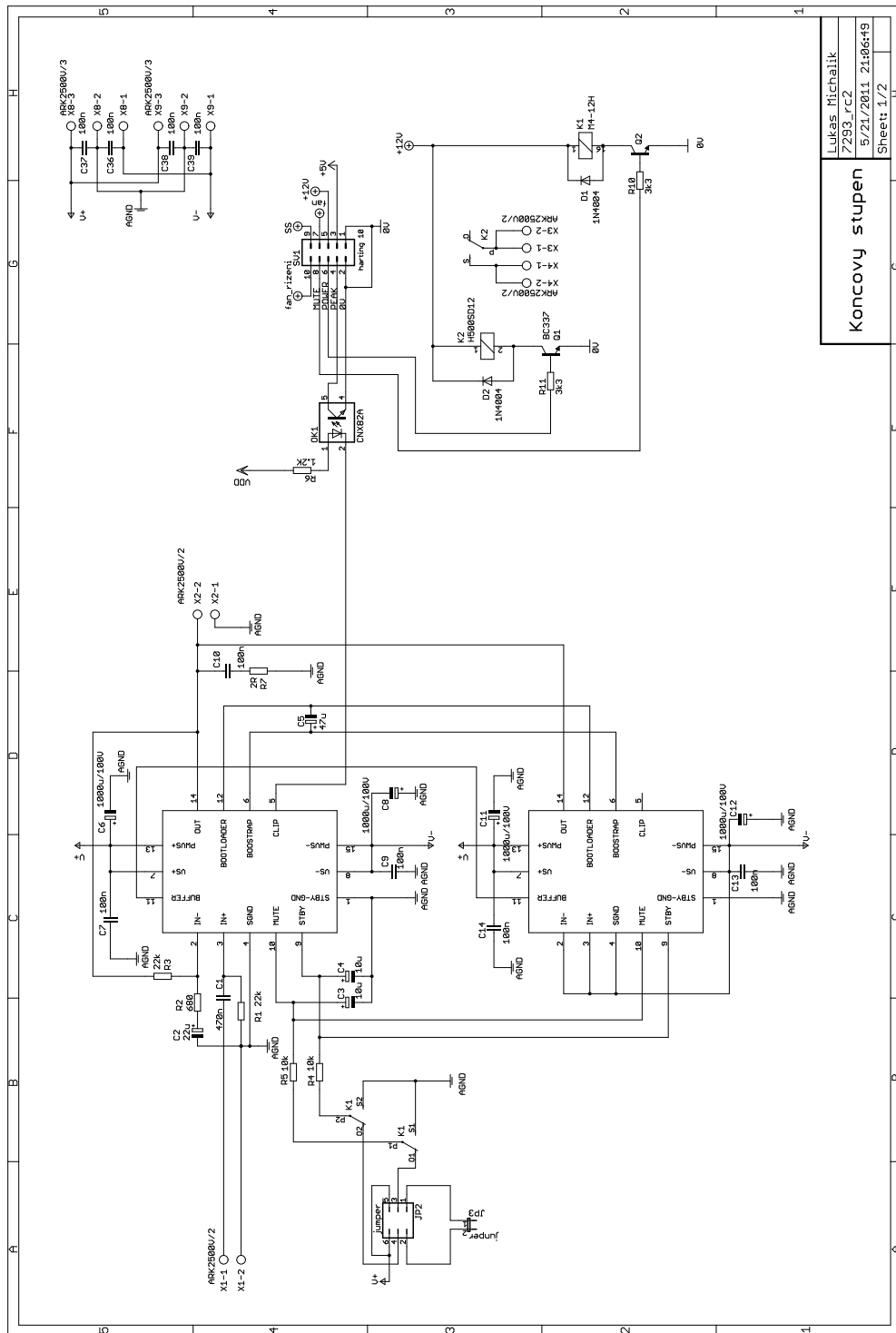
A.3 Zdroj



Zdroj	
Lukas Michalik	
Zdroj	
4/03/2011 23:45:15	
Sheet: 1/1	

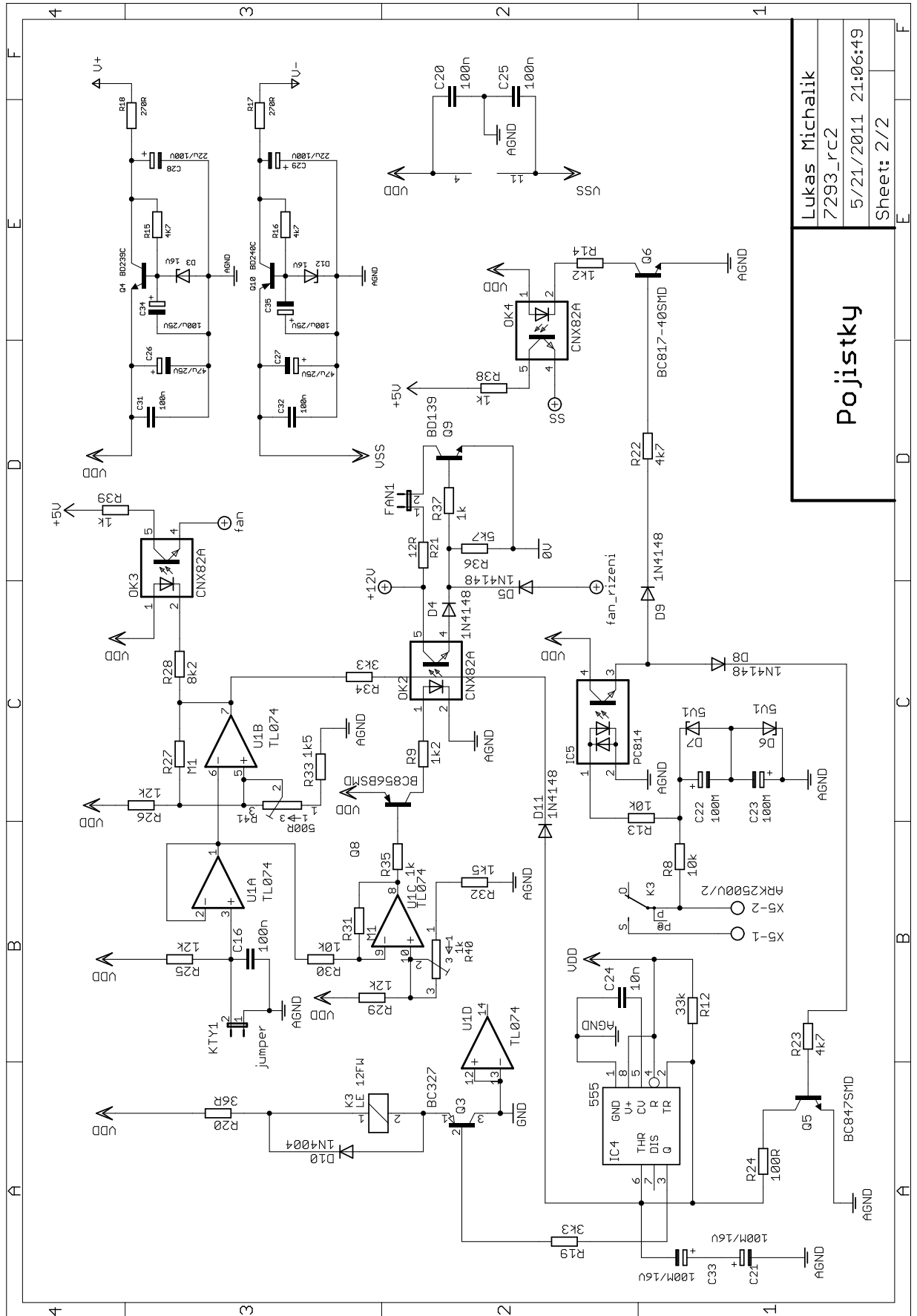
Obr. A.8: Napájecí zdroj

A.4 Koncový zesilovač



Koncový stupeň	
Lukas Michalik	7293_rc2
5/21/2011	21-06649
Sheet: 1/2	

Obr. A.9: Koncový zesilovač



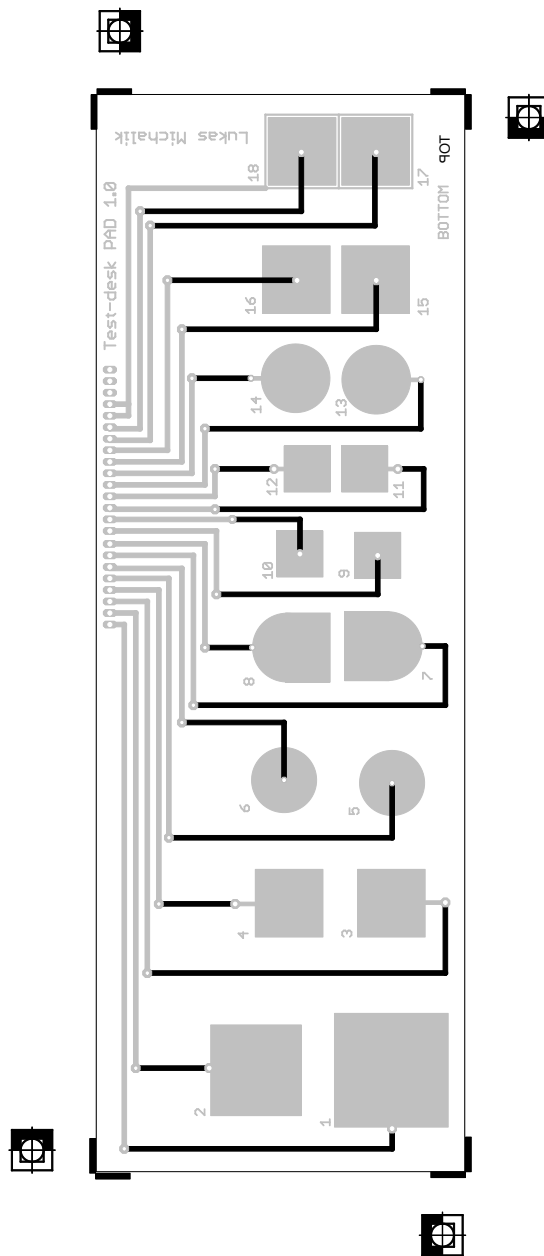
Lukas Michalik
7293_rc2
5/21/2011 21:06:49
Sheet: 2/2

Pojistky

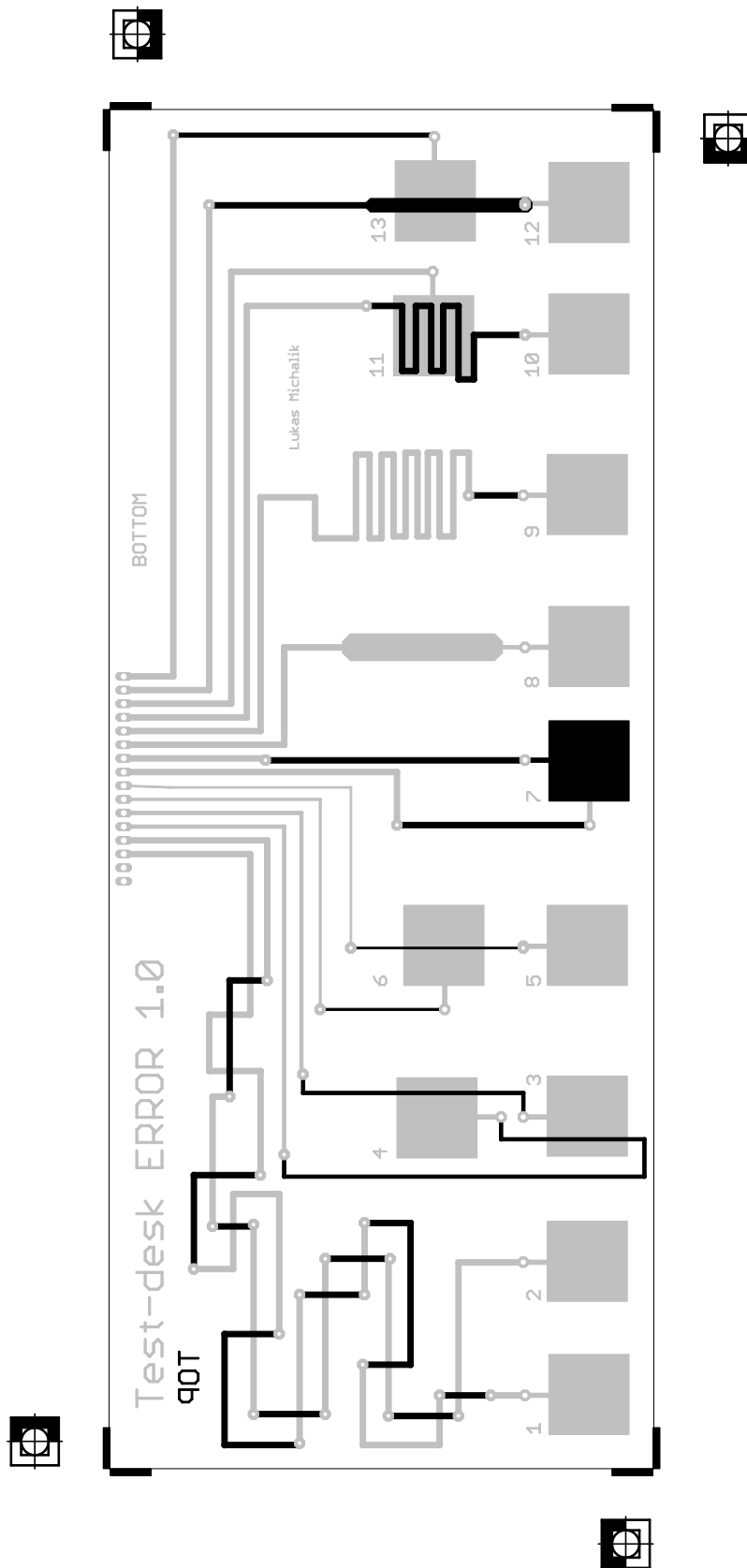
Obr. A.10: Koncový zesilovač - pojistky

B PLOŠNÉ SPOJE

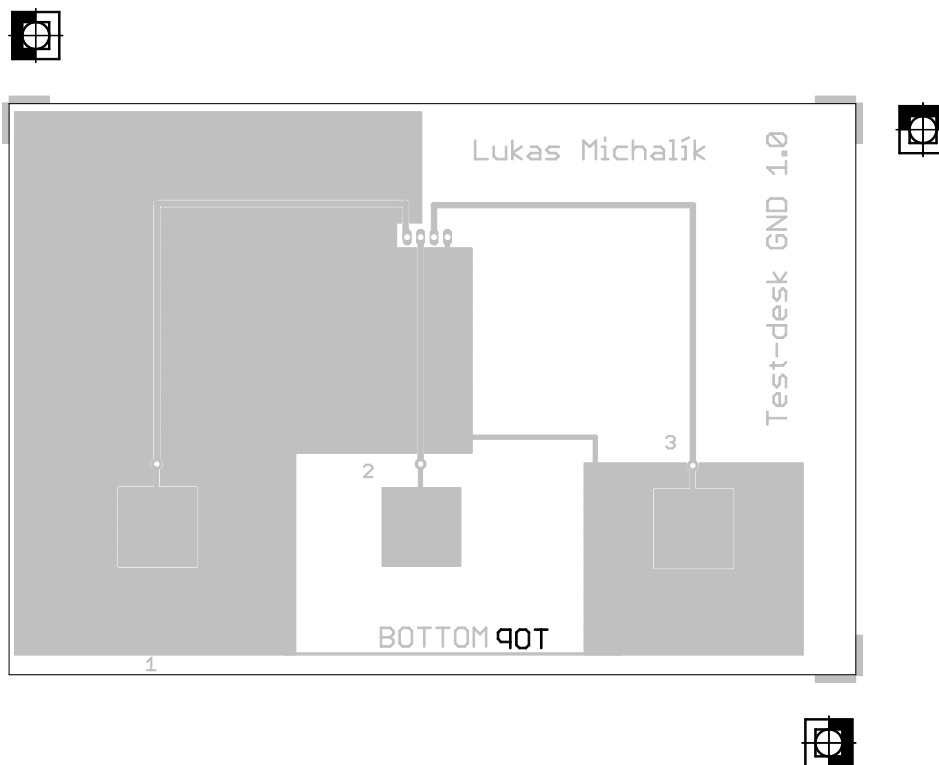
B.1 Testovací desky



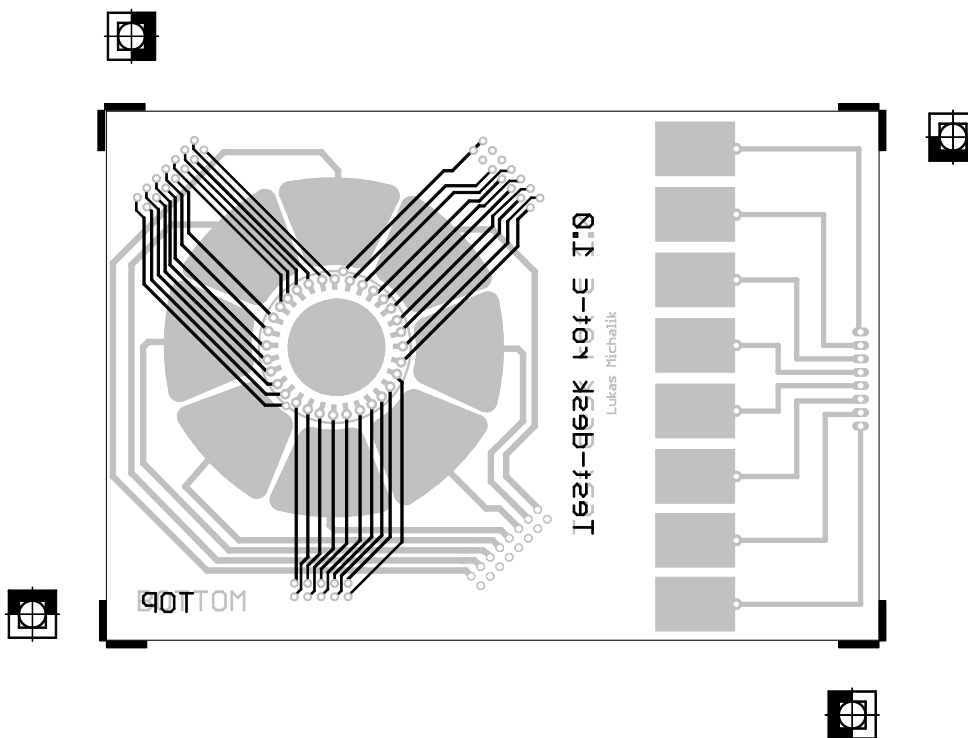
Obr. B.1: Testovací deska plošek



Obr. B.2: Testovací deska spojů

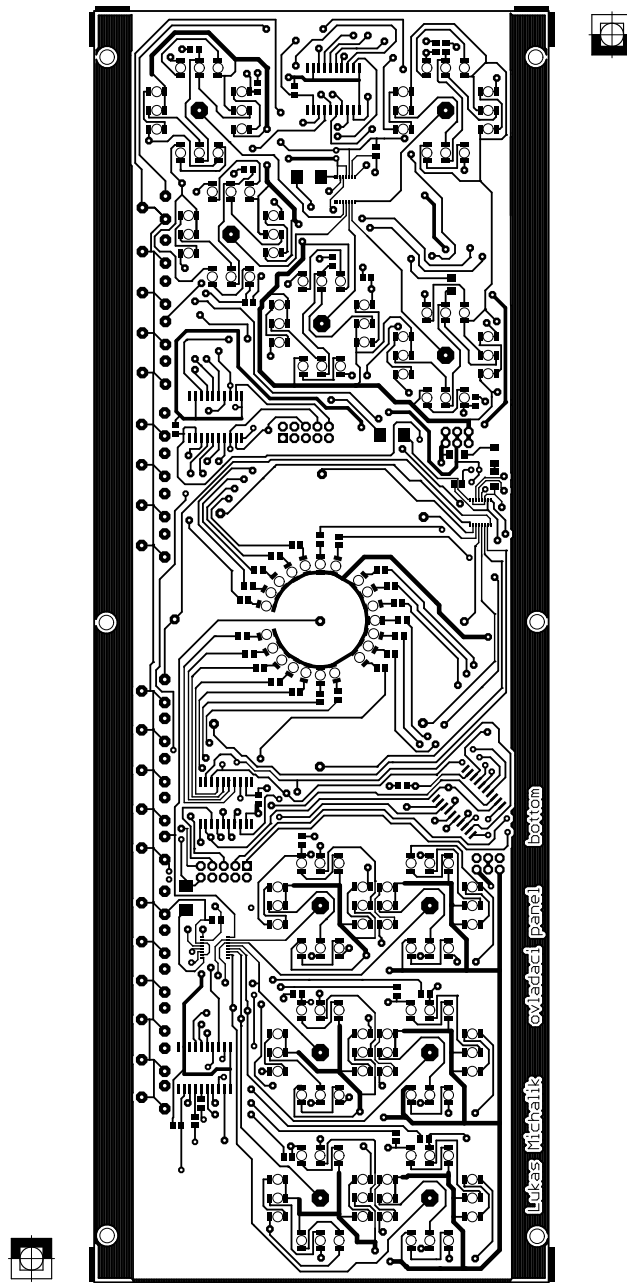


Obr. B.3: Testovací deska „zemnicí plocha“

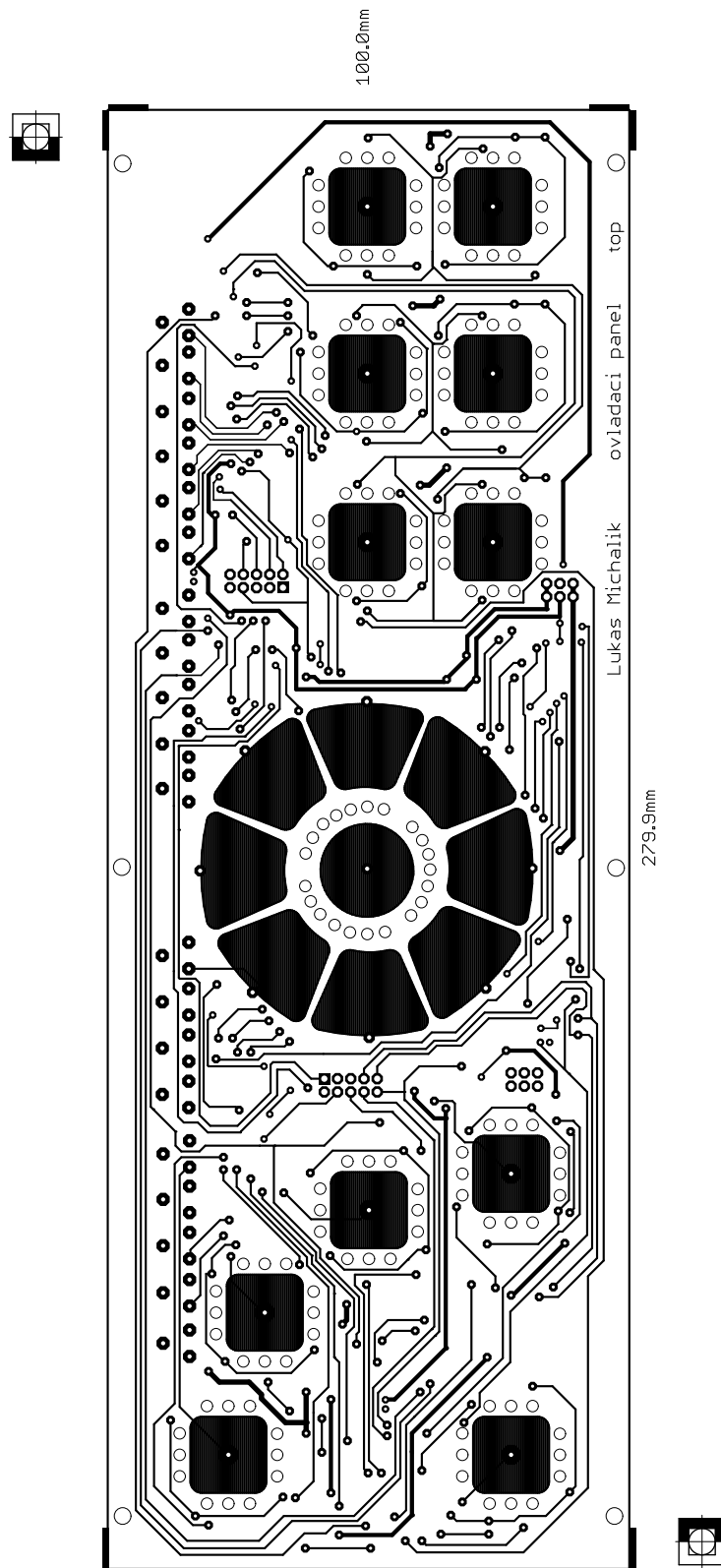


Obr. B.4: Testovací deska rotačního kodéru a posuvníku

B.2 Ovládací panel

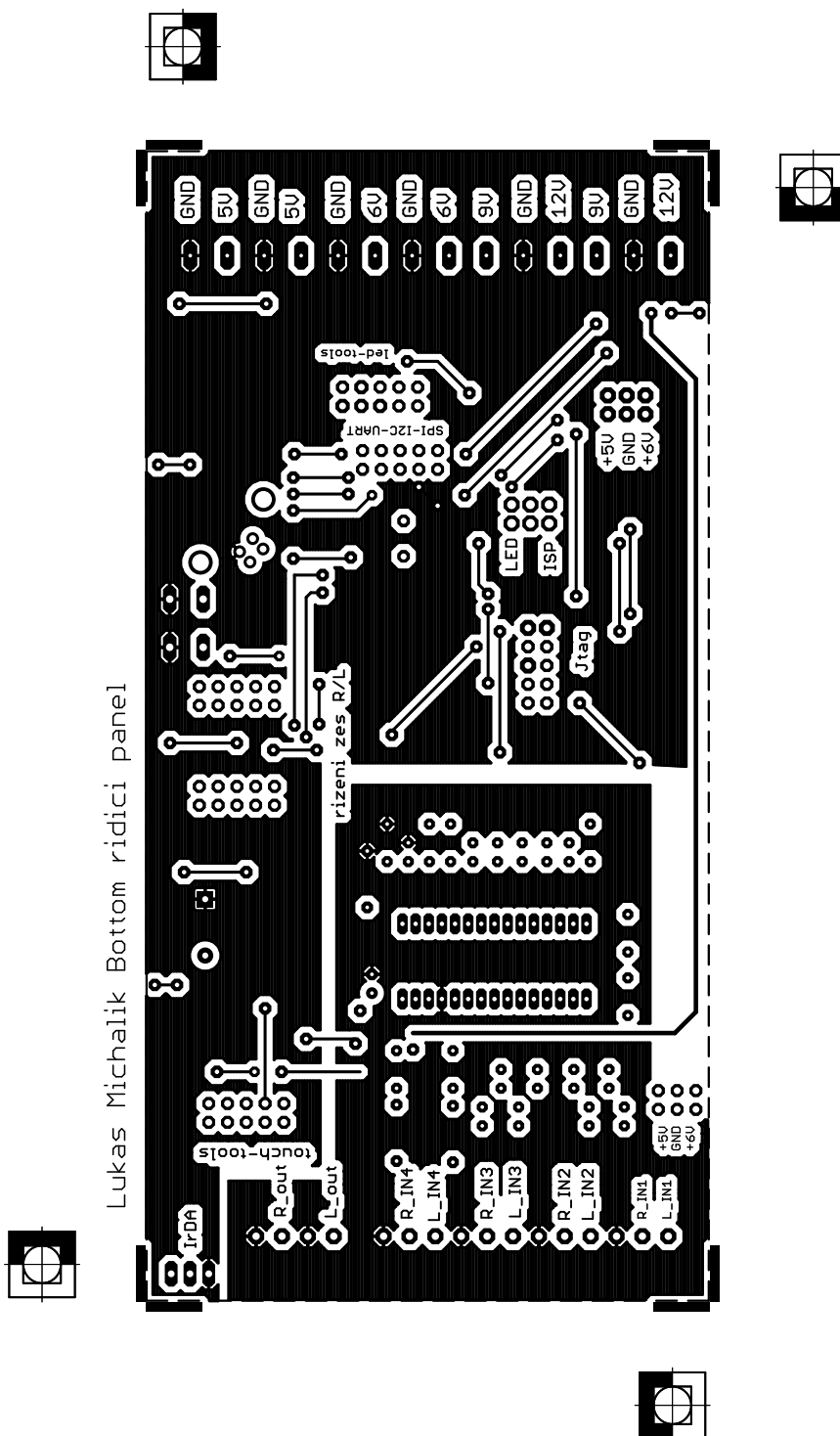


Obr. B.5: Ovládací panel - bottom (scale 0,6)

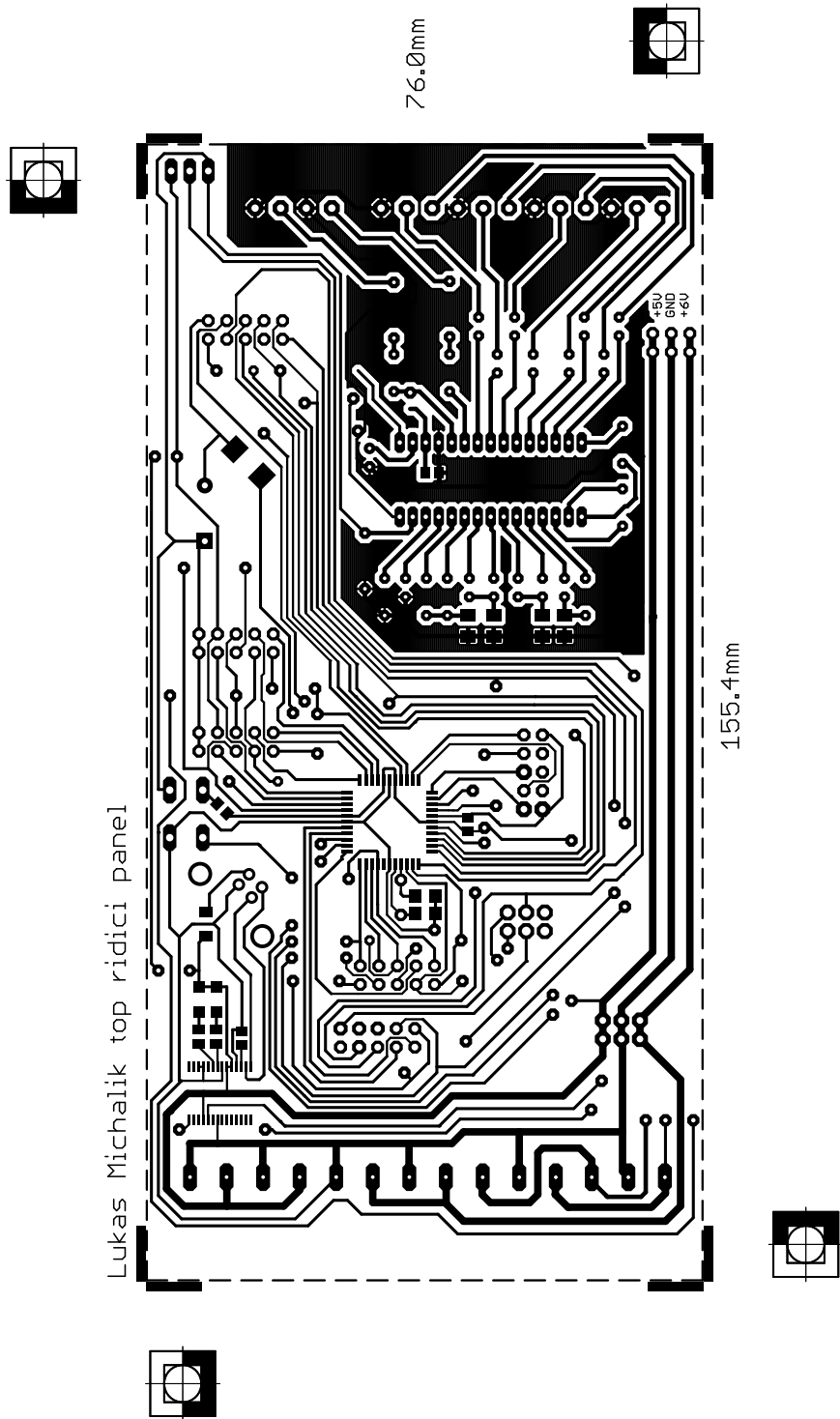


Obr. B.6: Ovládací panel - top(scale (0,7))

B.3 Řídící panel

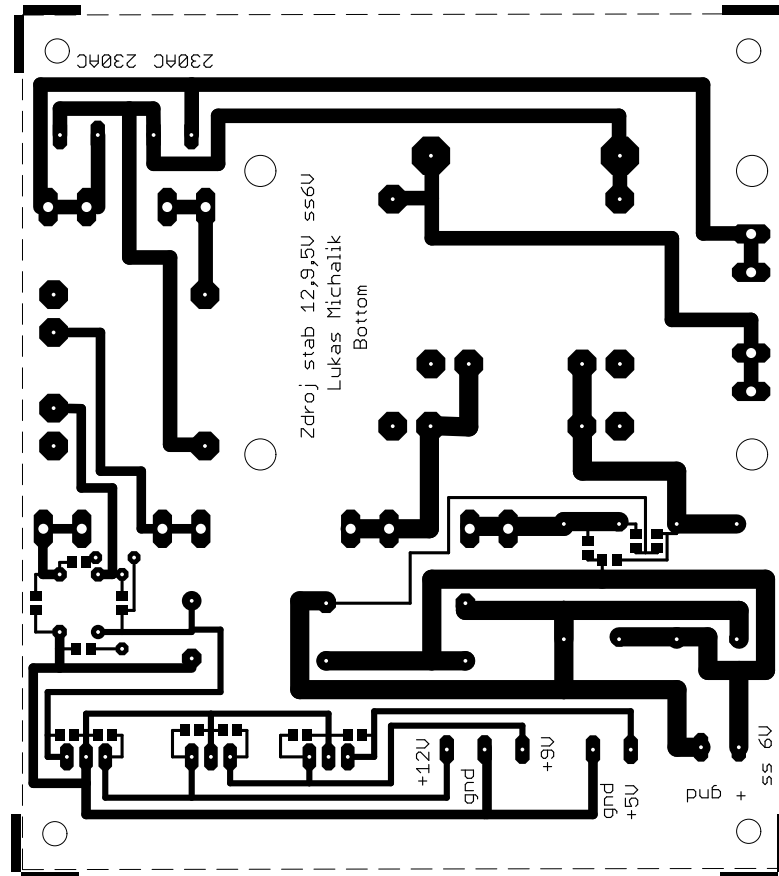


Obr. B.7: Řídící panel - bottom

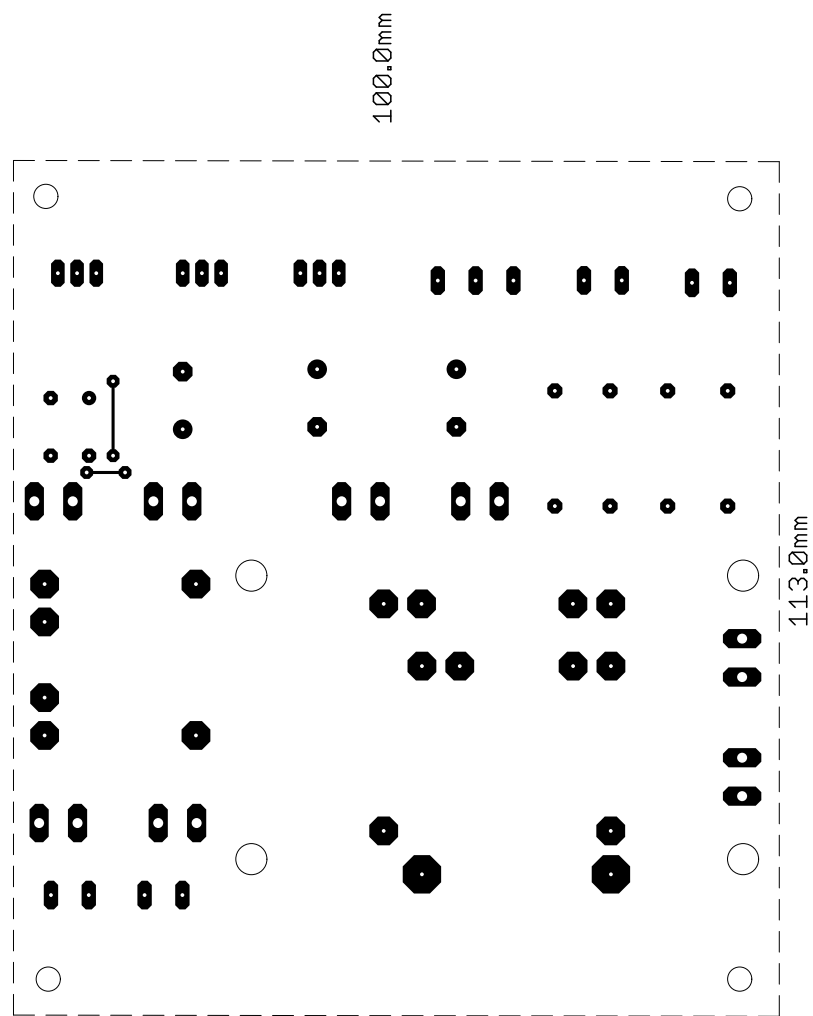


Obr. B.8: Řídící panel - top

B.4 Zdroj

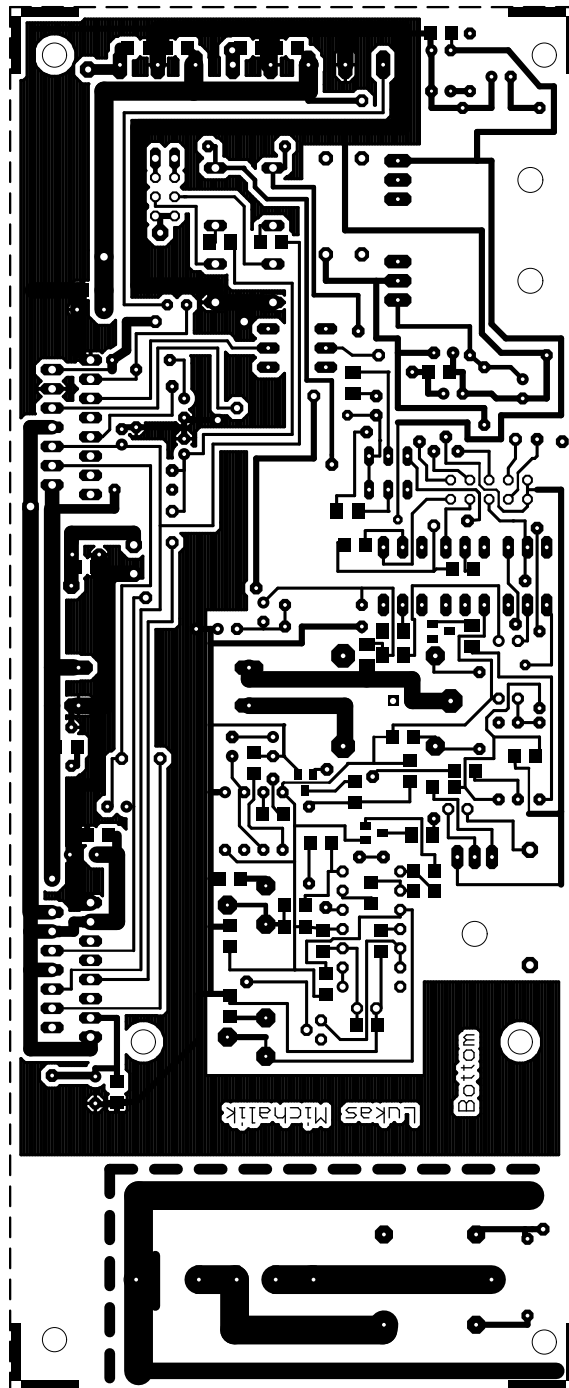


Obr. B.9: Napájecí zdroj - bottom

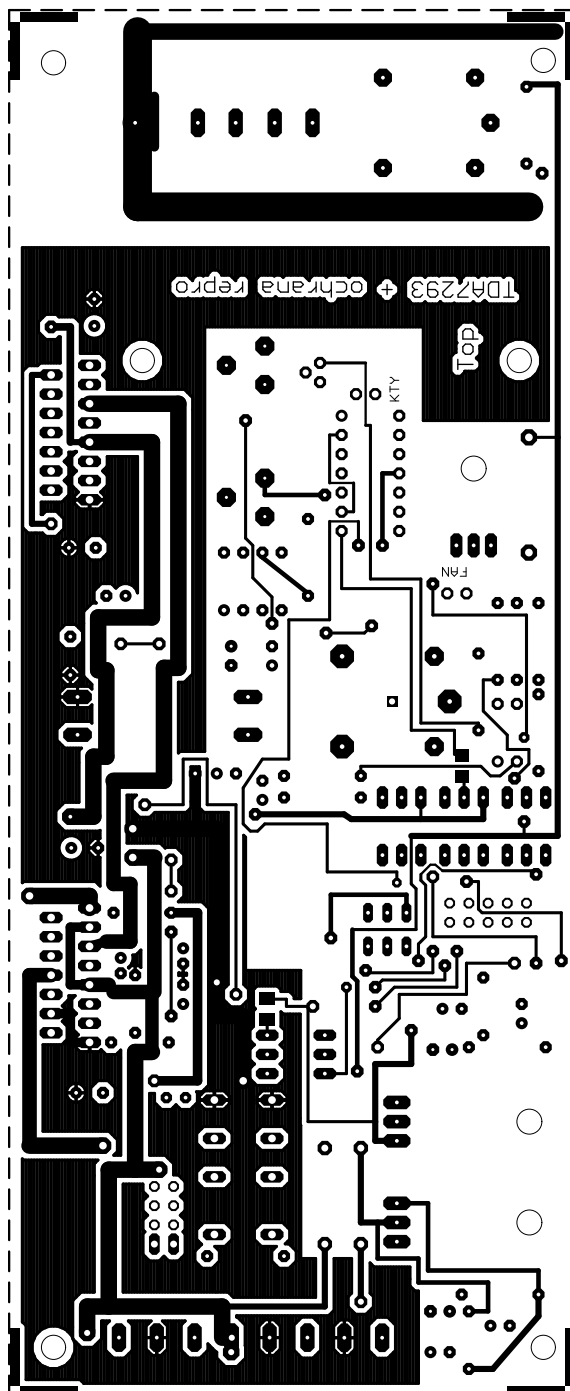


Obr. B.10: Napájecí zdroj - top

B.5 Koncový zesilovač



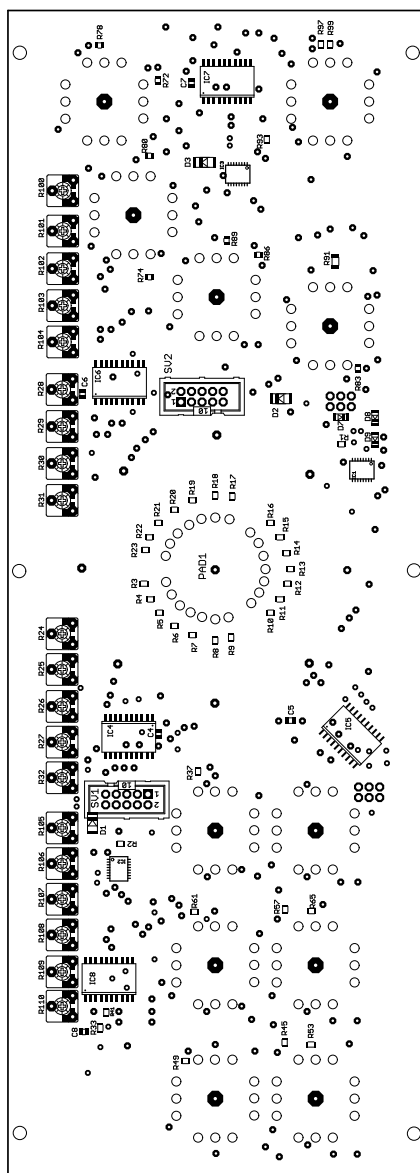
Obr. B.11: Koncový zesilovač - bottom



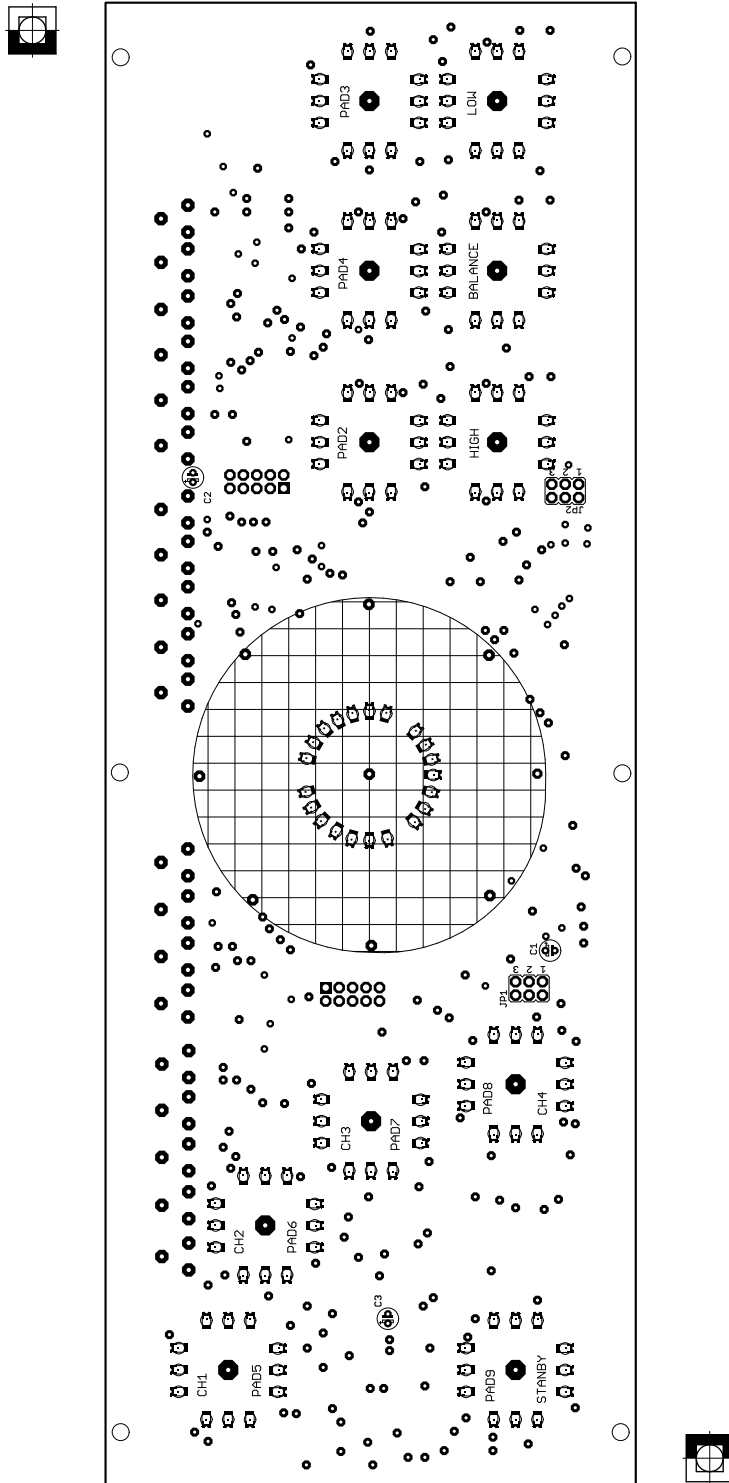
Obr. B.12: Koncový zesilovač - top

C OSAZOVACÍ PŘEDLOHY

C.1 Ovládací panel

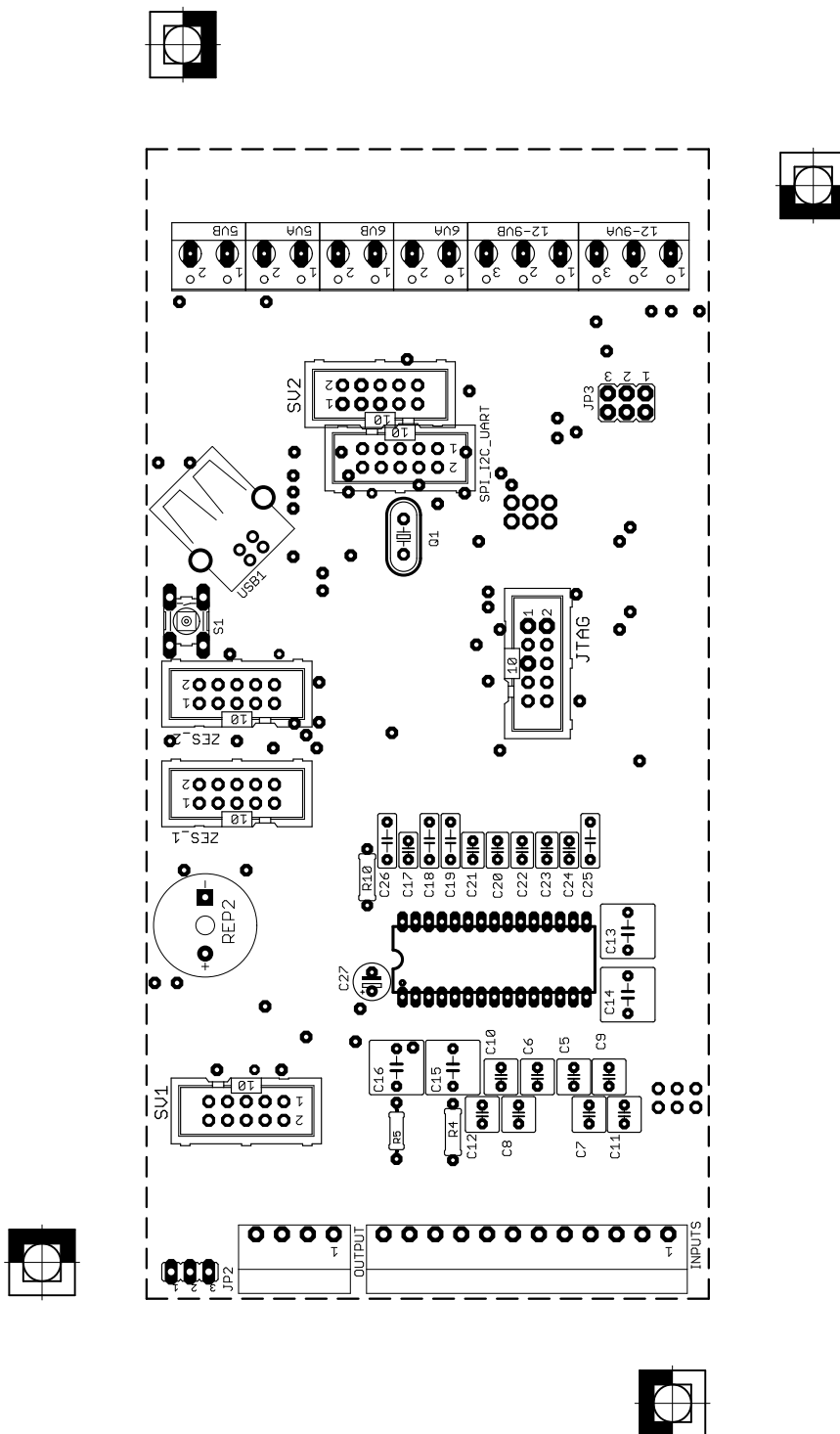


Obr. C.1: Ovládací panel - osazovací předloha bottom (scale 0,7)

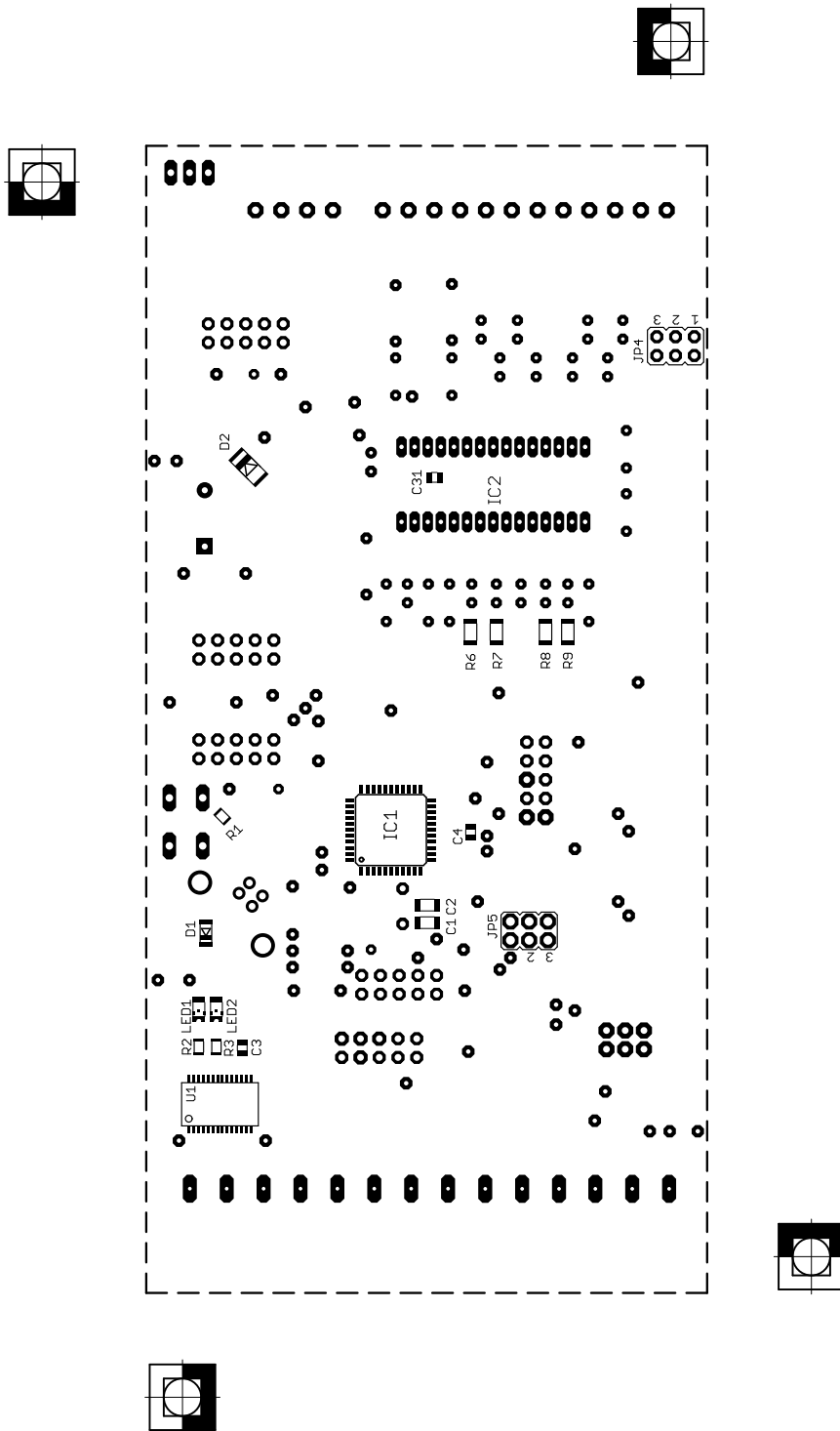


Obr. C.2: Ovládací panel - osazovací předloha top (scale 0,7)

C.2 Řídicí panel

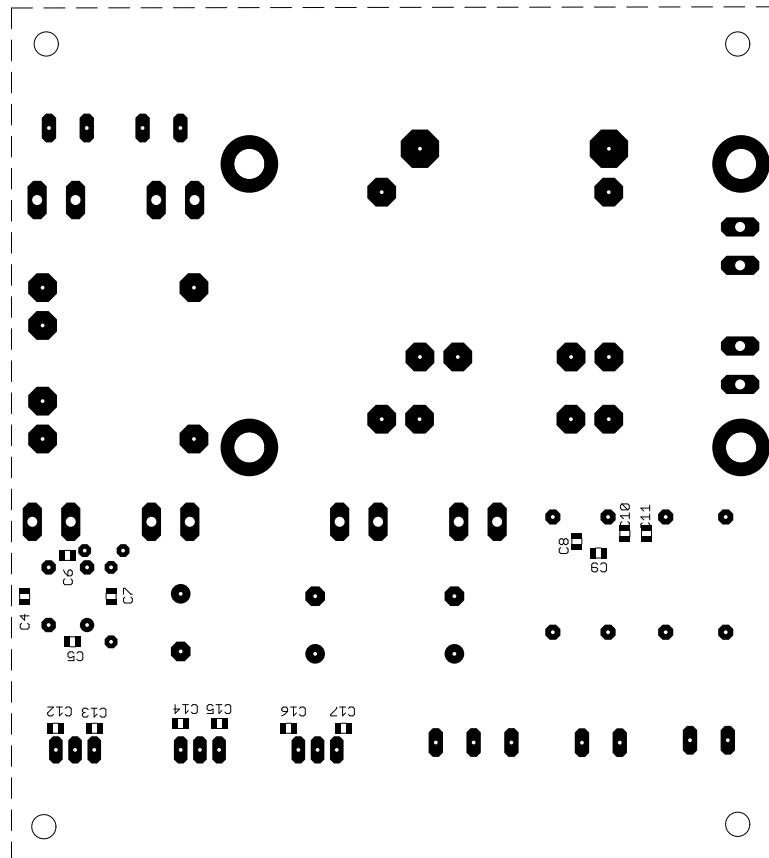


Obr. C.3: Řídicí panel - osazovací předloha bottom

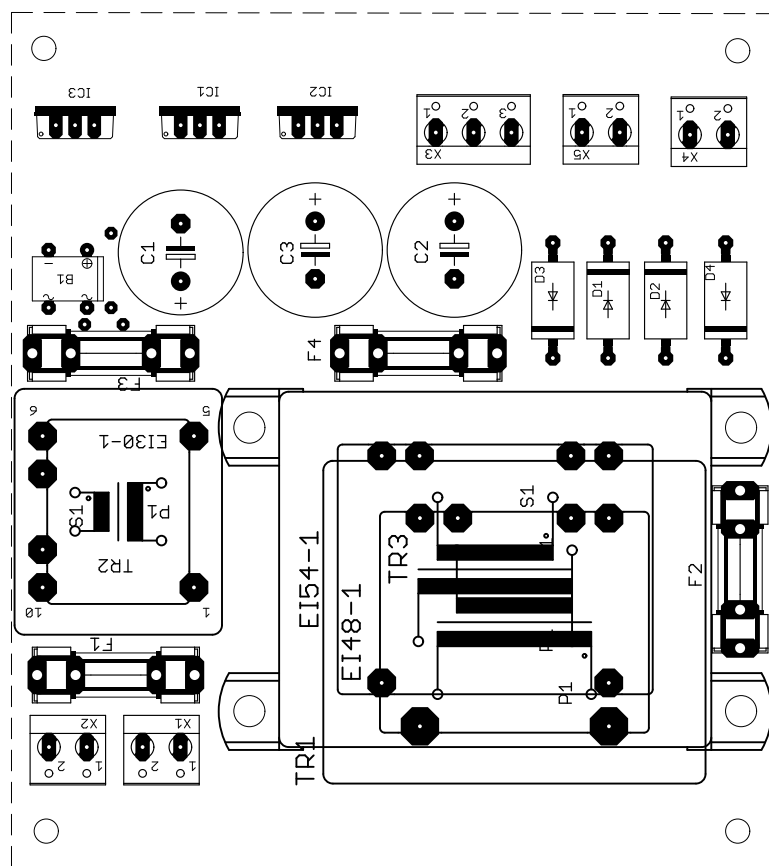


Obr. C.4: Řídící panel - osazovací předloha top

C.3 Zdroj

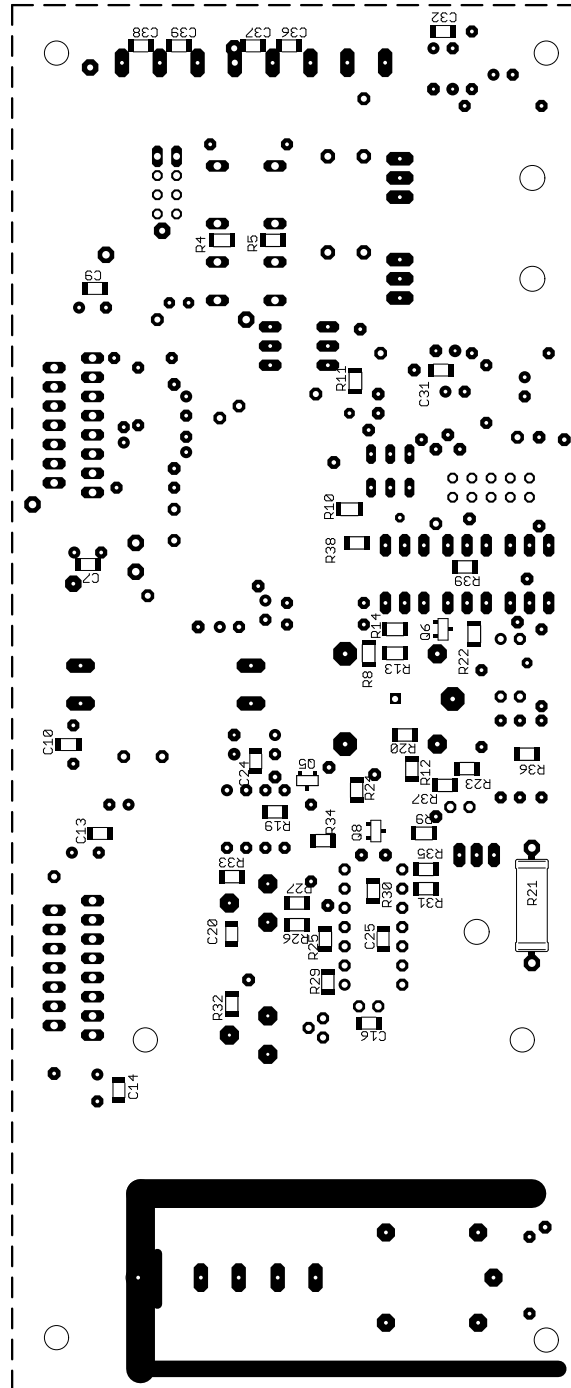


Obr. C.5: Napájecí zdroj - osazovací předloha bottom

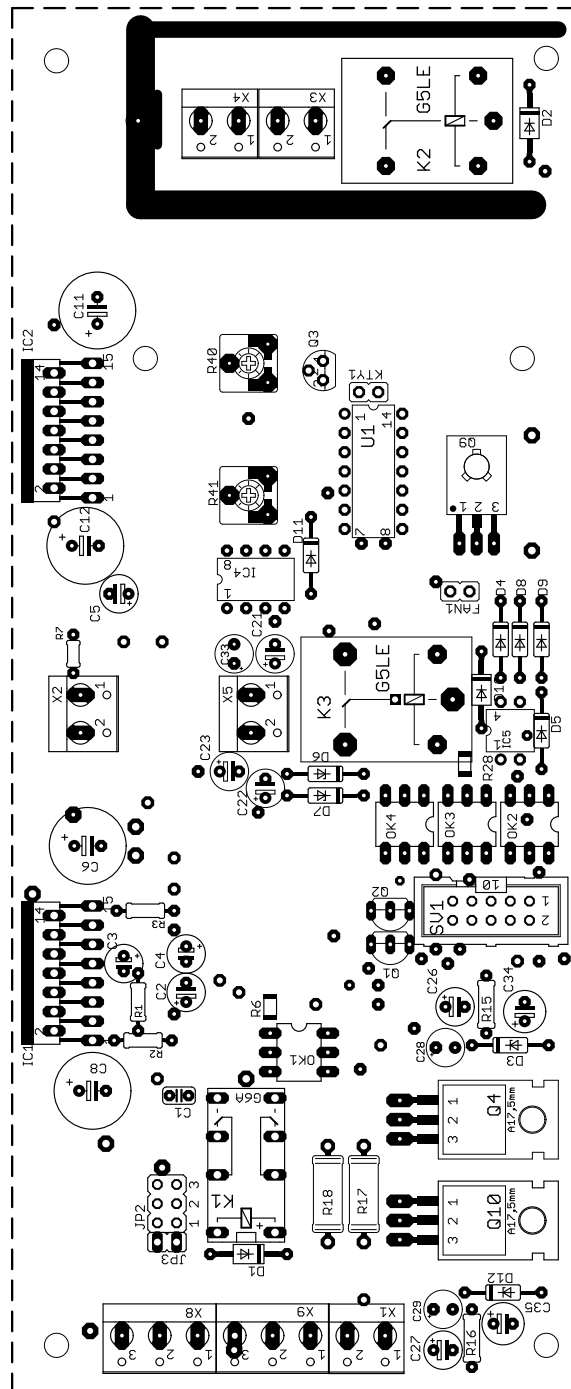


Obr. C.6: Napájecí zdroj - osazovací předloha top

C.4 Koncový zesilovač



Obr. C.7: Koncový zesilovač - osazovací předloha bottom



Obr. C.8: Koncový zesilovač - osazovací předloha top

NZD....

Nestabilizovaný zdroj symetrického napětí



TECHNICKÉ ÚDAJE

(viz schéma zapojení)

typ	U_{Omax}	U_{Imax}	I_{Omax}	D_1-D_4	D_5, D_7	C_5, C_6 (C_7, C_8)	pojistka P_{O1}	R_1, R_2
NZD3A25	$\pm 23V$	17V	3A	P600B	● / 10V	2 x 4m7	T5A	470R
NZD4A35	$\pm 32V$	24V	4A	P600B	■ / 15V	2 x 4m7	T6.3A	680R
NZD8A45	$\pm 45V$	35V	8A	P600K	■ / 20V	2 x 4m7	T10A	1k5/1W

C_1 až C_4 - TK 100n, 1 x - 0R, D_6, D_8 - LED Ø5mm červená, FASTON
6,3 x 0,8 9ks, držák pojistky DP01 4ks, plošný spoj EZK 301

- Zenerova dioda BZX55 - 0.5W
- Zenerova dioda BZX85 - 1.3W

VARIANTY PŘEVEDENÍ

	SX - stavebnice	HX - oživený modul
NZD3A25	typ. č. 306	typ. č. 308
NZD4A35	typ. č. 314	typ. č. 316
NZD8A45	typ. č. 326	typ. č. 327

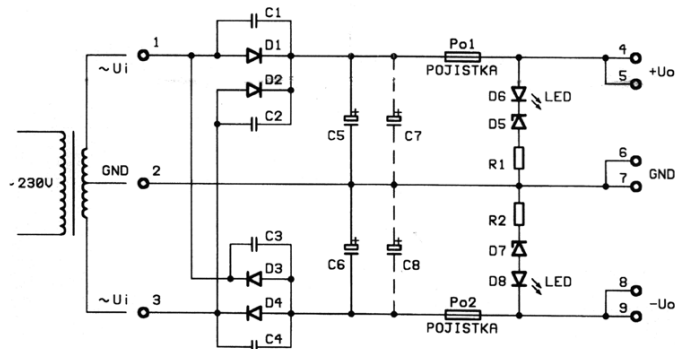
A) Popis vývodů zdroje

- vstup U_i
- GND vstupu
- vstup U_i
- 5 kladné výstupní napětí $+U_o$
- 6, 7 GND výstup
- 8, 9 záporné výstupní napětí $-U_o$

B) Postup při osazování plošného spoje, kontrola funkce

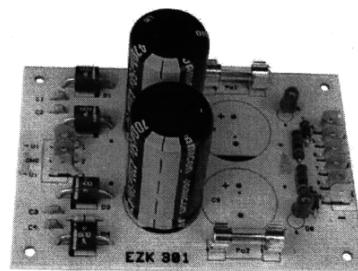
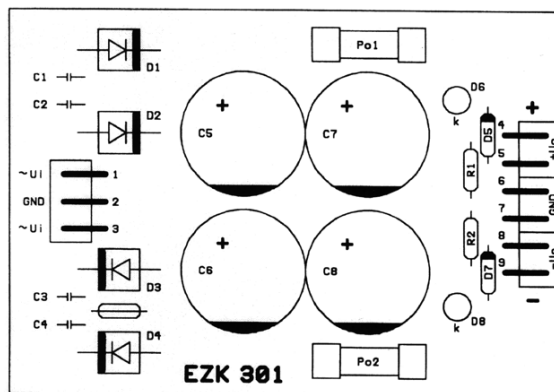
Plošný spoj osadte součástkami dle přiložené dokumentace. Všechny součástky osazujte s co nejkratšími vývody (s výjimkou diod LED). Před připojením zdroje k symetrickému transformátoru (svorky 1, 2, 3) pečlivě zkontrolujte polaritu diod a elektrolytických kondenzátorů. **Při aplikaci zdroje nesmí dojít k překročení jmenovitého napětí použitých elektrolytických kondenzátorů (při zapojení bez zátěže!!!) a k dlouhodobému překračování maximálního zatěžovacího proudu.**

Schéma zapojení NZD...



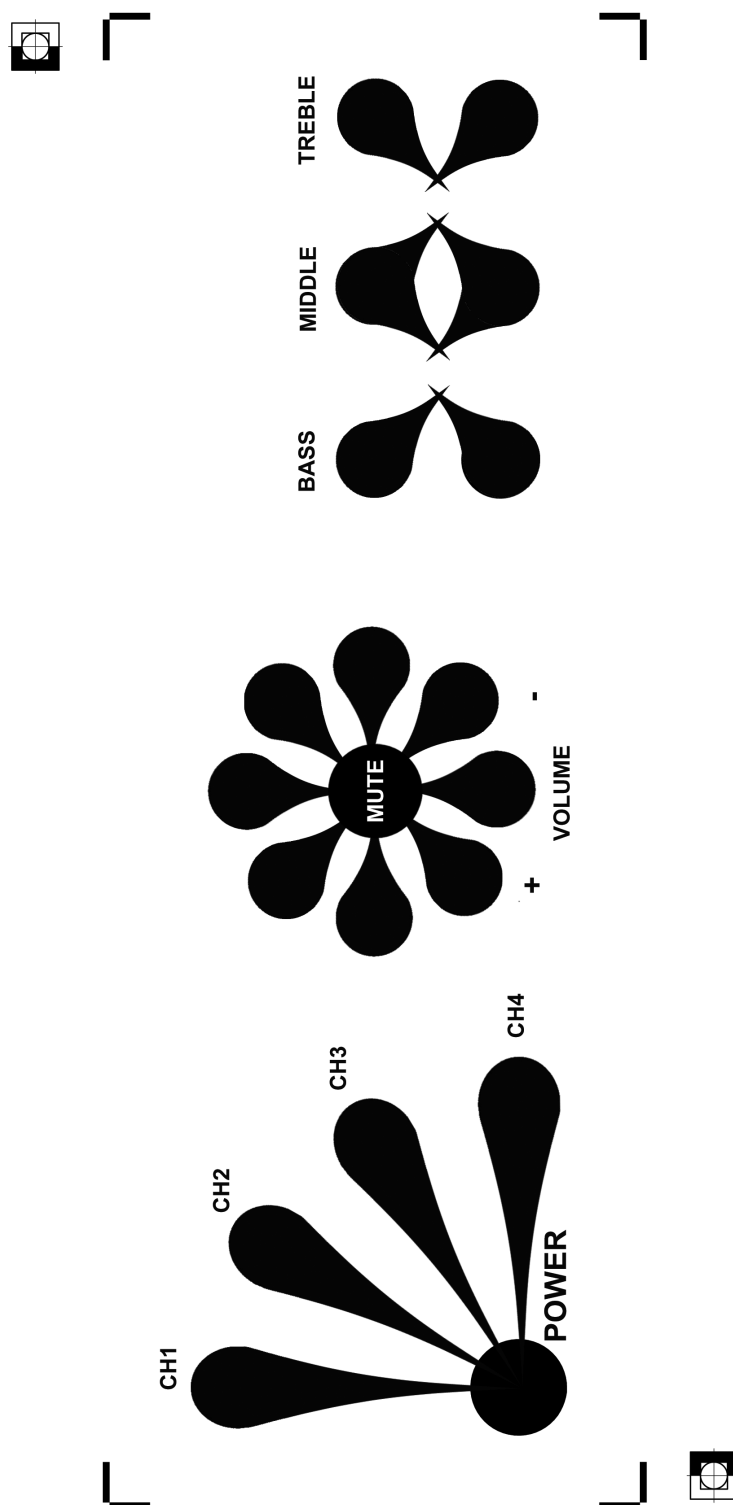
Rozmístění součástek na plošném spoji

NZD...HX



Obr. C.9: Katalogový list usměrňovače EZK301

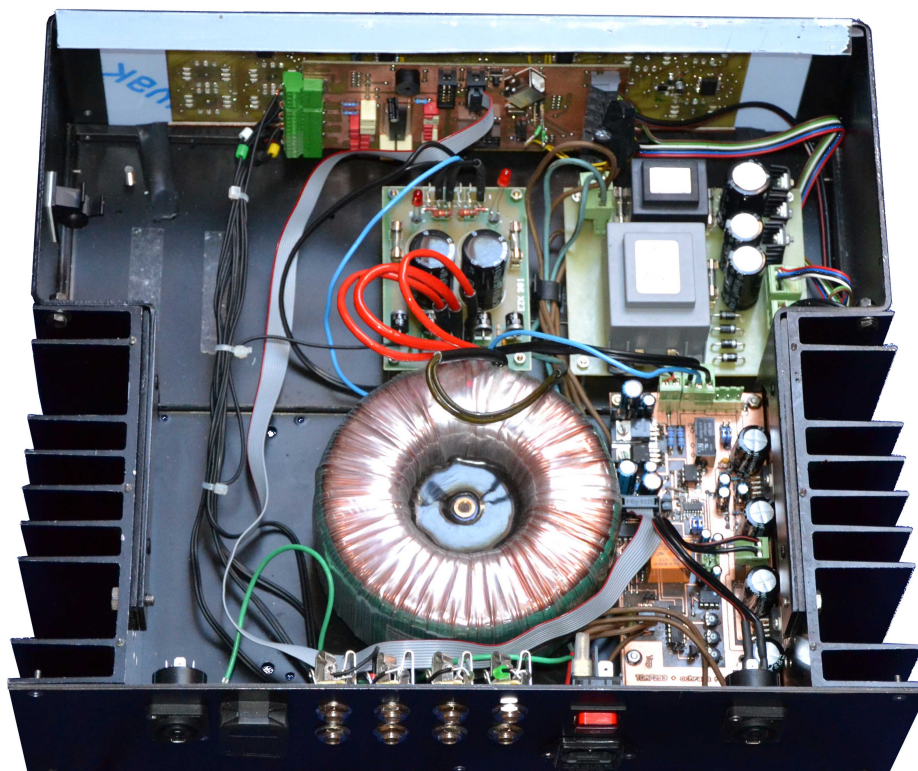
C.5 Ostatní obrazová příloha



Obr. C.10: Krycí maska ovládacího panelu s popisy funkcí jednotlivých tlačítek (scale = 0.7)



Obr. C.11: Zobrazení celého zařízení



Obr. C.12: Pohled na vnitřní zapojení zařízení

D SOUPISKA SOUČÁSTEK

D.1 Ovládací panel

No.	Name	Value	Package
1	C1	1uF	E1,8-4_BIG_PAD
2	C2	1uF	E1,8-4_BIG_PAD
3	C3	1uF	E1,8-4_BIG_PAD
4	C4	100n	C0805
5	C5	100n	C0805
6	C6	100n	C0805
7	C7	100n	C0805
8	C8	100n	C0805
9	D1	1N4007SMD	MELF-0207
10	D2	1N4007SMD	MELF-0207
11	D3	1N4007SMD	MELF-0207
12	D7	1N4148SOD80	SOD80C
13	D8	1N4148SOD80	SOD80C
14	D9	1N4148SOD80	SOD80C
15	IC1	MPR083SMD	TSSOP
16	IC2	MPR084SMD	TSSOP
17	IC3	MPR084SMD	TSSOP
18	IC4	TPIC6B595	SO20W
19	IC5	TPIC6B595	SO20W
20	IC6	TPIC6B595	SO20W
21	IC7	TPIC6B595	SO20W
22	IC8	TPIC6B595	SO20W
23	JP1	jumper	JP3Q_BIG
24	JP2	jumper	JP3Q_BIG
25	PAD1	PAD_ROT2	PAD_ROT2
26	PAD2	HIGH	PAD_DUAL
27	PAD3	LOW	PAD_DUAL
28	PAD4	BALANCE	PAD_DUAL
29	PAD5	CH1	PAD_ONE
30	PAD6	CH2	PAD_ONE
31	PAD7	CH3	PAD_ONE
32	PAD8	CH4	PAD_ONE

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
33	PAD9	STANBY	PAD_ONE
34	R1	4k7	M0805
35	R2	4k7	M0805
36	R3	390R	M0805
37	R4	390R	M0805
38	R5	390R	M0805
39	R6	390R	M0805
40	R7	390R	M0805
41	R8	390R	M0805
42	R9	390R	M0805
43	R10	390R	M0805
44	R11	390R	M0805
45	R12	390R	M0805
46	R13	390R	M0805
47	R14	390R	M0805
48	R15	390R	M0805
49	R16	390R	M0805
50	R17	390R	M0805
51	R18	390R	M0805
52	R19	390R	M0805
53	R20	390R	M0805
54	R21	390R	M0805
55	R22	390R	M0805
56	R23	390R	M0805
57	R24	500K	CA6V_BIG_PAD
58	R25	500K	CA6V_BIG_PAD
59	R26	500K	CA6V_BIG_PAD
60	R27	500K	CA6V_BIG_PAD
61	R28	500K	CA6V_BIG_PAD
62	R29	500K	CA6V_BIG_PAD
63	R30	500K	CA6V_BIG_PAD
64	R31	500K	CA6V_BIG_PAD
65	R32	500K	CA6V_BIG_PAD
66	R33	56R	M0805
67	R37	56R	M0805
68	R41	56R	M0805

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
69	R45	56R	M0805
70	R49	56R	M0805
71	R53	56R	M0805
72	R57	56R	M0805
73	R61	56R	M0805
74	R65	56R	M0805
75	R72	33R	R0805
76	R74	33R	R0805
77	R78	75R	R0805
78	R80	75R	R0805
79	R83	33R	R0805
80	R86	33R	R0805
81	R89	75R	R0805
82	R91	75R	R1206
83	R93	4k7	M0805
84	R97	56R	M0805
85	R99	130R	M0805
86	R100	500K	CA6V_BIG_PAD
87	R101	500K	CA6V_BIG_PAD
88	R102	500K	CA6V_BIG_PAD
89	R103	500K	CA6V_BIG_PAD
90	R104	500K	CA6V_BIG_PAD
91	R105	500K	CA6V_BIG_PAD
92	R106	500K	CA6V_BIG_PAD
93	R107	500K	CA6V_BIG_PAD
94	R108	500K	CA6V_BIG_PAD
95	R109	500K	CA6V_BIG_PAD
96	R110	500K	CA6V_BIG_PAD
97	SV1	jumper	ML10_BIG_PAD
98	SV2	jumper	ML10_BIG_PAD
99	U\$9	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1-16
100	U\$10	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1-16
101	U\$11	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1-16

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
102	U\$12	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1-16
103	U\$13	n.a.	ANGLE-ARROW- SW1-16
104	U\$14	n.a.	ANGLE-ARROW- SW1-16

Tab. D.1: Soupis součástek - ovládací panel

D.2 Řídící panel

No.	Name	Value	Package
1	5VA	ARK2500V	W237-102
2	5VB	ARK2500V	W237-102
3	6VA	ARK2500V	W237-102
4	6VB	ARK2500V	W237-102
5	12-9VA	ARK2500V	W237-103
6	12-9VB	ARK2500V	W237-103
7	C1	18p	C1206
8	C2	18p	C1206
9	C3	100n	C0805
10	C4	100n	C0805
11	C5	470N/50	C025-050X050
12	C6	470N/50	C025-050X050
13	C7	470N/50	C025-050X050
14	C8	470N/50	C025-050X050
15	C9	470N/50	C025-050X050
16	C10	470N/50	C025-050X050
17	C11	470N/50	C025-050X050
18	C12	470N/50	C025-050X050
19	C13	2M2	C050-075X075
20	C14	2M2	C050-075X075
21	C15	2M2/50	C050-075X075
22	C16	2M2/50	C050-075X075
23	C17	6n8/100	C025-025X050
24	C18	15n/100	C050-025X075
25	C19	22n/100	C050-025X075

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
26	C20	100n/63	C025-030X050
27	C21	100n/63	C025-030X050
28	C22	100n/63	C025-030X050
29	C23	100n/63	C025-030X050
30	C24	22n/100	C025-025X050
31	C25	15n/100	C050-025X075
32	C26	6.8n/100	C050-025X075
33	C27	10u/25	E2,5-5
34	C31	100n	C0805
35	D1	1N4148SOD80	SOD80C
36	D2	1N4007SMD	MELF-0207
37	IC1	MEGA16-A	TQFP44
38	IC2	TDA7439	SDIP30
39	INPUTS	ARK1550H-12	ARK1550H-12
40	JP2	jumper	JP2
41	JP3	jumper	JP3Q
42	JP4	jumper	JP3Q
43	JP5	jumper	JP3Q_BIG
44	JTAG	harting 10	ML10
45	LED1	green_TX	CHIPLED_1206
46	LED2	red_RX	CHIPLED_1206
47	OUTPUT	ARK1550H-4	ARK1550H-4
48	Q1	12Mhz	HC49U-V
49	R1	4K7	M0805
50	R2	270R	M0805
51	R3	270R	M0805
52	R4	2k2	0207/7
53	R5	2k2	0204/7
54	R6	2k7	M1206
55	R7	5k6	M1206
56	R8	5k6	M1206
57	R9	2k7	M1206
58	R10	0R	0207/7
59	REP2	KPE242	KPE242
60	S1	TM050	B3F-10XX
61	SPI_I2C ...	harting 10	ML10

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
62	SV1	jumper	ML10
63	SV2	jumper	ML10
64	U\$1	n.a.	ANGLE-ARROW-SW1-16
65	U\$2	n.a.	ANGLE-ARROW-SW1-16
66	U\$3	n.a.	ANGLE-ARROW-SW1-16
67	U\$4	n.a.	ANGLE-ARROW-SW1-16
68	U1	FT232RL	SSOP28DB
69	USB1	USB-B-H	USB-B-H
70	ZES_1	harting 10	ML10
71	ZES_2	harting 10	ML10

Tab. D.2: Soupis součástek - řídicí panel

D.3 Zdroj

No.	Name	Value	Package
1	B1	B250D	B-DIL
2	C1	3300u	E7,5-16
3	C2	10000u	E7,5-18
4	C3	10000u	E7,5-18
5	C4	100n	C0805
6	C5	100n	C0805
7	C6	100n	C0805
8	C7	100n	C0805
9	C8	100n	C0805
10	C9	100n	C0805
11	C10	100n	C0805
12	C11	100n	C0805
13	C12	0.33u	C0805
14	C13	0.1u	C0805
15	C14	0.33u	C0805
16	C15	0.1u	C0805
17	C16	0.33u	C0805

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
18	C17	0.1u	C0805
19	D1	1N5400	DO201-15
20	D2	1N5400	DO201-15
21	D3	1N5400	DO201-15
22	D4	1N5400	DO201-15
23	F1	15mA	SHK20L
24	F2	50/70mA	SHK20L
25	F3	200mA	SHK20L
26	F4	1,7/2,7A	SHK20L
27	IC1	7809V	TO220V
28	IC2	7805V	TO220V
29	IC3	7812V	TO220V
30	TR1	TSZZ10/6V	EI48-1
31	TR2	TSZZ3/15V	EI30-1
32	TR3	TSZZ16/6V	EI54-1B
33	U\$1	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1
34	U\$2	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1
35	U\$3	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1
36	U\$4	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1
37	X1	ARK2500V	W237-102
38	X2	ARK2500V	W237-102
39	X3	n.a.	W237-103
40	X4	ARK2500V	W237-102
41	X5	ARK2500V	W237-102

Tab. D.3: Soupis součástek - napájecí zdroj

D.4 Koncový zesilovač

No.	Name	Value	Package
1	C1	470n	C025-024X044
2	C2	22u	E2,5-5
3	C3	10u	E2-5

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
4	C4	10u	E2-5
5	C5	47u	E2,5-5
6	C6	1000u/100V	E3,5-10
7	C7	100n	C1206
8	C8	1000u/100V	E3,5-10
9	C9	100n	C1206
10	C10	100n	C1206
11	C11	1000u/100V	E3,5-10
12	C12	1000u/100V	E3,5-10
13	C13	100n	C1206
14	C14	100n	C1206
15	C16	100n	C1206
16	C20	100n	C1206
17	C21	100M/16V	E2,5-5
18	C22	100M	E2,5-5
19	C23	100M	E2,5-5
20	C24	10n	C1206
21	C25	100n	C1206
22	C26	47u/25V	E2,5-5
23	C27	47u/25V	E2,5-5
24	C28	22u/100V	E2,5-5A
25	C29	22u/100V	E2,5-5A
26	C31	100n	C1206
27	C32	100n	C1206
28	C33	100M/16V	E2,5-5A
29	C34	100u/25V	E2,5-6
30	C35	100u/25V	E2,5-6
31	C36	100n	C1206
32	C37	100n	C1206
33	C38	100n	C1206
34	C39	100n	C1206
35	D1	1N4004	DO41-10
36	D2	1N4004	DO41-10
37	D3	16V	DO35Z10
38	D4	1N4148	DO35-10
39	D5	1N4148	DO35-10

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
40	D6	5V1	DO35Z10
41	D7	5V1	DO35Z10
42	D8	1N4148	DO35-10
43	D9	1N4148	DO35-10
44	D10	1N4004	DO41-10
45	D11	1N4148	DO35-10
46	D12	16V	DO35Z10
47	FAN1	jumper	JP1
48	IC1	TDA7293V	MULTIWATT15V
49	IC2	TDA7293V	MULTIWATT15V
50	IC4	555	DIL08
51	IC5	PC814	DIL04
52	JP2	jumper	JP3Q
53	JP3	junper	JP1
54	K1	M4-12H	G6A-234P
55	K2	H500SD12	G5LE
56	K3	LE 12FW	G5L
57	KTY1	jumper	JP1
58	OK1	CNX82A	DIL06
59	OK2	CNX82A	DIL06
60	OK3	CNX82A	DIL06
61	OK4	CNX82A	DIL06
62	Q1	BC337	TO92-EBC
63	Q2	BC337	TO92-EBC
64	Q3	BC327	TO92
65	Q4	BD239C	TO220
66	Q5	BC847SMD	SOT23
67	Q6	BC817-40SMD	SOT23-BEC
68	Q8	BC856BSMD	SOT23-BEC
69	Q9	BD139	TO126
70	Q10	BD240C	TO220
71	R1	22k	0204/7
72	R2	680	0204/7
73	R3	22k	0204/7
74	R4	10k	M1206
75	R5	10k	R1206

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
76	R6	1.2K	M1206
77	R7	2R	0204/5
78	R8	10k	M1206
79	R9	1k2	M1206
80	R10	3k3	M1206
81	R11	3k3	M1206
82	R12	33k	R1206
83	R13	10k	M1206
84	R14	1k2	M1206
85	R15	4K7	0207/7
86	R16	4k7	0207/7
87	R17	270R	0411/12
88	R18	270R	0411/12
89	R19	3k3	R1206
90	R20	36R	R1206
91	R21	12R	0414/15
92	R22	4k7	M1206
93	R23	4k7	R1206
94	R24	100R	R1206
95	R25	12k	R1206
96	R26	12k	R1206
97	R27	M1	R1206
98	R28	8k2	R1206
99	R29	12k	R1206
100	R30	10k	R1206
101	R31	M1	R1206
102	R32	1k5	R1206
103	R33	1k5	R1206
104	R34	3k3	R1206
105	R35	1k	R1206
106	R36	5k7	R1206
107	R37	1k	R1206
108	R38	1k	R1206
109	R39	1k	R1206
110	R40	1k	CA6V
111	R41	500R	CA6V

Continue on next page

No.	Name	Value	Package
112	SV1	harting 10	ML10
113	U\$1	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1-16
114	U\$2	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1-16
115	U\$3	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1-16
116	U\$4	n.a.	ANGLE-ARROW- NW1-16
117	U1	TL074	DIL14
118	X1	ARK2500V/2	W237-102
119	X2	ARK2500V/2	W237-102
120	X3	ARK2500V/2	W237-102
121	X4	ARK2500V/2	W237-102
122	X5	ARK2500V/2	W237-102
123	X8	ARK2500V/3	W237-103
124	X9	ARK2500V/3	W237-103

Tab. D.4: Soupis součástek - koncový zesilovač