

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

DIGITÁLNĚ ŘÍZENÝ NAPÁJECÍ ZDROJ

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

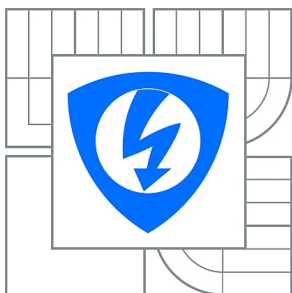
Bc. DANIEL KOCIÁN

BRNO 2010



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

DIGITÁLNĚ ŘÍZENÝ NAPÁJECÍ ZDROJ

DIGITAL CONTROLLED POWER SUPPLY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. DANIEL KOCIÁN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ROMAN ŠOTNER

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Daniel Kocián

ID: 78170

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Digitálně řízený napájecí zdroj

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Studiem doporučené literatury a dalších informačních pramenů se seznámte s principem napájecích laboratorních zdrojů s možností digitální regulace výstupního napětí (s mikroprocesorem, dig. potenciometry, D/A převodníky, či jinak). Zaměřte se na co nejjednodušší zapojení.

Navrhněte digitálně řízený laboratorní zdroj 0 - 30 V s výstupním proudem min. 2 A a digitálně nastavitelnou proudovou pojistkou, případně s možností komunikace s PC. Vytvořte ovládací software. Aktivní bloky vybírejte tak, aby byly k dispozici jako makromodely v knihovně OrCAD a proveďte počítačovou analýzu.

Navrhněte vlastní desku plošného spoje, osadte a oživte obvod. Měřením ověřte vlastnosti zdroje a porovnejte je s výsledky simulací.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA, M. Napájení elektronických zařízení. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.

[2] VRBA, K., HERMAN, I., KUBÁNEK, D. Konstrukce elektronických zařízení. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 21.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Roman Šotner

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Daniel Kocián
Bytem: Vinařického 417, Písek, 39701
Narozen/a (datum a místo): 17. července v Písku

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

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

Čl. 1

Specifikace školního díla

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

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

Název VŠKP: Digitálně řízený napájecí zdroj

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Roman Šotner

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2

☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

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

Článek 3

Závěrečná ustanovení

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

V Brně dne: 21. května 2010

.....

Nabyvatel

.....

Autor

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací digitálně řízeného napájecího zdroje. V úvodu je popsán základní princip a rozdělení napájecích zdrojů. Dále jsou přiblíženy dva návrhy zdrojů, které budou digitálně řízené. První z nich bude řízen pomocí D/A převodníku a druhý digitálními potenciometry. Následně je v diplomové práci navržena řídicí část, která ovládá výstupní parametry zdroje. Jádrem řídicí části je mikrokontrolér ATmega16. Pro kontrolu a nastavení výstupních parametrů je k mikrokontroléru připojen LCD displej a 4x4 maticová klávesnice. Dále je navrženo propojení mikrokontroléru s PC pomocí převodníku FT232BM. Následně je navrženo usměrňovač s filtrem a elektronické spínání ventilátoru. Na konci práce je vyřešeno umístění jednotlivých částí do konstrukční krabičky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Laboratorní napájecí zdroj, digitální řízení, D/A převodník, digitální potenciometry.

ABSTRACT

This master's thesis is about design and realization of a digital controlled power supply. In the introduction there is defined a basic principle and division of the power supplies. Furthermore, there are considered two design realisations of digital controlled power supplies. The first one will be controlled by D/A converter and the second one will be controlled by digital potentiometers. Consequently, there is in the master's thesis designed controlled part which controls output parameters of supply. The core of the controlled part is microcontroller ATmega16. Output parameters are displayed on LCD display and are set by 4x4 matrix keypad. In the last part there is designed connection between PC and microcontroller by the help of converter FT232BM. Subsequently, there is designed the rectifier with a filter and electronic switching of the fan. At the end of the thesis is resolved the placement of the various component parts to the component box.

KEYWORDS

Laboratorial power supply, digital controlled, D/A converter, digital potentiometers.

Bibliografická citace

KOCIÁN, D. *Digitálně řízený napájecí zdroj* . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 71 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Roman Šotner.

Prohlášení

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma Digitálně řízený napájecí zdroj jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu 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 21. května 2010

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu Ing. Romanu Šotnerovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 21. května 2010

.....
podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	x
Úvod	1
1 Úvod do napájecích zdrojů	2
2 Návrh napájecích zdrojů	4
2.1 První varianta zdroje s využitím D/A převodníku [4]	5
2.1.1 Popis schéma zapojení	5
2.1.2 D/A převodník	6
2.1.3 Zesilovač napětí a proudu	6
2.1.4 Počítačová analýza zesilovače napětí	8
2.1.5 Návrh celkového zapojení zdroje	9
2.1.6 Výsledky měření	11
2.2 Druhá varianta zdroje s využitím digitálních potenciometrů.....	12
2.2.1 Popis schéma zapojení	12
2.2.2 Počítačové simulace laboratorního zdroje	12
2.2.3 Návrh celkového zapojení zdroje	14
2.2.4 Výsledky měření	16
3 Řídící část	18
3.1 Parametry mikrokontroléru ATmega16.....	18
3.2 Maticová klávesnice	19
3.3 Digitální potenciometry [9]	19
3.3.1 Sériový kanál SPI [7].....	21
3.4 LCD displej.....	23
3.4.1 Popis komunikace	23
3.5 Propojení mikrokontroléru s PC	24
3.5.1 Ovládací program	26
3.6 Ovládací program pro mikrokontrolér	28
4 Další komponenty zdroje a konstrukční krabice	30
4.1 Návrh usměrňovače a filtru.....	30

4.2	Elektronicky spínaný ventilátor [13]	31
4.3	Konstrukční krabička.....	32
5	Závěr	36
	Literatura	38
	Seznam příloh	39

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Rozlišení signálových svorek a svorek napájení.	2
Obr. 2:	Blokové schéma elektronického napájecího zdroje.....	2
Obr. 3:	Blokové schéma elektronicky laditelného laboratorního zdroje.....	4
Obr. 4:	Zjednodušené zapojení zdroje s D/A převodníkem (převzato z [4]).	5
Obr. 5:	Jednoduchý 3bitový R - 2R D/A převodník (převzato z [4]).....	6
Obr. 6:	Zesilovač napětí a proudu (převzato z [4]).	7
Obr. 7:	Závislost velikosti výstupního napětí na velikosti vstupního napětí v čase... 9	
Obr. 8:	Celkové zapojení zdroje s využitím D/A převodníkem.	10
Obr. 9:	Výkonová zatěžovací charakteristika zdroje	11
Obr. 10:	Zapojení zdroje s digitálními potenciometry (převzato z [3]).	12
Obr. 11:	Závislost výstupního napětí laboratorního zdroje na poloze jezdce potenciometru P_1 v čase.	13
Obr. 12:	Graf výstupního napětí a napětí na LED diodě (LED2) při zkratovaném výstupu zdroje.	13
Obr. 13:	Výkonové charakteristiky zdroje	14
Obr. 14:	Celkové zapojení s využitím digitálních potenciometrů.....	15
Obr. 15:	Výkonová zatěžovací charakteristika zdroje pro 5V	16
Obr. 16:	Výkonová zatěžovací charakteristika zdroje pro 15V	17
Obr. 17:	Výkonová zatěžovací charakteristika zdroje pro 20V	17
Obr. 18:	Blokové schéma řídicí části	18
Obr. 19:	Blokové schéma digitálního potenciometru (převzato z [5]).....	19
Obr. 20:	Propojení master-slave na sběrnici SPI (převzato z [7]).	21
Obr. 21:	Formát SPI přenosu pro CPHA = 0 (převzato z [7]).	22
Obr. 22:	Formát SPI přenosu pro CPHA = 1 (převzato z [7]).	22
Obr. 23:	Katalogové zapojení FT232BM (převzato z [8]).	25
Obr. 24:	Vývojový diagram programu ve vývojovém prostředí C++ Builder.....	26
Obr. 25:	Grafického rozhraní pro ovládání zdroje	27
Obr. 26:	Vývojový diagram pro ovládací program mikrokontroléru.....	29
Obr. 27:	Schéma zapojení usměrňovače s filtrem.....	31
Obr. 28:	Schéma zapojení elektronického spínání ventilátoru (převzato z [13]).....	32

Obr. 29:	Přední panel konstrukční krabičky.....	32
Obr. 30	LCD displej (1. Nastavené výstupní napětí zdroje, 2. Okamžité měřené výstupní napětí zdroje, 3. Nastavená hodnota proudové pojistky, 4. Okamžitý měřený odebíraný proud zátěží).....	33
Obr. 31:	Zadní panel konstrukční krabičky.....	33
Obr. 32:	Blokové schéma celkového sestavení zdroje.....	34
Obr. 33:	Vnitřní uspořádání konstrukční krabičky.....	34

SEZNAM TABULEK

Tab. 1:	Obsazení vývodů displeje ATM1602B.....	24
---------	--	----

ÚVOD

Cílem této diplomové práce je navrhnout digitálně řízený laboratorní zdroj s digitálně řízenou proudovou pojistkou, komunikaci s PC a ovládací software.

Po prostudování literatury jsem vybral pro digitální regulaci výstupního napětí a proudu dvě možnosti a to digitální potenciometry a D/A převodník. U obou variant bylo vytvořeno schéma zapojení a jeho funkčnost a správná volba hodnot součástek ověřena simulací v programu OrCAD Pspice.

Následovně byli pro obě varianty vytvořeny desky plošného spoje a ovládací software pro mikrokontrolér, jenž je jádrem řídicí části. Zdroje byli osazeny a úspěšně oživeny. Měřením byla otestována jejich funkčnost. K mikrokontroléru jsou připojeny další periferie. Těmito periferiemi jsou LCD displej, 4x4 maticová klávesnice a USB rozhraní.

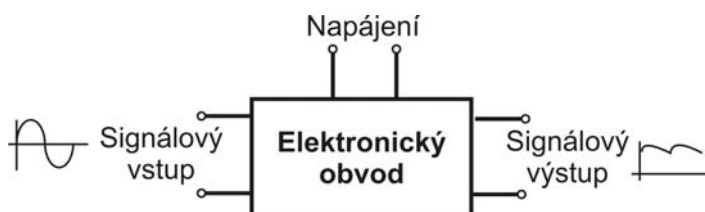
Pomocí USB rozhraní probíhá komunikace mikrokontroléru s PC. Jádrem této periferie je převodník FT232BM (převodník USB → UART). V programu C++ Builder byl vytvořen program, jímž se dají řídit výstupní parametry fyzického zdroje pomocí počítače.

Na konci práce je návrh konstrukční krabičky do které je zdroj s digitálními potenciometry umístěn.

1 ÚVOD DO NAPÁJECÍCH ZDROJŮ

Většina elektrických a elektronických zařízení v dnešní době vyžaduje napájení, aby mohla pracovat. Úkolem napájecích zdrojů je vytvořit požadované napětí, nebo proud potřebný k činnosti elektrického systému.

Musíme rozlišovat vstupní a výstupní svorky od signálového vstupu a výstupu (viz. obr. 1).



Obr. 1: Rozlišení signálových svorek a svorek napájení.

Základní rozdělení napájecích zdrojů:

a) Podle typu dodávaného výkonu:

- zdroje stejnosměrných napětí a proudů,
- zdroje střídavých napětí a proudů.

b) Podle základního fyzikálního principu činnosti:

- elektrochemické (primární a sekundární suché články),
- elektromechanické (generátory, dynama, alternátory),
- zdroje využívající elektrickou rozvodnou síť (elektronické),
- jiné.

c) Podle povahy vnitřních dějů:

- zdroje neregulované,
- zdroje regulované (se spojitou či nespojitou regulací).

V praxi se často setkáváme se zařízeními vyžadující vyšší výkony napájecích zdrojů a u těchto zdrojů se využívá zpravidla jen zdrojů napětí.

Na obr. 2 je znázorněné blokové schéma elektronického napájecího zdroje.



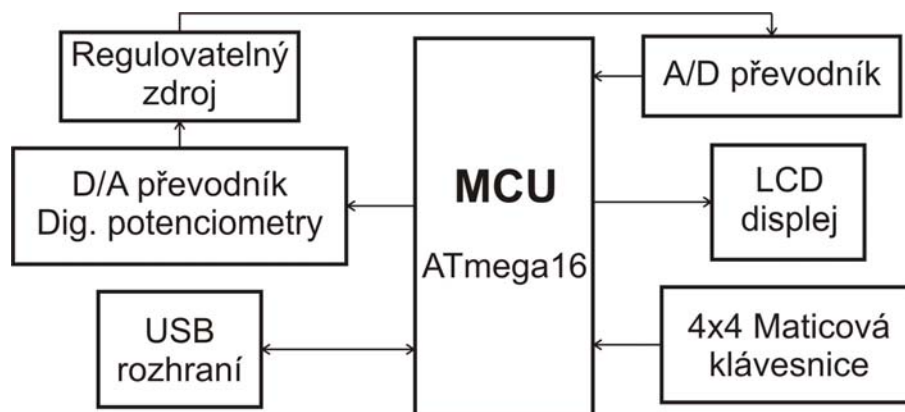
Obr. 2: Blokové schéma elektronického napájecího zdroje

Síťový transformátor mění hodnotu amplitudy harmonického napětí a galvanicky odděluje další obvody zdroje od síťového napětí. Usměrnovač mění střídavé napětí na jeho vstupu na napětí jedné polarity. V praxi toto napětí bývá zvlněné. Potlačit toto zvlnění a zajištění stability výstupního napětí či proudu má na starosti filtr a stabilizátor. Když se na tento děj podíváme z hlediska spektra signálu, tak vlastně přeměňujeme jednu harmonickou složku síťového napětí na stejnosměrnou složku. Jedná se tedy o transformaci energie ve spektru, která je způsobena nelineárním či parametrickým obvodem.

2 NÁVRH NAPÁJECÍCH ZDROJŮ

Smyslem této diplomové práce je vytvořit digitálně řízený laboratorní napájecí zdroj. Po prostudování materiálů a možností elektronické regulace výstupního napětí jsem se rozhodl vytvořit dvě varianty. Nyní můžeme přejít k samotnému návrhu obou variant.

Zjednodušené blokové schéma digitálně řízeného zdroje je uvedeno na obr. 3.



Obr. 3: Blokové schéma elektronicky laditelného laboratorního zdroje

Jádrem takového zdroje je mikrokontrolér, který řídí jednotlivé periferie. K nastavování velikosti výstupního napětí a proudové pojistky slouží maticová klávesnice. Pro kontrolu stisknutých kláves a aktuální změřené výstupní parametry zdroje jsou zobrazovány na LCD displeji. K mikrokontroléru je dále připojeno USB rozhraní, jehož jádrem je obvod FT232BL (převodník USB <--> USART).

K řízení velikosti výstupních veličin zdroje bude využito dvou variant, jak už bylo řečeno. V první variantě bude výstupní napětí zdroje řízeno pomocí D/A převodníku a proudová pojistka se bude řídit pouze softwarově.

V druhé variantě bude výstupní napětí i proudová pojistka řízena pomocí digitálních potenciometrů.

Tím, že budou obě varianty zkonstruovány, je možné udělat srovnání v mnoha vlastnostech. V obou variantách bude využito vnitřních A/D převodníků mikrokontroléru k měření výstupních parametrů zdroje. Hodnota výstupního napětí bude měřena přímo z děliče napětí a hodnota proudu z úbytku napětí na bočníku. Tím se dosti sníží náklady na celý zdroj.

V následujících kapitolách nejdříve objasníme zapojení obou variant zdrojů a následně budou přiblíženy další bloky podle obr. 3. U obou variant budou představeny desky plošných spojů. Pro variantu s digitálními potenciometry si přiblížíme také samotné umístění a návrh konstrukční krabičky. Na konci práce si přiblížíme ovládací software mikrokontroléru.

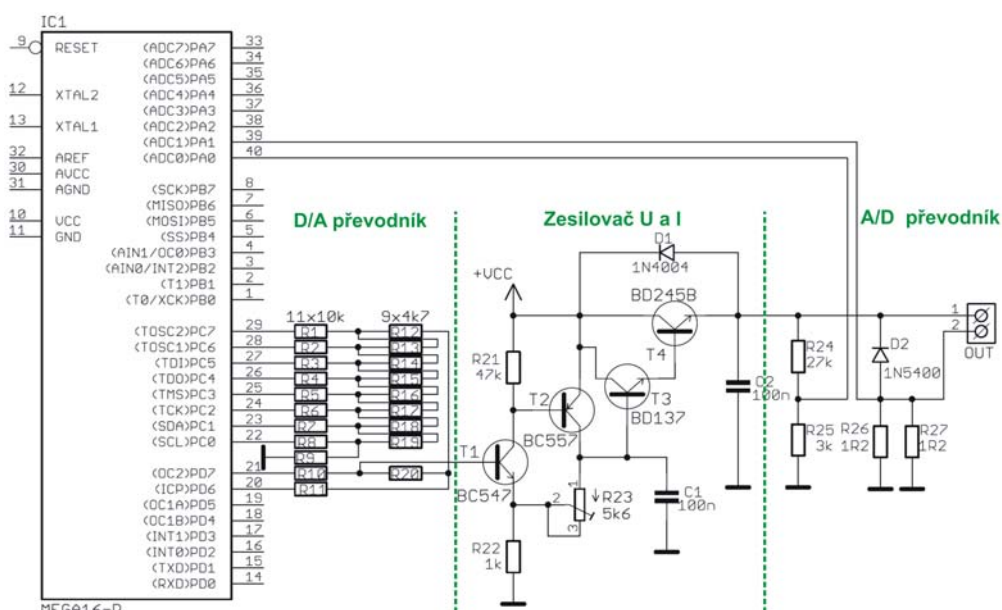
2.1 První varianta zdroje s využitím D/A převodníku [4]

Tento zdroj je navržen na maximální výstupní napětí 30 V a odebíraný proud 2 A.

2.1.1 Popis schéma zapojení

Zjednodušené zapojení, kde je pouze zdroj, je velice jednoduché, jak je patrné z obr. 4.

Celé zapojení si rozdělíme na tři části. První částí je D/A převodník, kterým řídíme napětí do báze tranzistoru T_1 , který spolu s tranzistorem T_2 tvoří zesilovač napětí. Zesilovač napětí zde musí být umístěn jelikož maximální výstupní napětí z A/D převodníku je 5 V (napětí na výstupním pinu mikrokontroléru) a my toto napětí musíme přibližně 6x zesílit.



Obr. 4: Zjednodušené zapojení zdroje s D/A převodníkem (převzato z [4]).

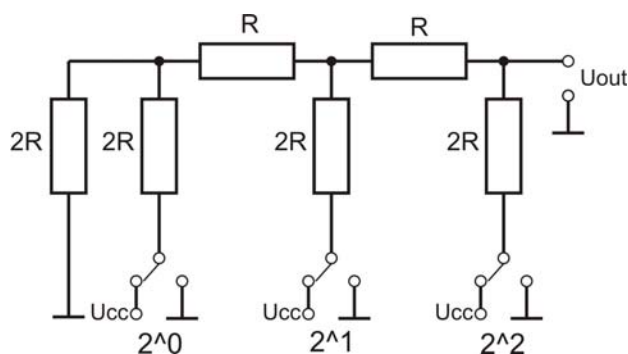
Jelikož z jednotlivých pinů mikrokontroléru nemůžeme získat dostatečný proud pro výkonový tranzistor T_4 (BD245B), je zde vytvořen zesilovač proudu v tzv. Darlingtonově zapojení spolu s tranzistorem T_3 .

Za výkonovým tranzistorem je umístěn dělič napětí, jenž zajišťuje, že při maximálním výstupním napětí 30V bude na pinu PA0, který je ve funkci vnitřního A/D převodníku napětí maximálně 3V. Na pin PA1, jenž je také ve funkci vnitřního A/D převodníku, je přiveden úbytek napětí, který se po připojení zátěže objeví na bočníku, jenž je tvořen paralelní kombinací odporů R_{26} a R_{27} .

Nyní přejdeme k podrobnému popisu některých částí.

2.1.2 D/A převodník

Jedná se o nejjednodušší D/A převodník s příčkovou strukturou odporové sítě ($R - 2R$). Tato síť odporů je zapojena mezi 10 pinů mikrokontroléru. Na obr. 5 je znázorněn jednoduchý 3bitový $R - 2R$ D/A převodník.



Obr. 5: Jednoduchý 3bitový $R - 2R$ D/A převodník (převzato z [4]).

Funkce převodníku je taková, že při připojení na napětí U_{cc} docílíme připojení určité váhy 2^0 , 2^1 nebo 2^2 na logickou „1“, zatímco připojením na zem logickou „0“. Připojení jednotlivých vah se dá kombinovat a tím docílíme určitého výstupního napětí převodníku. Pro výstupní napětí můžeme psát následující vztah

$$U_{out} = D \cdot \frac{U_{cc}}{D_{max} + 1}, \quad (2.1)$$

přičemž D je desítkový zápis dvojkového čísla.

V našem příkladu je rozlišení převodníku 3 bitové, to odpovídá rozsahu 0 až 7, tzn. napětí U_{cc} můžeme rozdělit celkem na 8 hodnot. Výstupní odpor celého zapojení je pak R .

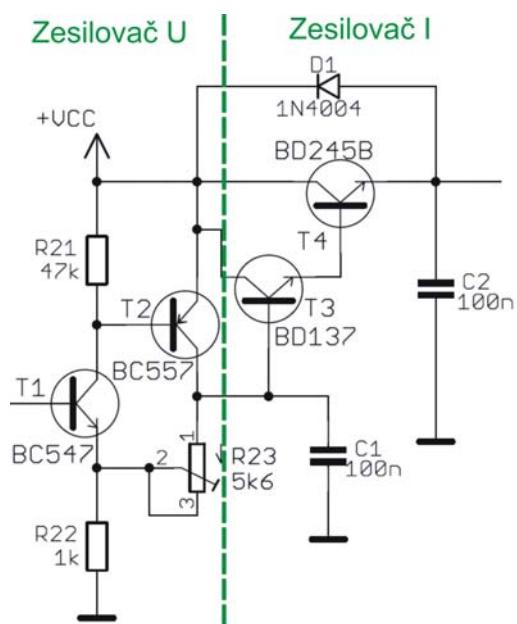
Jednotlivé prepínače nahradíme výstupními piny mikrokontroléru. Každý takto nastavený pin může poskytnout proud až 10 mA a napětí 0 nebo 5 V. V navrhnutém D/A převodníku využijeme příčkovou strukturou z odporů 5 k Ω a 10 k Ω . Tato hodnota odporů byla zvolena z důvodu, aby proud na jeden výstup nepřesahoval hodnotu 1 mA.

ATmega16 disponuje osmi 10bitovými vnitřními A/D převodníky. Tohoto potenciálu chceme zcela využít, a tak je potřeba také 10bitového D/A převodníku, tzn. využít 10 výstupních pinů mikrokontroléru.

2.1.3 Zesilovač napětí a proudu

Hlavním požadavkem na zesilovač napětí je, aby zesílení probíhalo od nuly do stabilního stavu. Tohoto bychom chtěli docílit bez jakýchkoliv zákmitů nebo napěťových špiček.

Po stanovení následujících požadavků jsem se rozhodl využít kombinaci PNP a NPN tranzistorů, jak je patrné na obr. 6.



Obr. 6: Zesilovač napětí a proudu (převzato z [4]).

Jestliže máme výstupní napětí zdroje 30 V a výstupní napětí z D/A převodníku je maximálně 5 V, musíme toto napětí zesílit přibližně 6x (hodnota musí být o něco větší, protože musíme kompenzovat napětí, které vznikne na bočníku, při průchodu proudu).

Napěťový zesilovací činitel pro naše zapojení je roven [4]

$$K_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_{22} + R_{23}}{R_{22}}. \quad (2.2)$$

Dosadíme hodnoty pro náš zesilovač do vztahu (2.2), získáváme hodnotu K_u

$$K_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_{22} + R_{23}}{R_{22}} = \frac{10^3 + 5,6 \cdot 10^3}{10^3} = 6,6. \quad (2.3)$$

Dále můžeme určit vstupní odpor zesilovače [4]

$$R_{in} = h_{fe1} \cdot S_1 \cdot R_{22} \cdot R_{21}, \quad (2.4)$$

kde h_{fe} je proudový zesilovací činitel (pro tranzistor BC547 100 – 200), S_1 je sklon křivky zesílení tranzistoru 50 [jednotka = 1 / Ohm].

Po dosazení do vztahu (2.4)

$$R_{in} = h_{fe1} \cdot S_1 \cdot R_{22} \cdot R_{21} = 100 \cdot 0,05 \cdot 10^3 \cdot 47 \cdot 10^3 = 235 \text{ } M\Omega. \quad (2.5)$$

S tak velkou hodnotou můžeme zesilovač připojit k D/A převodníku (má výstupní odpor 5 kΩ), aniž bychom ho jakkoliv ovlivnili.

Výstupní odpor napět'ového zesilovače lze poté napsat jako [4]

$$R_{out} = \frac{R_{23} \cdot R_{22}}{S_1 + S_2 \cdot R_{21} \cdot R_{22}}. \quad (2.6)$$

Jakmile dosadíme do rovnice (2.6) , získáváme výsledek:

$$R_{out} = \frac{R_{23} \cdot R_{22}}{S_1 + S_2 \cdot R_{21} \cdot R_{22}} = \frac{5,6 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{0,05 + 0,05 \cdot 47 \cdot 10^3 \cdot 10^3} \cong 2 \quad \Omega. \quad (2.7)$$

Tento odpor je dostatečně malý pro řízení tranzistoru BD137.

Rezistor R_{21} spojuje bázi BC557 s kolektorem BC547, což znamená, že zůstává bezpečně uzavřený, dokud se neprobudí DA převodník a s ním tranzistor BC547.

Aby nedocházelo k otevření tranzistoru BD137, pokud se neotevře předešlý tranzistor, je spojena báze BD137 se zemí pomocí kombinace odporů R_{22} a R_{23} (zůstane zavřený celý proudový zesilovač). Tím máme také vyřešen problém s nežádoucími jevy jako oscilace nebo napět'ové špičky při zapnutí přístroje.

Proudový zesilovací činitel tranzistoru BD245B je $h_{fe} = 20$ při výstupním proudu 3 A. Z tohoto důvodu musíme do báze tranzistoru BD245B dostat

$$I_{BT4} = \frac{3}{h_{feT4}} = \frac{3}{20} = 150 \text{ mA}, \text{ proto využije tranzistor BD137, který umístíme}$$

před tranzistor BD245B. Dohromady budou tvořit tzv. Darlingtonovo zapojení. Jelikož proudový zesilovací činitel tranzistoru BD137 je 50-100, stačí nám dodat proud do báze

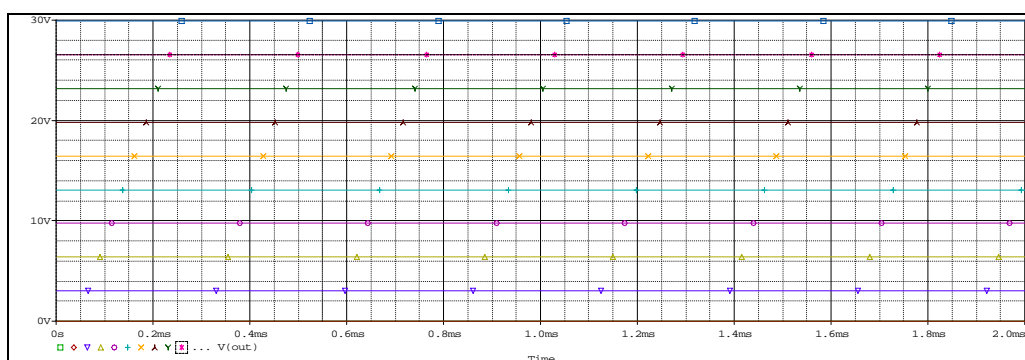
$$I_{BT3} = \frac{0,15}{h_{feT3}} = \frac{0,15}{50} = 3 \text{ mA}. \text{ Tuto hodnotu již bez problémů zvládnou tranzistory}$$

pro malé signály jako např. BC547 nebo BC557.

2.1.4 Počítačová analýza zesilovače napětí

K analýze laboratorního zdroje byl použit program OrCAD PSpice.

Závislost velikosti výstupního napětí na velikosti vstupního napětí v čase je zřejmá z obr. 7 .



Obr. 7: Závislost velikosti výstupního napětí na velikosti vstupního napětí v čase.

Vstupní napětí bylo krokováno od hodnoty 0 V do 5 V s krokem 0,5 V. Z obrázku je patrné, že napětí muselo přesáhnout hodnotu 0,7 V, aby začalo docházet k zesílení. To je důsledkem prahového napětí na tranzistoru. S tímto faktem musíme počítat i při návrhu softwaru.

2.1.5 Návrh celkového zapojení zdroje

Do původního zjednodušeného zapojení dodáme konektory na programování, LCD displej, maticovou klávesnici a USB komunikaci. Dále vyřeším napájení řídicí části, která potřebuje napětí 5 V. Bude zde využito zapojení stabilizátoru napětí 7805 se Zenerovou diodou, jak je patrné z obr. 8.

Pro vytvoření zvuku pro proudovou pojistku byl využit obvod 555 ve funkci multivibrátoru.

Jelikož chceme vytvořit zdroj, jehož výstupní parametry jsou měřeny pomocí vnitřních A/D převodníků mikrokontroléru, musíme zdroj opatřit na výstupu odporovým dělič a bočníkem.

Odporový dělič (R_{29} a R_{30}) je zde z důvodu, že vnitřní 10-bitové A/D převodníky mikrokontroléru jsou schopny měřit napětí do maximální hodnoty 5 V, kdežto mi máme na výstupu až 30 V.

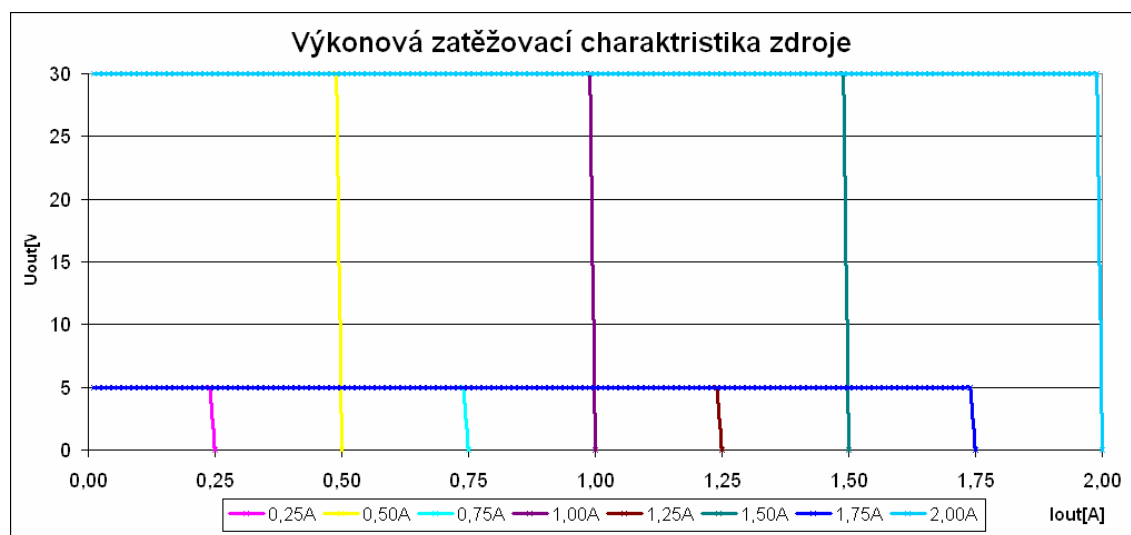
Bočník (paralelní kombinace R_{31} a R_{36}) musí mít dostatečně velkou hodnotu odporu, abychom byli schopni úbytek napětí, který vzniká, při průchodu výstupního proudu tímto bočníkem, odečíst s dostačující přesností. Jelikož úbytkem napětí na bočníku přicházíme o část výstupního napětí musíme toto napětí kompenzovat zvyšováním výstupního napětí zdroje.

2.1.6 Výsledky měření

Měřením jsem zjistil, že zdroj je plně funkční a měření výstupních parametrů zdroje pomocí vnitřních A/D převodníků mikrokontroléru je dostatečně přesné a rychlé.

Velkou nevýhodou zdroje je, že disponuje softwarovou proudovou pojistkou. Při jejím použití může při zvláštních případech dojít k průchodu proudové špičky (většího proudu, než máme nastavený v pojistce) do zátěže po krátký čas (několik desítek ms). Jelikož mikrokontrolér může v okamžiku připojení malé zátěže kontrolovat stisk kláves, tak jeho reakce na velký proud může být opožděná.

Funkce proudové pojistky je patrná z výkonové zatěžovací charakteristiky na obr. 9. Při docílení maximálního nastaveného proudu dojde k poklesu napětí na 0 V. Z hlediska softwarové pojistky je toto řešení nejšetrnější. Pokud by jsme chtěli pracovat s proudovým omezením (tedy snižovat napětí a pokusit se udržet maximální nastavený proud zátěží) museli bychom vždy na zátěži nastavit, určité napětí a tím zjistit odpor zátěže a vypočítat tedy maximální výstupní napětí. Toto řešení by bylo velice složité, např. při stále se měnící velikosti odporu zátěže. V takovém případě by opět mohlo dojít k proudům větším než je maximální nastavený a tím by mohlo nastat možné zničení zátěže.



Obr. 9: Výkonová zatěžovací charakteristika zdroje

Jak je z obr. 9 patrné, tak proudová pojistka byla otestována pro výstupní napětí 5 V a 30 V (to je také maximální výstupní napětí zdroje).

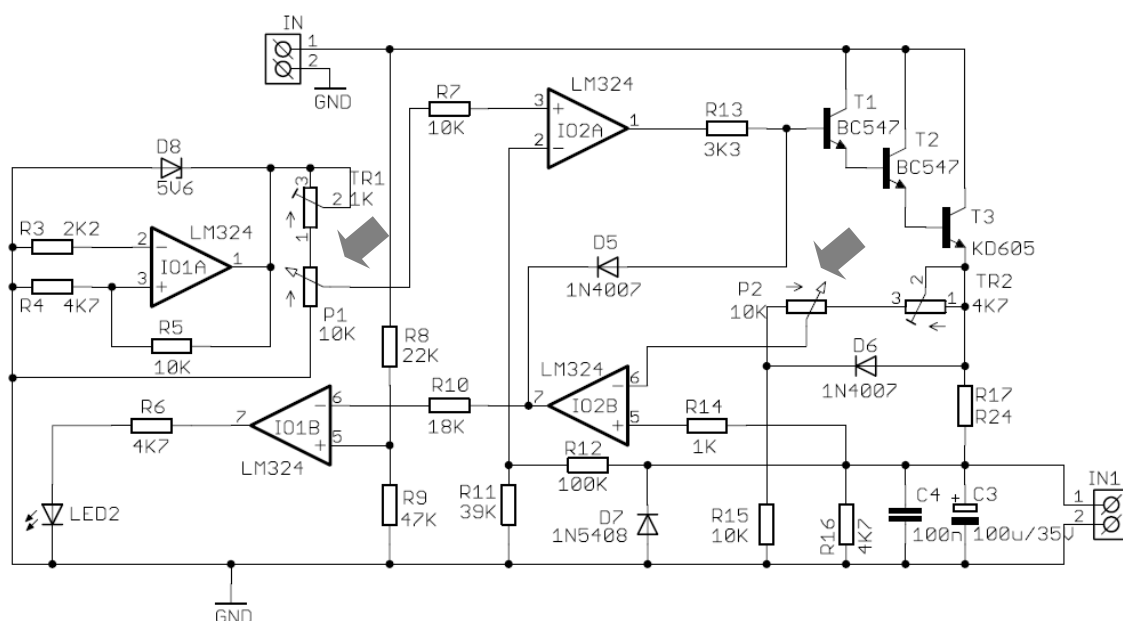
Výsledné zvlnění zdroje jsem určil 30 mV. Výsledku jsem docílil pomocí milivoltmetru.

2.2 Druhá varianta zdroje s využitím digitálních potenciometrů

Tento laboratorní zdroj nám nabízí plynule regulovat napětí v rozsahu 0 – 24 V s možností nastavování proudové pojistky od 0 do 2 A.

2.2.1 Popis schéma zapojení

Celé zapojení zdroje (viz. obr. 10) funguje na principu komparátorů. Tyto komparátory jsou využity k řízení a regulaci tranzistorů a také k celkové stabilizaci zdroje. V zapojení je využito operačních zesilovačů LM324. Jako výkonový prvek je zde použit výkonový tranzistor KD605 (70 W, 40 V, 10 A), který musí být dostatečně chlazen.



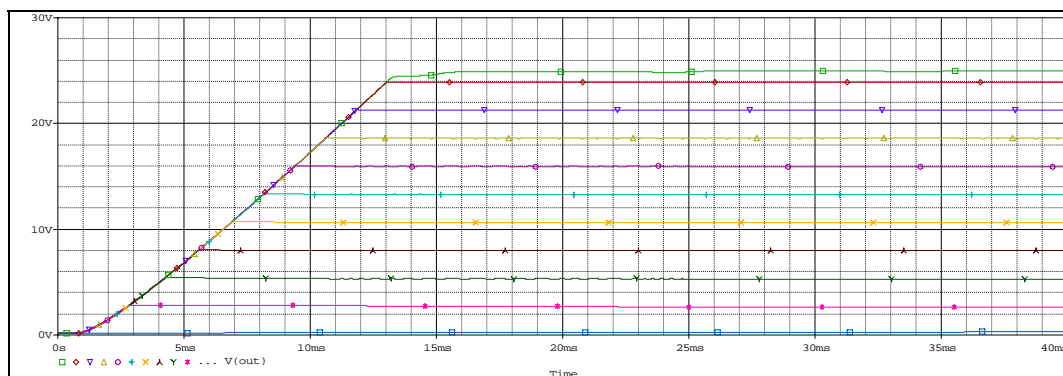
Obr. 10: Zapojení zdroje s digitálními potenciometry (převzato z [3]).

Potenciometrem P_1 lze regulovat výstupní napětí, přičemž trimrem T_{R1} můžeme upravit maximální hodnotu výstupního napětí. Potenciometrem P_2 nastavujeme proudovou pojistku tzn. maximální proud, který může být odebíráný zátěží. Jestliže je tento maximální proud překročen dochází ke snížení napětí na takovou hodnotu, aby hodnota výstupního proudu nezměnila velikost a dochází k rozsvícení LED diody (LED_2). U napájení OZ a výstupu zdroje jsou použity blokovací kondensátory 100nF. Tyto kondensátory by měli být co nejbližší k pouzdru. Dioda D_7 je na výstupu zdroje připojena v závěrném směru a slouží k ochraně při napájení zátěže induktivního charakteru. Šipkami označené potenciometry budou nahrazeny digitálními potenciometry.

2.2.2 Počítačové simulace laboratorního zdroje

K modelování laboratorního zdroje byl použit program OrCAD PSpice.

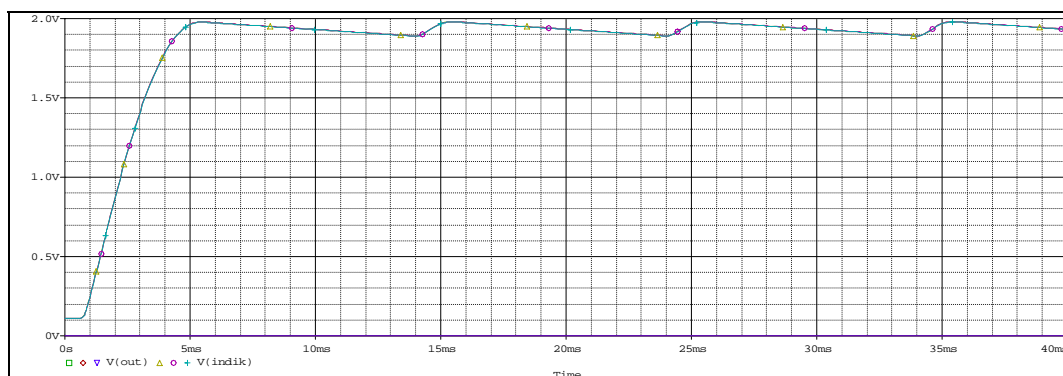
Závislost velikosti výstupního napětí na poloze jezdce potenciometru P_1 v čase je zřejmá z obr. 11.



Obr. 11: Závislost výstupního napětí laboratorního zdroje na poloze jezdce potenciometru P_1 v čase.

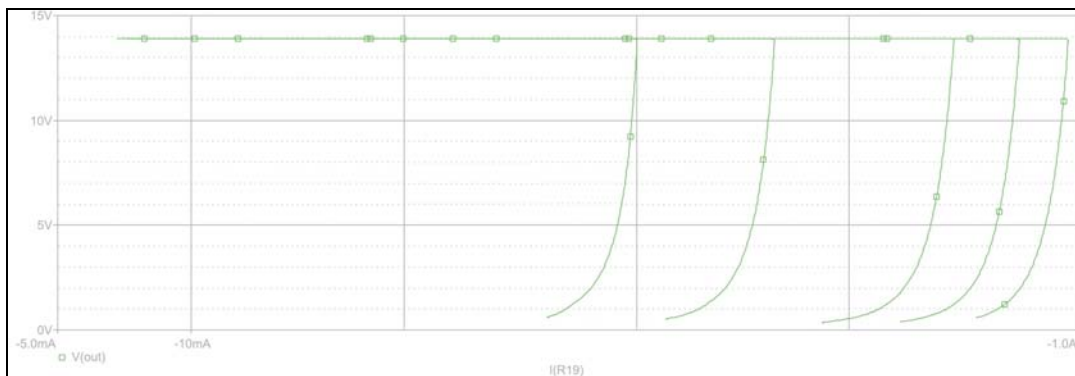
Potenciometr byl krokovan od hodnoty 0 až po hodnotu 10 $k\Omega$ s krokem 1 $k\Omega$. Podle obrázku je patrné, že výstupní napětí je lineárně závislé na poloze jezdce potenciometru P_1 .

Pokud zkratujeme výstupní svorky zdroje, tak napětí na výstupu klesne k 0 V a na LED diodě (LED_2) se objeví napětí, které vede k jejímu rozsvícení a tím signalizaci proudové pojistky (viz. obr. 12).



Obr. 12: Graf výstupního napětí a napětí na LED diodě (LED_2) při zkratovaném výstupu zdroje.

K otestování proudové pojistky nám také poslouží výkonová charakteristika zdroje (viz. obr. 13). Ke zdroji připojíme zátěž, kterou rozmítáme od 0 do 2 $k\Omega$. Napětí zdroje je nastaveno na 14 V a proudová pojistka se během simulace nastaví do 5 poloh (0.1, 0.2, 0.4, 0.7 a 0.9).



Obr. 13: Výkonová charakteristiky zdroje

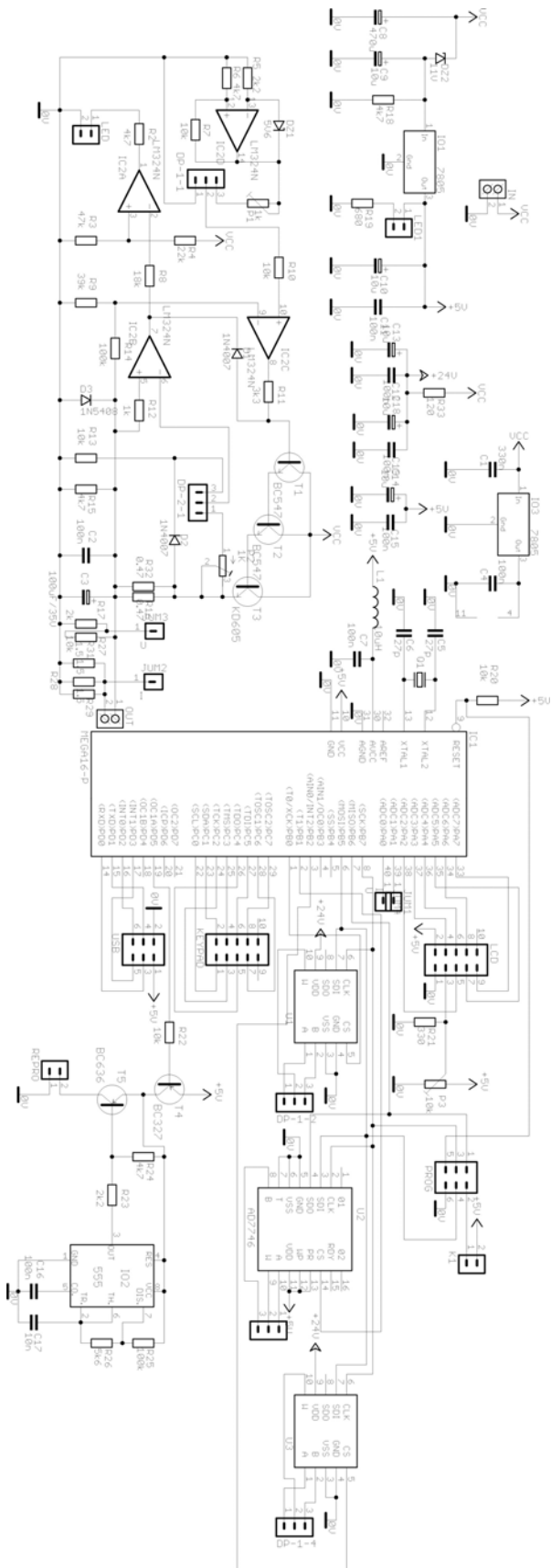
Simulacemi byla otestována funkčnost zapojení.

2.2.3 Návrh celkového zapojení zdroje

Zapojení z obr. 10 bylo obohaceno a konektory na programování, LCD displej, maticovou klávesnici a USB komunikaci. Napájení řídicí části, jenž potřebuje 5V se vyřešilo pomocí stabilizátoru 7805 s se Zenerovou diodou. Potenciometry P_1 a P_2 byli nahrazeny konektory, ke kterým se následně připojí digitální potenciometry, jenž jsou připojeny na piny mikrokontroléru (využity pro sériovou komunikaci SPI (viz.. kap. 3.3.1)).

Pro generování zvukové signalizace proudové pojistky byl využit obvod 555 v zapojení multivibrátoru.

Stejně jako u zdroje s D/A převodníkem i zde měříme výstupní parametry zdroje pomocí vnitřních A/D převodníků mikrokontroléru (pomocí odporového děliče a bočníku). Opět musíme výstupní napětí korigovat vzhledem k úbytku na bočníku.

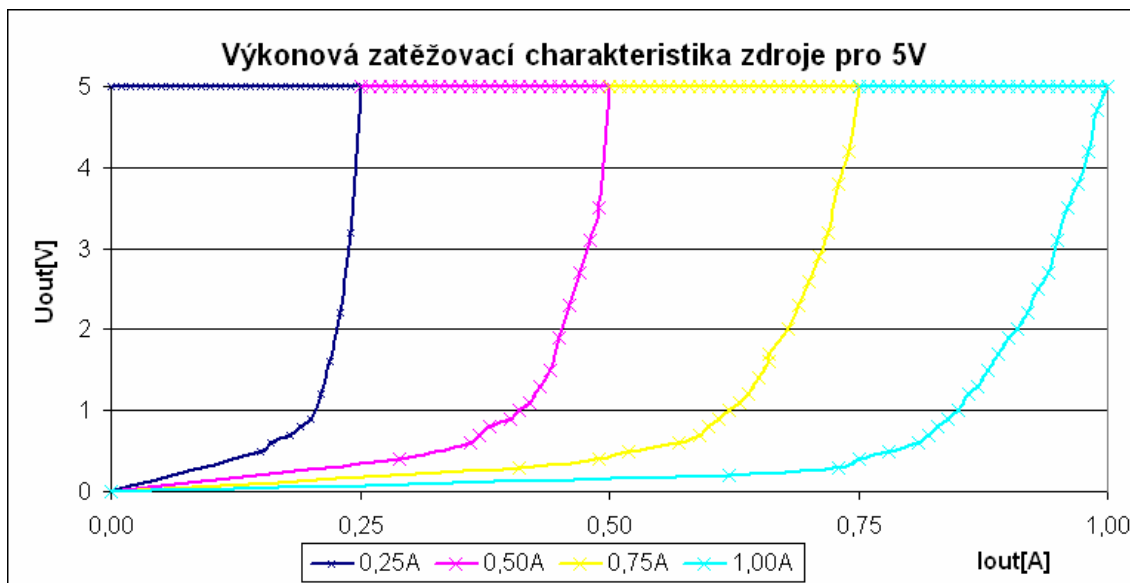


Obr. 14: Celkové zapojení s využitím digitálních potenciometrů

2.2.4 Výsledky měření

Zdroj s digitálními potenciometry disponuje oproti zdroji s D/A převodníkem analogovou proudovou pojistkou (jedná se o proudové omezení, tedy že při překročení maximálního nastaveného proudu dochází k poklesu výstupního napětí, aby byl zachován tento nastavený maximální proud).

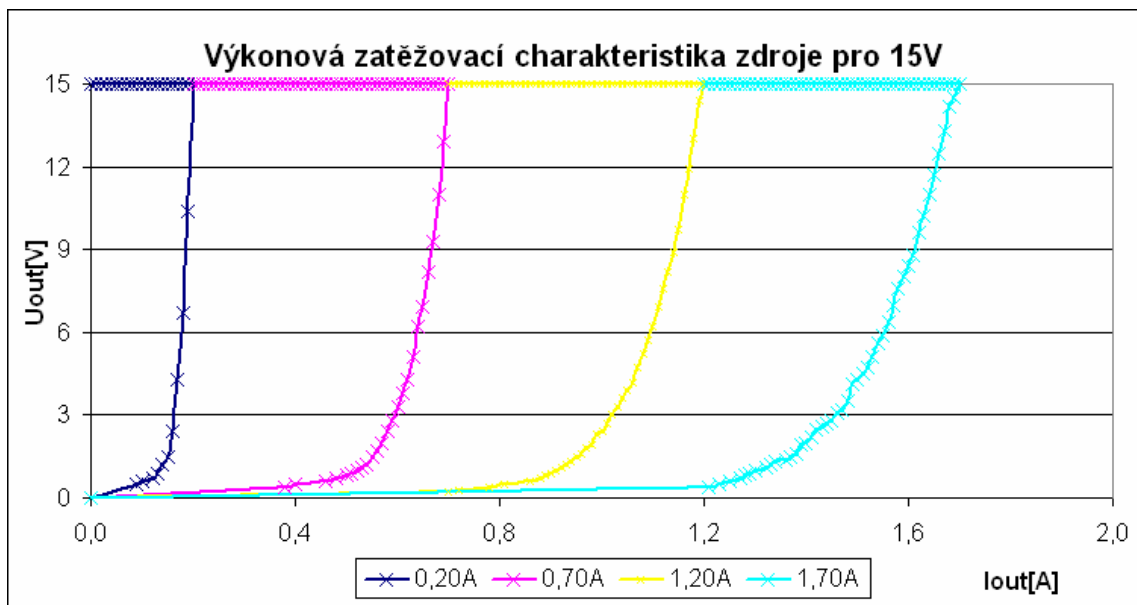
Funkce proudové pojistky je patrná z výkonové zatěžovací charakteristiky na obr. 15. Celkem jsem provedl měření pro tři výstupní napětí zdroje a to 5 V, 15 V a 20 V. Výkonové charakteristiky jsou téměř totožné s charakteristikami získanými počítačovou analýzou.



Obr. 15: Výkonová zatěžovací charakteristika zdroje pro 5V

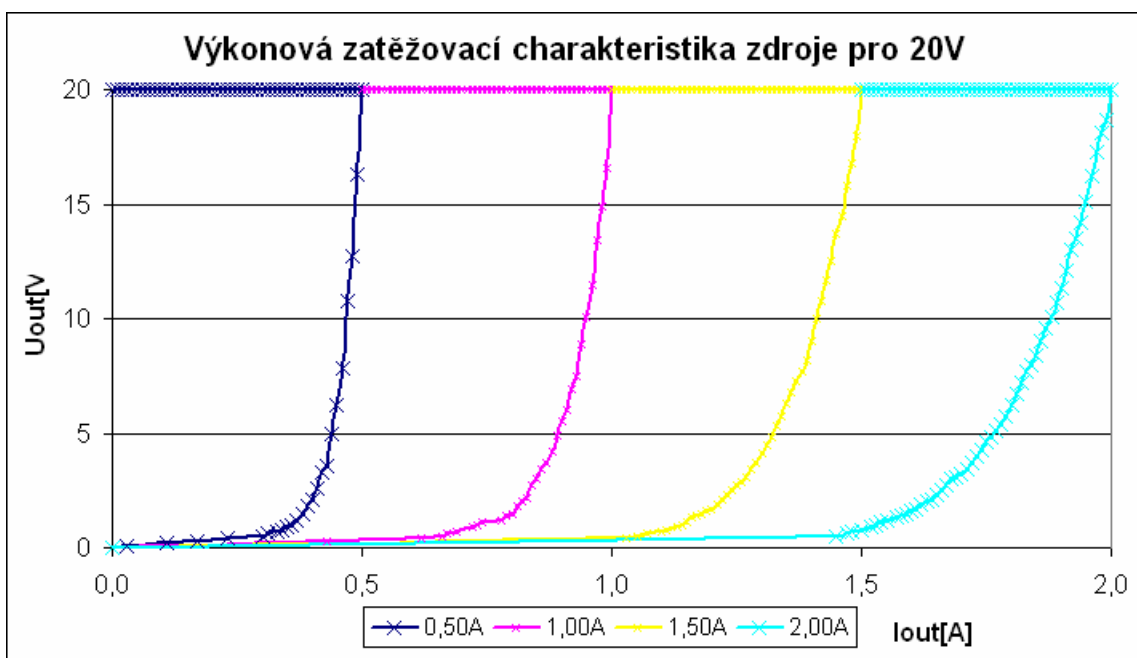
Pro výstupní napětí zdroje 5 V (viz. obr. 15) jsem proudovou pojistku nastavil celkem do čtyř poloh a to 0,25 A, 0,50 A, 0,75 A a 1,00 A.

Další výkonové zatěžovací charakteristiky (viz. obr. 16) jsem naměřil pro výstupní napětí zdroje 15 V. Pojistka byla nastavena opět do čtyř poloh, jimiž byly hodnoty maximálního proudu 0,20 A, 0,70 A, 1,20 A a 1,70 A.



Obr. 16: Výkonová zatěžovací charakteristika zdroje pro 15V

Poslední výkonové zatěžovací charakteristiky (viz. obr. 17) byla změřena pro výstupní napětí zdroje 20 V při nastavené proudové pojistce na 0,5 A, 1 A, 1,5 A a 2 A.



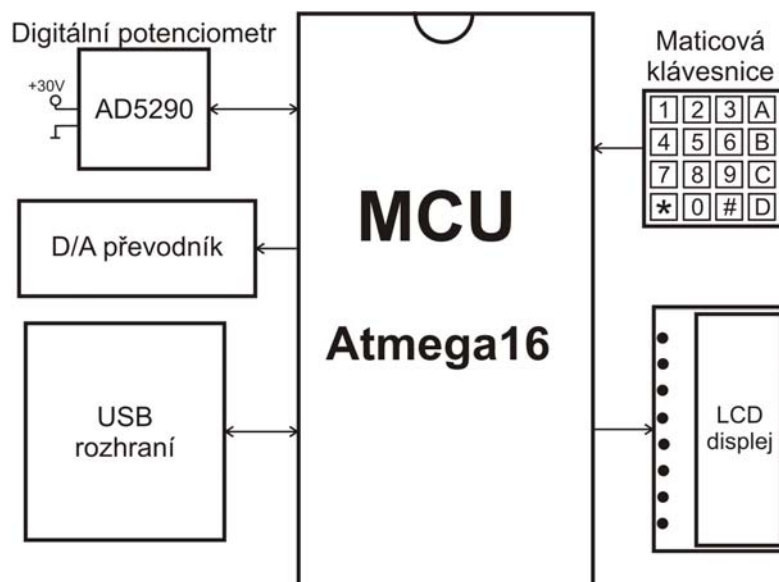
Obr. 17: Výkonová zatěžovací charakteristika zdroje pro 20V

Celkově jsem prošel celé možné pásmo nastavení proudové pojistky (0 až 2 A) při nastavení různých výstupních napětích zdroje.

Výstupní zvlnění zdroje jsme změřili pomocí milivoltmetru. Výslednou hodnotu jsem stanovil na 30mV, podobně jako u předchozího zdroje s D/A převodníkem.

3 ŘÍDÍČÍ ČÁST

Jak už bylo řečeno, oba zdroje budou digitálně řízené. Jádrem řídicí části je mikrokontrolér ATmega16, ke kterému jsou připojeny tyto periferie: klávesnice, LCD displej, USB rozhraní a řízení zdroje (tedy digitální potenciometry nebo D/A převodník viz. obr. 18).



Obr. 18: Blokové schéma řídicí části

V obou variantách budou tyto bloky připojené na jiné vstupní/výstupní porty mikrokontroléru, ale jejich funkce bude stále stejná.

3.1 Parametry mikrokontroléru ATmega16

Tento typ mikrokontroléru byl zvolen s ohledem na dobrý poměr cena/výkon. Základní vlastnosti mikrokontroléru ATmega16:

- hodinový kmitočet až 16 Mhz (výpočetní výkon až 16 MIPS),
- 32 osmibitových všeobecně použitelných registrů,
- rozšířená sada 131 AVR instrukcí (včetně násobení a dělení integer),
- 16 KB zabudované programové paměti (Flash),
- 512 B zabudované datové E²PROM,
- 1 KB zabudované datové SRAM,
- čtyři osmibitové vstupní/výstupní porty,
- dva osmibitové čítače/časovače a jeden šestnáctibitový čítač/časovač,
- čtyři PWM kanály,
- osmikanálový desetibitový A/D převodník,
- tři sériová rozhraní,
- pouzdra DIP40, TQFP44 a MLF44.

3.2 Maticová klávesnice

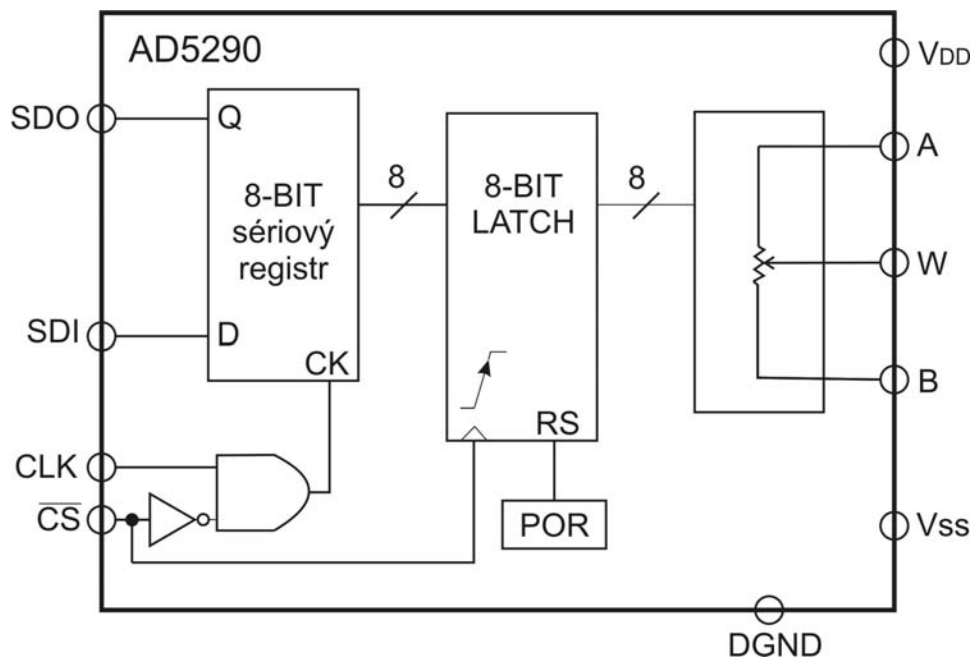
Maticová klávesnice 4x4 tlačítek obsahuje následující tlačítka:

- dekadická čísla 0 – 9,
- * (přepínáním mezi nastavováním napětí a proudu),
- # (funkce potvrzovací klávesy „ENTER“),
- A (zvyšování hodnoty v jednotlivých řádech),
- B (snižování hodnoty v jednotlivých řádech),
- C (posunem doleva mezi desítkami, jednotkami a desetinami),
- D (posunem doprava mezi desítkami, jednotkami a desetinami).

3.3 Digitální potenciometry [9]

Zajímavými prvky pro elektronické řízení parametrů regulovatelných zdrojů mohou být digitální potenciometry.

Nejznámějšími výrobci digitálních potenciometrů jsou v dnešní době firmy, např. Analog Devices, Dallas Semiconductor, Maxim, Xicor nebo Microchip. Hlavní snahou je se přiblížit mechanickým potenciometrům a odstranit jejich nevýhody jako je právě mechanické řešení. Blokové schéma typického digitálního potenciometru ukazuje obr. 19.



Obr. 19: Blokové schéma digitálního potenciometru (převzato z [5]).

Digitální potenciometry mají stejně jako mechanické potenciometry tři vývody A, B a W. Vývod W představuje jezdec a je pomocí elektronických spínačů připojován do rezistorové sítě podle řídicího kódu. Nahrávání řídicího kódu do 8 bit sériového registru se provádí pomocí sériové sběrnice SPI, dvouvodičové I²C nebo méně časté paralelní sběrnice.

Tyto sběrnice můžeme připojit s mikroprocesoru nebo také k nějakému portu počítače. V aplikacích, kde můžeme měnit velikost výstupního odporu jen po nejmenší hodnotě (kroku) se vyrábějí tzv. UP-DOWN digitální potenciometry. V takovém případě se dvěma tlačítky, jenž připojíme k potenciometru, mění poloha jezdce vždy v jednom směru (nahoru nebo dolů).

Ve většině digitálních potenciometrů je také vnitřní paměť, kde je nezávisle na napájecím napětí uložena poslední pozice jezdce.

Vyráběné polohy jezdce bývají většinou mocninou dvou. V dnešní době 128, 256, 512 nebo 1024. Potenciometry se vyrábějí s maximálním odporem 1 k Ω , 10 k Ω , 50 k Ω , 100 k Ω , 500 k Ω a 1 M Ω . Přesnost odporu bývá závislá na výrobci, ale pohybuje se přibližně mezi 20 - 30 %. Výrobci však zaručují vysokou linearitu převodu čísla na odpor, který lze snadno určit z uvedených vzorců.

Často se v praxi používá dvou potenciometrů v jenom pouzdře, kde je zajištěn souběh hodnot odporů. Vyrábí se dvojnásobné, trojnásobné i čtyřnásobné typy. U těchto typů bývá zaručena vzájemná odchylka velikostí odporů dráhy řádově na desetiny procenta.

Digitální potenciometry neobsahují mechanické části, což je jejich velkou výhodou, tím nemůže dojít ke špatnému kontaktu mezi dráhou a jezdce. Při posunu jezdce nedochází k rušivým vlivům. Většina výrobců vyrábí digitální potenciometry ve velmi malých smd pouzdrech typu MSOP, tím dochází k velkému zmenšení rozměrů oproti mechanickým potenciometrům.

Nevýhodou je však odpor jezdce, který není zanedbatelný a jeho hodnota je téměř nezávislá na poloze jezdce (hodnota v rozmezí desítek až stovek Ω). Tato nevýhoda nás bude eliminovat při návrhu zdroje, jelikož nebude možné nastavit přesně malá napětí.

Na vývodech potenciometru můžeme pracovat maximálně s přibližně napájecím napětím.

Potenciometry mají zanedbatelnou kapacitu rezistorové sítě a to až 60 pF, která může např. ve filtru způsobit nežádoucí změny kmitočtové charakteristiky nebo i oscilace obvodu.

Jestliže uvažujeme zapojení potenciometru jako dělič, což je náš příklad, musíme počítat s útlumem, který závisí na více faktorech.

Po prostudování sortimentů několika výrobců digitálních potenciometrů jsem podle nároků vybral digitální potenciometr AD5290 od firmy Analog Devices.

Hlavními parametry AD5290 jsou:

- vyráběné velikosti odporu 10 k Ω , 50 k Ω a 100 k Ω ,
- počet poloh jezdce 256,
- napájecí napětí +4,5V až +30 V nebo $\pm 4,5$ V až ± 15 V,
- na vývodech A, B a W lze přivést až napětí 30V proti zemi,
- 10-pinové MSOP pouzdro,
- maximální odběr proudu 50 μ A,
- programování pomocí sériového kanálu SPI.

Hodnota odporu digitálního potenciometru AD5290 se dá velmi lehce spočítat pomocí vztahu (vztah byl uveden v katalogu součástek ANALOG DEVICES : AD5290 [6])

$$R_{WA}(D) = \frac{256 - D}{256} \cdot R_{AB} + 3 \cdot R_W. \quad (3.1)$$

Po úpravě vztahu získáváme

$$R_{WB}(D) = \frac{D}{256} \cdot R_{AB} + 3 \cdot R_W, \quad (3.2)$$

kde D je poloha jezdce (0 – 255), R_{AB} je celkový odpor digitálního potenciometru (10 kΩ, 50 kΩ a 100 kΩ) a R_W představuje odpor jezdce (50 Ω).

Digitální potenciometry jsou připojeny na port B. Přesněji na SPI sériové rozhraní.

3.3.1 Sériový kanál SPI [7]

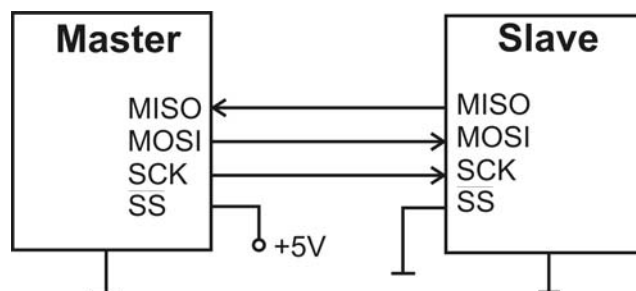
SPI (Serial Peripheral Interface) zajišťuje vysokorychlostní přenos dat mezi mikrokontrolérem a periferním zařízením nebo jinými mikrokontroléry, které jsou vybaveny SPI sběrnici.

Sériový kanál bude využitý k nastavení digitálních potenciometrů.

Klíčové schopnosti SPI u mikrokontroléru ATmega16:

- plný duplex (schopnost současně přijímat i vysílat),
- třívodičový synchronní přenos dat,
- může pracovat jako master (řídící obvod) nebo slave (řízený obvod),
- 7 programovatelných rychlostí, maximální přenosová rychlost až 8 Mb/s,
- lze volit pořadí bitů (LSB až MSB nebo MSB až LSB),
- příznaky konce a kolize přenosu,
- schopnost procitnutí z režimu Idle pop příjmu dat s režimu slave.

Obr. 20 ukazuje způsob propojení mezi masterem a slavem. SCK je hodinový signál (pro master je to výstup – generuje jej, pro slave je vstup).



Obr. 20: Propojení master-slave na sběrnici SPI (převzato z [7]).

Vlastní přenos pomocí SPI odstartuje zápis do datového registru SPI. V tuto chvíli se zapne hodinový generátor a data se pomocí vývodu MOSI (Master Out) vsouvají do stejného vývodu ve slavu (Slave in).

Jakmile je vysunut celý bajt, generátor se zastaví a je nastaven příznak konce přenosu (bit SPIF, viz registr SPSR). Je-li nastaven bit SPIE (viz registr SPCR) a zároveň povoleno přerušení ($I = 1$ ve stavovém registru SREG), je generováno přerušení.

Vývod *SS* (Slave Select) je nastaven na 0 k výběru individuálního SPI zařízení, které je konfigurováno jako slave. Když je $SS = 1$, je SPI port deaktivován a vývod MOSI lze použít jako obyčejný vstup.

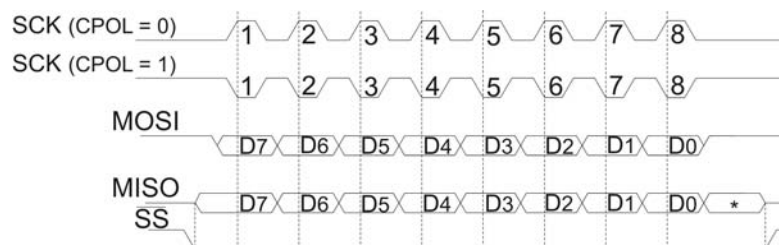
Zápis dat do datového registru (SPDR) v průběhu přenosu dat vede k nastavení příznaku WCOL (viz registr SPSR). Datový registr je dvojité buferovaný a tak se jeho hodnota po resetu nemění.

SPI kanál je ovládán třemi registry:

- SPCR je řídicí registr (rychlost a formát přenosu),
- SPSR je stavový registr (příznaky dokončení a kolize přenosu),
- SPDR datový registr (vstupní a výstupní data).

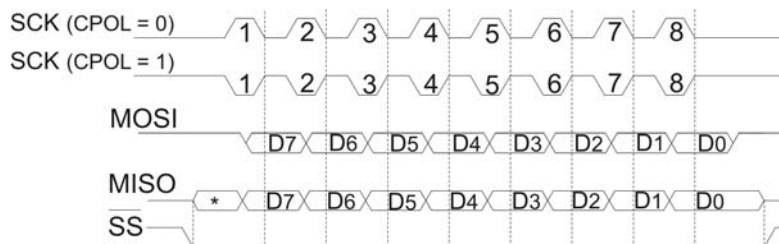
Existují čtyři kombinace fáze a polarity SCK hodin, které určují bity CPHA a CPOL z registru SPCR. Viz obr. 21 a obr. 22. Oba jsou kresleny pro případ DORD = 0 (začíná se nejvyšším bitem).

Pro CPHA = 0 jsou při CPOL = 0 data vzorkována náběžnou hranou SCK. Pro CPOL = 1 je vzorkování prováděno sestupnou hranou SCK. CPOL dále určuje stav SCK při neaktivním přenosu ($SCK = 0$ pro CPOL = 0, $SCK = 1$ pro CPOL = 1).



Obr. 21: Formát SPI přenosu pro CPHA = 0 (převzato z [7]).

Pro CPHA = 1 jsou při CPOL = 0 data vzorkována sestupnou hranou SCK. Pro CPOL = 1 je vzorkování prováděno náběžnou hranou SCK. CPOL dále určuje stav SCK při neaktivním přenosu ($SCK = 0$ pro CPOL = 0, $SCK = 1$ pro CPOL = 1).



Obr. 22: Formát SPI přenosu pro CPHA = 1 (převzato z [7]).

3.4 LCD displej

Bude použit dvouřádkový displej se 16 znaky na řádek ATM1602B. Téměř všechny řádkové displeje jsou řízeny obvodem HD44780 od firmy Hitachi (případně kompatibilní řadičem).

3.4.1 Popis komunikace

Displeje řízené řadičem HD44780 mohou přenášet data po čtyřech nebo osmi datových linkách. V obou návrzích využijeme komunikaci po čtyřech linkách, z důvodu úspory pinů na mikrokontroléru. Zápis tedy probíhá nadvakrát (nejdříve horní a pak dolní polovina bajtu).

Výběr zaslání dat nebo příkazu řídí signál RS, R/W signál řídí čtení nebo zápis dat a signál E povolení vstupu. Jednotlivé vývody displeje najdeme v tab. 1.

Jelikož nás bude zajímat pouze zápis na displej můžeme signál R/W připojit na log. 0 (spojení se zemí) a tím ušetříme jeden pin mikrokontroléru.

Komunikace tedy probíhá následujícím způsobem. Nejprve nastavíme signál RS podle toho, jestli se zapisují data nebo instrukce. Následně nastavíme signál E (log. 1) a uskutečníme přenos horních čtyř bitů dat a potvrdí se deaktivací vstupu E (log. 0). Stejně proběhne i zápis dolních čtyř bitů.

Displej disponuje dvěma typy pamětí:

- DD RAM obsahuje znaky, které se zobrazují na displeji. Každému zapsanému údaji odpovídá jeden zobrazený znak dle tab. 1. RAM se adresuje v rozsahu sedmi bitů. Pro dvouřádkové displeje se 16 znaky na řádek jsou platné adresy \$00 až \$0F – první řádek, a \$40 až \$4F – druhý řádek.
- CG RAM umožňuje, aby uživatel vytvořil až 8 vlastních znaků. Tato možnost se obvykle používá pro definici české diakritiky. Kódy těchto znaků jsou \$00 až \$07 (případně \$08 až \$0F, znaky se zrcadlí). CG RAM se adresuje v rozsahu šesti bitů.

Každý znak je definován osmi po sobě jdoucími buňkami, rozměr znaků 5 x 7. Horní tři bity nejsou použity (každý podřádek znaku je definován spodními pěti bity), podřádků zobrazení je 8, obvykle se však používá pouze 7 (poslední podřádek odpovídá místu zobrazení kurzoru).

Aby se operace provedla, musí být dodržen určitý interval, jinak bude operace neúspěšná. Uvedeme základní příkazy: vymazání displeje, návrat na začátek, volba režimu (inkrementace/dekrementace pozice), zapni/vypni displej, nastavení komunikace (šířka komunikačních dat, čtyři nebo osm bitů), nastavení adresy CG RAM (poslaná data jsou uložena na tuto adresu) a nastavení adresy DD RAM (poslaná data jsou uložena na tuto adresu). Typ paměti je určen předchozím použitím příkazu pro nastavení adresy.

Tab. 1: Obsazení vývodů displeje ATM1602B

Číslo vývodu	Signál	Funkce
1	GND	Zem (0 V)
2	U_{cc}	Napájecí napětí (4,75 až 5,25 V)
3	U_0	Nastavení kontrastu displeje
4	RS	Příkaz (log. 0), data (log. 1)
5	R/W	Čtení (log. 1), zápis (log. 0) dat nebo příkaz
6	E	Vstup povolení
7	PC0	Data/příkaz (dolní bit)
8	PC1	Data/příkaz
9	PC2	Data/příkaz
10	PC3	Data/příkaz
11	PC4	Data/příkaz
12	PC5	Data/příkaz
13	PC6	Data/příkaz
14	PC7	Data/příkaz (horní bit)
15	A	Anoda podsvětlení LED diody
16	K	Katoda podsvětlení LED diody

3.5 Propojení mikrokontroléru s PC

Propojení mikrokontroléru s PC bude řešeno přes USB rozhraní pomocí převodníku FT232. V aplikaci bude použit převodník FT232BM.

Zde jsou uvedeny jeho základní vlastnosti:

- jednočipový převodník USB \rightarrow USART,
- podpora 7 nebo 8 bitového přenosu,
- nastavitelná přenosová rychlost (v našem případě 300Bd až 1Md \rightarrow RS232),
- přijímací buffer 384 B, vysílací buffer 128 B,
- podpora pro napájení s vysokým odběrem PWREN,
- invertovaný konvertor úrovně UART pro 5 V a 3,3 V logiku,
- integrovaný regulátor 3,3 V pro USB obvody,
- režim přenosů Bulk a izochronní USB,
- jednoduché napájení rozsahu 4,4 V až 5,25 V,
- kompatibilita se standarty USB 1.1 a USB 2.0,
- možnost uložení VID, PID a sériového čísla do vnější E²PROM,

- Tento převodník lze využít v aplikačních oblastech:

- Tento blok je řešen samostatně na desce plošného spoje. K propojení s mikrokontrolérem je využit zámkový konektor. Komunikace je obousměrná a je tvořena vodiči RXD a TXD sériové linky USART mikrokontroléru. Tato linka je umístěna na portu D na pinech 0 a 1. Dále je využito dvou řídících signálů CTS a DSR. Signál CTS nám signalizuje proudovou pojistku a signál DSR posílání dat od mikrokontroléru.

[illegible]

Pro ovládání zařízení typu FT232BM lze použít dvojí ovladačů: VCP (Virtual Communication Port) nebo D2XX. Ovladače VCP ovládají zařízení jako sériový port (tedy zařízení se chová, jako by bylo připojeno k sériovému portu). V našem případě ovšem použijeme rozhraní D2XX, které je přímý ovladač pro Windows. Tento ovladač umožňuje programu přímo komunikovat s FT232BM pomocí kódu, jenž je uložen v dynamické knihovně (FTD2XX.DLL). Tato knihovna slouží jako rozhraní pro aplikační programy vytvořené ve vývojových prostředích Visual C++, Delphi, Visual Basic a v našem případě C++ Builder.

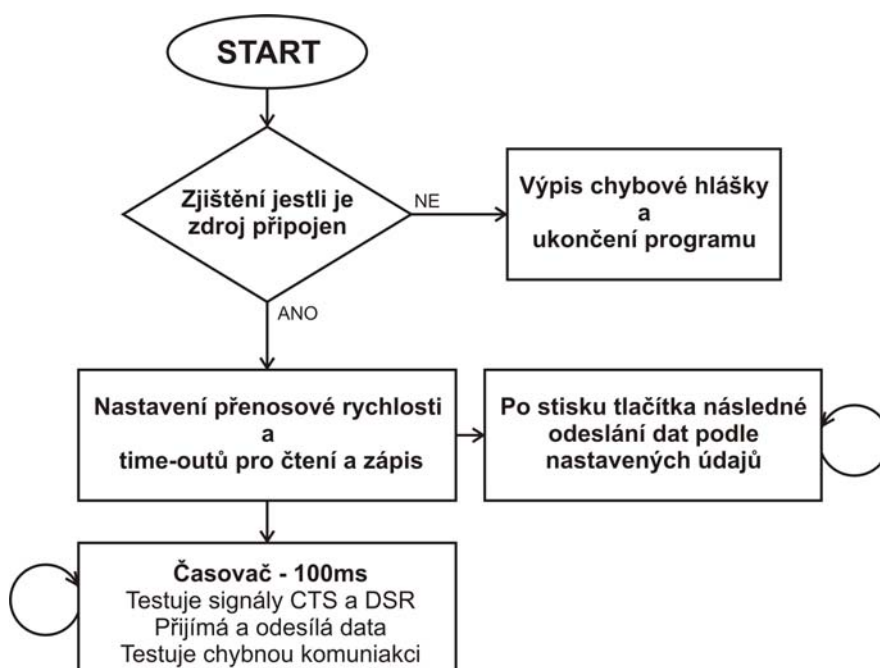
Nyní si přiblížíme určité funkce, jenž umožňují přístup na zařízení vybavené obvodem FT232BM a jsou využity ve vytvořeném ovládacím programu:

- Typ FT_STATUS - jestliže uvedená funkce indikuje úspěšně své provedení vrací konstantu FT_OK,
- FTOpenEX – otevře pojmenované zařízení a vrátí handle, přes který jej lze ovládat (Př. DWORD ftStatus=FT_OpenEx("Power Supply", FT_OPEN_BY_DESCRIPTION, &ft);),
- FTSetBaudRate – nastavení přenosové rychlosti zařízení (př. FT_SetBaudRate(ft,9600);),
- FT_SetTimeouts – nastaví time-outy pro operace čtení a zápis (př. FT_SetTimeouts(ft,100,100);),
- FT_Write – zápis data do zařízení (př. FT_Write(ft,&WVOLT,1,&pocet);),
- FT_Read – čte data ze zařízení (př. FT_Read(ft,&RVOLT,1,&pocet);),
- FT_Close - zavře zařízení určené jeho handle (př. FT_Close(ft);),
- FT_GetModemStatus - zjistí aktuální stav zařízení (př. FT_GetModemStatus(ft,&Stav);).

Tento jednoduchý výčet základních funkcí nám postačuje k vytvoření vlastního programu, jímž budeme komunikovat prostřednictvím obvodu FT232BM s mikrokontrolérem.

3.5.1 Ovládací program

Ovládací program je vytvořen v prostředí Borland C++ a využívá se knihovny FTD2XX.LIB. Samozřejmě nemá cenu celý program sem vkládat a podrobně ho popisovat. Program je dodán na přiloženém CD a je celý patřičně komentovaný. My si popíšeme funkci programu na vývojovém diagramu (viz. obr. 24) a ovládání grafického rozhraní (viz. obr. 25).



Obr. 24: Vývojový diagram programu ve vývojovém prostředí C++ Builder.

Na obr. 25 vidíme grafické rozhraní pro ovládání zdroje z PC. Na tomto rozhraní můžeme přečíst aktuální hodnotu napětí (1) a proudové pojistky (2), která je nastavena na fyzickém zdroji. Pomocí ScrollBarů pro napětí (5) a proudovou pojistku (6) můžeme měnit velikost výstupních parametrů zdroje a jejich kontrolu provádíme v rámečkách 3 a 4. Po správně nastavených změnách výstupních parametrů zdroje se tyto parametry odešlou do mikrokontroléru pomocí tlačítka „Nastavit“. Po nastavení parametrů na fyzickém zdroji mikrokontrolér odešle tyto hodnoty zpět a tím se nastaví položky 1 a 2. Také dojde k ověření shodnosti vyslaných a přijatých dat pro případnou chybu komunikace.



Obr. 25: Grafického rozhraní pro ovládání zdroje

3.6 Ovládací program pro mikrokontrolér

Na obr. 26 je znázorněn vývojový diagram pro ovládací program mikrokontroléru. Programy pro oba zdroje jsou v principu totožné, proto si vysvětlíme program pouze pro zdroj s digitálními potenciometry, jelikož tento zdroj je umístěn do konstrukční krabíčky. Program byl napsán v prostředí AVR Studia firmy ATMEL.

Na začátku programu dojde nejprve k inicializaci LCD displeje, vnitřních A/D převodníků, V/V portů a jednotky USART pro komunikaci s PC. Následuje výpis ovládacího menu na displej.

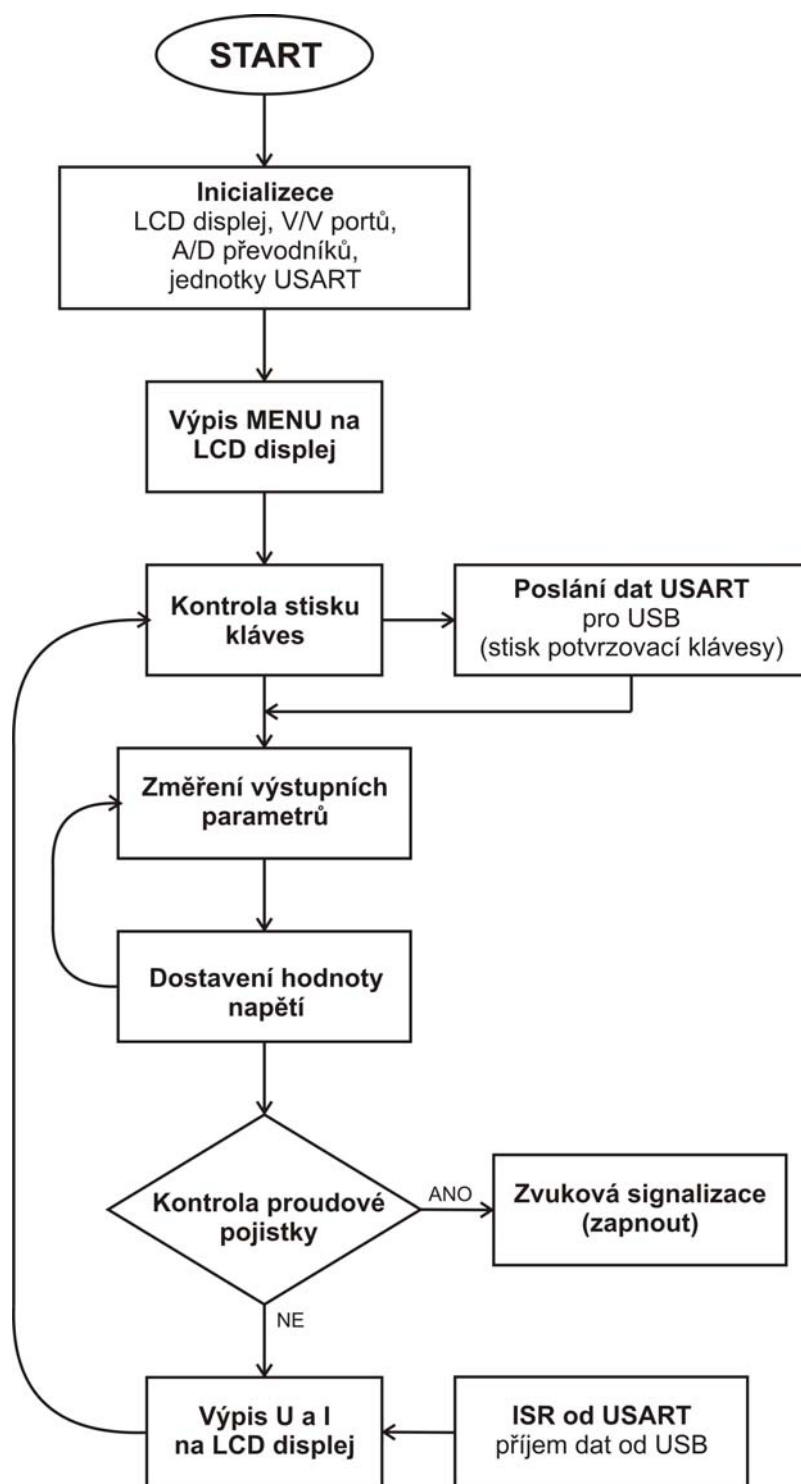
Následně se program dostane do nekonečné smyčky, kde vždy kontroluje, jestli není stisknuta klávesa. Patnáct kláves z šestnácti funguje jen na úpravu výstupních parametrů zdroje. Pokud je stisknuta poslední šestnáctá klávesa, dojde k nastavení výstupních parametrů podle hodnot na displeji a dochází k zaslání těchto parametrů pomocí jednotky USART do převodníku FT232BM.

Následovně se změří výstupní parametry na fyzickém zdroji a v případě, že hodnota napětí nesouhlasí, dojde k její dostavění na požadovanou hodnotu.

Dále v nekonečné smyčce dojde k ověření, jestli není překročena velikost proudové pojistky. Tato indikace se provádí měřením napětí za komparátorem. Při překlopení komparátoru se objeví na jeho výstupu kladné saturační napětí a tím se přivede napětí na LED diody, která se díky tomu rozsvítí a mi indikujeme proudové omezení. Následně se spustí zvuková signalizace jako reakce na proudové omezení.

Na konci programu dojde k výpisu výstupních parametrů zdroje na LCD displej.

Příjem jednotky USART, tedy příjem od obvodu FT232BM (USB převodník) je řešen v přerušení. Jakmile jsou data přijata, dochází k jejich opětovnému poslání do PC, kde program ověří, jestli data jsou stejná jako vyslaná.



Obr. 26: Vývojový diagram pro ovládací program mikrokontroléru.

4 DALŠÍ KOMPONENTY ZDROJE A KONSTRUKČNÍ KRABÍČKA

V této kapitole si nejprve přiblížíme návrh usměrňovače s filtrem pro získání stejnosměrného napětí pro napájení zdroje ze sekundárního vinutí transformátoru. Následně si podrobně přiblížíme činnost elektronicky spínané ochrany proti tepelným účinkům na tranzistoru (elektronicky spínaný ventilátor) a přiblížíme si celou koncepci umístění jednotlivých komponent do konstrukční krabíčky.

4.1 Návrh usměrňovače a filtru

V konstrukci usměrňovače bude použit můstkový (Graetzův) dvoucestný usměrňovač se setrvačnou zátěží. Vstupní napětí do usměrňovače bude přivedeno ze sekundárního vinutí transformátoru s výstupními parametry $U_{ef} = 2 \times 24 \text{ V}$ ($2 \times 2 \text{ A}$). Pro tento účel byl vybrán můstek, který má maximální vstupní napětí 250 V a proud 3 A. Maximální úbytek na můstku je $U_F = 1,1 \text{ V}$.

Po usměrnění bude velikost výstupního napětí U_{OUT} přibližně [3]

$$U_{OUT} = (U_{INef} \cdot \sqrt{2}) - U_F. \quad (4.1)$$

Po dosazení do vztahu (4.1) získáme hodnotu výstupního stejnosměrného napětí

$$U_{OUT} = (U_{INef} \cdot \sqrt{2}) - 2 \cdot U_F = (24 \cdot \sqrt{2}) - 1,1 = \underline{32,84 \text{ V}}. \quad (4.2)$$

Velikost $U_{OUT} = 32,84 \text{ V}$ je pro naše účely dostačující.

Dále musíme stanovit velikost filtračního kondensátoru. Pro výpočet kondensátoru použijte následující vztah [3]

$$C = \frac{300 \cdot I_{OUTmax}}{p \cdot U_{OUT}} \quad (4.3)$$

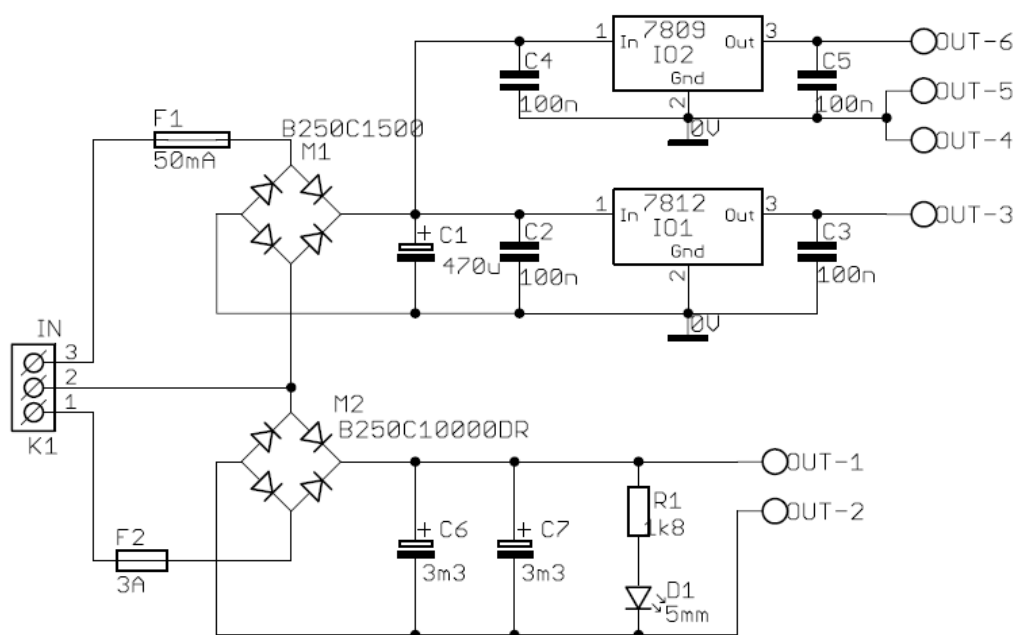
kde I_{OUTmax} je stejnosměrný výstupní proud v mA, p je maximální zvlnění výstupního napětí v procentech a U je stejnosměrné výstupní napětí ve voltech.

Po dosazení do vztahu (4.3) získáváme hodnotu filtračního kondensátoru

$$C = \frac{300 \cdot I}{p \cdot U_2} = \frac{300 \cdot 2000}{3 \cdot 34,37} = 5819 \mu F \Rightarrow \text{zvolíme } \underline{C = 6600 \mu F}. \quad (4.4)$$

Po výběru z katalogu a příslušné řady volíme dva kondensátory 3,3 mF.

Výsledné schéma zapojení usměrňovače je zobrazeno na obr. 27.



Obr. 27: Schéma zapojení usměrňovače s filtrem

Usměrňovač je úmyslně vytvořen na samotné desce plošného spoje, aby mohl být použit pro obě varianty zdroje a vhodně umístěn do konstrukční krabíčky.

Ze schématu je patrné, že z jednoho sekundárního vinutí transformátoru je usměrněno a filtrováno napětí pro napájení našeho zdroje a z druhého vinutí získáváme napětí 9 V a 12 V. Tyto napětí jsou vytvořeny pro napájení elektronicky spínaného ventilátoru.

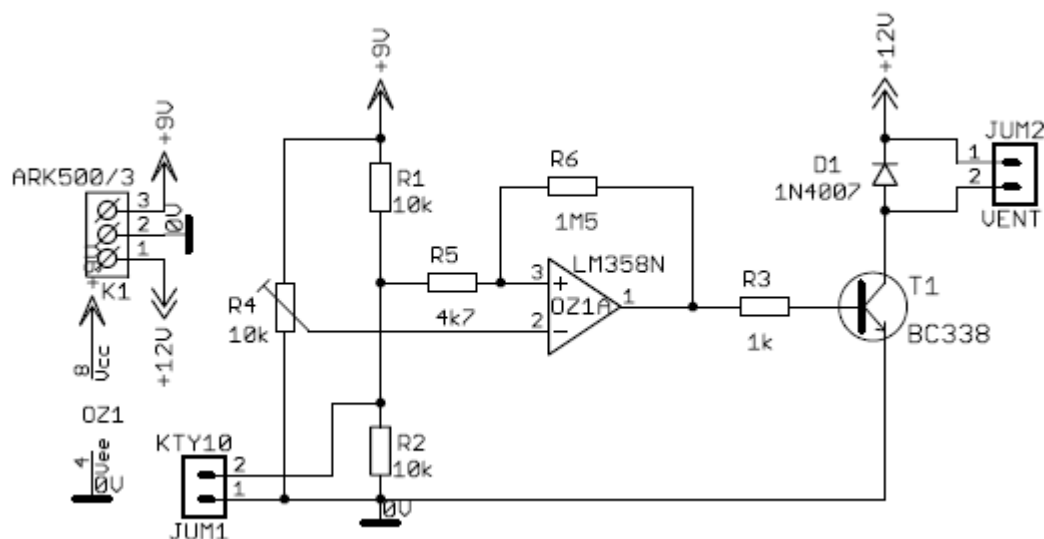
4.2 Elektronicky spínaný ventilátor [13]

Obvod je tvořen operačním zesilovačem OZ_1 (LM358N), jenž je zapojen jako komparátor s hysterezí. V zapojení je použito čidlo KTY-10, které mění svůj odpor v závislosti na teplotě. Čidlo je připevněno na chladič.

Pomocí odporového trimru R_4 nastavujeme spínací úroveň komparátoru (teplota spínání by měla být zhruba 50 - 60°C).

Jakmile je napětí na invertujícím vstupu OZ větší než na neinvertujícím, tak na bázi tranzistoru je napětí záporné saturace (v našem případě napájíme OZ nesymetricky, tzn. že na výstupu bude napětí blíží se 0 V) a tranzistor je uzavřený a tím je ventilátor odpojený. Jakmile napětí na neinvertujícím vstupu OZ přesáhne napětí na vstupu invertujícím dochází k překlopení komparátoru a na jeho výstupu se objevuje napětí kladné saturace (tedy o něco méně než 9 V) a tím se tranzistor otevře a tím dojde ke zpuštění ventilátoru.

K ventilátoru je paralelně připojena dioda v závěrném směru, která ho chrání před napěťovými špičkami.



Obr. 28: Schéma zapojení elektronického spínání ventilátoru (převzato z [13])

4.3 Konstrukční krabice

Zdroj s digitálními potenciometry je umístěn do plastové krabice U-KP14 (s rozměry 92 x 217 x 235 mm). Krabice se skládá z horního a spodního dílu a ze předního a zadního panelu.

Přední a zadní panely jsou zkonstruovány z kuprexitu. Do těchto panelů bylo pomocí automatické frézy udělány otvory pro jednotlivé součásti panelů (návrhy jsem provedl v prostředí Eagle a jsou k dispozici na doprovodném CD).



Obr. 29: Přední panel konstrukční krabice

Přední panel, jak je patrné z obr. 29 se skládá z vypínače (maximální napětí 250 V a maximální proud 6,5 A), LCD displeje, konektorů s výstupy zdroje a s maticové klávesnice. Dále je opatřen optickou signalizací proudové pojistky a komunikace mikrokontroléru s PC. Za předním panelem je dále umístěn subpanel, který slouží pro uchycení jednotlivých částí předního panelu. Je zde umístěn hlavně z důvodu, aby

nebyli vidět na předním panelu použité šroubky.

Z LCD displeje (viz. obr. 30) můžeme odečítat hodnotu nastaveného a měřeného okamžitého výstupního napětí zdroje. Dále také nastavenou hodnotu proudové pojistky a měřený odebíraný proud zátěží.



Obr. 30 LCD displej (1. Nastavené výstupní napětí zdroje, 2. Okamžité měřené výstupní napětí zdroje, 3. Nastavená hodnota proudové pojistky, 4. Okamžitý měřený odebíraný proud zátěží)

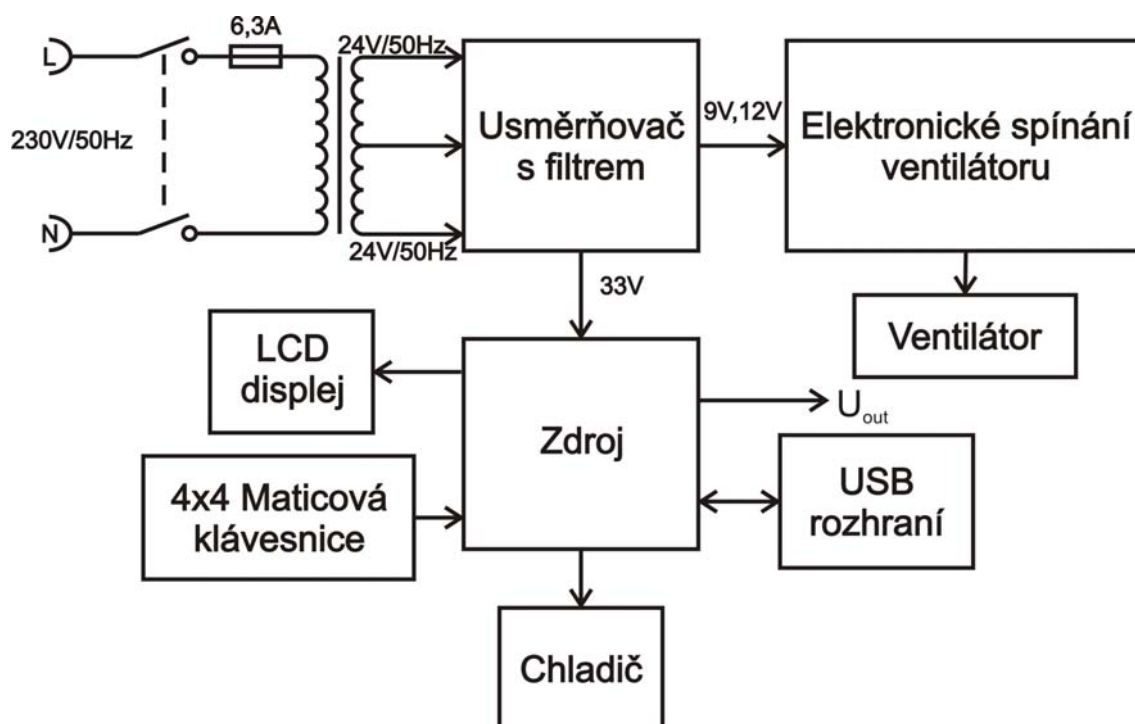
Maticová klávesnice má celkem šestnáct znaků (viz. kap. 3.2), kterými nastavujeme výstupní parametry zdroje.

Na obr. je uspořádání zadního panelu. Na panelu se nachází euro konektor pro přívod síťového napájení, pojistka (6,3 A) a ventilátor.



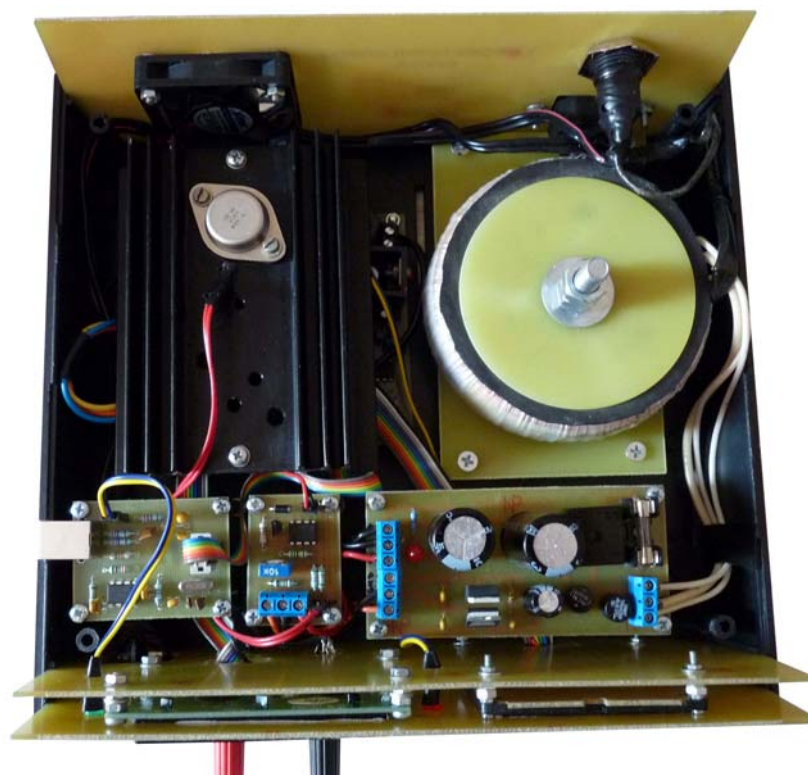
Obr. 31: Zadní panel konstrukční krabičky

Celý zdroj je zdroj je poté sestaven podle blokového schématu na obr. 32 .



Obr. 32: Blokové schéma celkového sestavení zdroje

Náhled sestavení zdroje je patrný z obr. 33 .



Obr. 33: Vnitřní uspořádání konstrukční krabičky

Vstupní síťové napětí je přivedeno na kolébkový spínač, který je umístěn na předním panelu. Ze spínače je potom fázový vodič síťového napětí veden na pojistku, která je připevněna na zadní části zdroje. Propojovací kabely jsou vedeny okolo levé stěny krabičky. Následně jsou fázový a nulový vodič připevněny k transformátoru.

Transformátor je upevněn na kuprexidové desce, jenž je spojena ze spodní částí konstrukční krabičky pomocí distančních sloupků. Toto řešení bylo použito z důvodu, aby nebyla spodní umělohmotná část zbytečně moc namáhána v jednom bodě, ale aby se celková hmotnost toroidního transformátoru rozdělila mezi čtyři body, v kterých je kuprexid přišroubován právě ke spodní části konstrukční krabičky.

Výstupní napětí z obou sekundárních vedení transformátoru jsou přivedeny do usměrňovače s filtrem. Odtud je dále napájeno elektronické spínání ventilátoru a zdroj.

Zdroj je dále spojen s USB rozhraním, LCD displejem, maticovou klávesnicí a chladičem. Na chladiči je umístěn výkonový tranzistor KD605 a čidlo KTY-10 (pro měření teploty).

Výstupní konektory, na které je přivedeno výstupní napětí zdroje, jsou umístěny na předním panelu.

5 ZÁVĚR

Zadáním diplomové práce bylo navrhnout digitálně řízený laboratorní zdroj, který bude mít také digitálně nastavitelnou proudovou pojistku. Musí být ověřena správnost celého zapojení pomocí počítačové analýzy. Dále zdroj musí komunikovat s PC a musí být vytvořený ovládací software pro mikrokontrolér.

V diplomové práci byli navrženy celkem dvě varianty digitálně řízeného laboratorního zdroje. První z nich je řízena D/A převodníkem a druhá digitálními potenciometry. Práce byla rozvinuta o druhou variantu z důvodu, abychom mohli posoudit, které řízení má lepší vlastnosti.

Funkci obou zapojení a vhodnou velikost součástek jsem ověřil počítačovou analýzou v programu OrCAD. Obě verze zdroje byly následně umístěny na desku plošných spojů, osazeny a úspěšně oživeny. Hlavní srovnávací charakteristikou nám může být výkonová zatěžovací charakteristika. Z těchto charakteristik je patrné, že zdroj s D/A převodníkem při překročení maximálního nastaveného proudu zátěží sníží výstupní napětí na 0 V, zatímco u zdroje s digitálními potenciometry funguje proudové omezení. Zdroj se snaží udržet maximální proud zátěží, tím že snižuje výstupní napětí zdroje.

Práce se dále zabývá návrhem digitální části zdroje. Jádrem části je mikrokontrolér ATmega16 od firmy ATMEL. K mikrokontroléru jsou připojené další periferie. Těmito periferiemi jsou LCD displej, 4x4 maticová klávesnice a USB rozhraní. Pro mikrokontrolér byl vytvořen ovládací software v prostředí AVR Studia.

USB rozhraní je vytvořeno samostatně na desce plošného spoje, aby se dalo použít v obou variantách. Jádrem této periferie je převodník FT232BM (převodník USB → UART). V prostředí Builder C++ jsem vytvořil program, jehož prostřednictvím můžeme měnit velikost výstupních parametrů fyzického zdroje.

Hlavní rozdíly mezi zdroji jsou v ovládání výstupního napětí zdroje a také v řešení proudové pojistky.

Výstupní napětí je řízeno podle verze zdroje, buďto D/A převodníkem nebo digitálními potenciometry. Zatímco výstupní napětí z D/A převodníku zesilujeme na požadovanou hodnotu, tak digitálními potenciometry nahradíme analogové potenciometry a nemusíme přitom nějak zvláště měnit zapojení zdroje.

Hlavní nevýhodou zdroje s D/A převodníkem je softwarově řízená proudová pojistka. Průměrná reakce mikrokontroléru na proudovou špičku je několik desítek ms. Tato hodnota je závislá na pozici v programu v mikrokontroléru při příchodu této proudové pojistky. Zdroj s digitálními potenciometry obsahuje analogově řízenou pojistku, která se používá ve standardních analogových zdrojích. Mikrokontrolér nemá na funkci proudové pojistky vůbec žádný vliv, jen na velikost maximálního proudu tekoucího přes zátěž. Jelikož digitální potenciometr disponuje určitým odporem jezdcem, tak nemůžeme na zdroji nastavit 0 V. Toto je největší nevýhoda tohoto zdroje. Nejnižší možné napětím zdroje je 300 mV.

Na závěr diplomové práce je popsáno umístění zdroje s digitálními potenciometry do konstrukční krabičky. Dále je zde nastíněn návrh ostatních částí zdroje. Mezi tyto

části patří elektronického spínání ventilátoru a usměrňovače s filtrem. Následně je podrobně popsáno celkové vnitřní uspořádání zdroje.

Zadání této diplomové práce jsem tedy kompletně dodržel a ještě nad rámec zadání projektu jsem navrhl druhý elektronicky řízený napájecí zdroj a umístil zdroj s digitálními potenciometry do konstrukční krabíčky.

LITERATURA

- [1] VRBA, K., HERMAN, I., KUBÁNEK, D. Konstrukce elektronických zařízení. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007.
- [2] BRANČÍK, L., DOSTÁL, T. Analogové elektronické obvody. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007.
- [3] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje I. Praha: BEN - technická literatura, 1998, 350 s. ISBN 80-86056-02-3.
- [4] COUFAL, T. Laboratorní zdroj řízený mikroprocesorem [online]. Dostupné na www: < <http://hw.cz/teorie-praxe/konstrukce/art2086-laboratorni-zdroj-rizeny-mikroprocesorem.html>>.
- [5] KAINKA, BURKHARD. USB. Měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 247 s. ISBN 80-7300-073-3.
- [6] ANALOG DEVICES : AD5290: Compact +30V/±15V 256-Position Digital Potentiometer [online]. Dostupné z URL: < http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5290.pdf>.
- [7] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 320 s. ISBN 80-7300-174-8.
- [8] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES : FT232BM [online]. Dostupné z URL: < http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/DS_FT232BM.pdf>.
- [9] KUBÁNEK, D., VRBA K., Použití digitálních potenciometrů k řízení parametrů kmitočtových filtrů [online]. 2008, poslední aktualizace 12.11.2008 [cit. 29. 4. 2009]. Dostupné z URL: < <http://www.elektrorevue.cz/clanky/02050/index.html>>.
- [10] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 376 s. ISBN 80-7300-209-4.
- [11] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA, M. Napájení elektronických zařízení. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.
- [12] MATOUŠEK, D. USB prakticky.1. díl,S obvody FTDI. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 270 s. ISBN 80-7300-103-9.
- [13] PŮHONÝ, J. Laboratorní zdroj 0-30V/2mA-3A [online]. Dostupné na www: < <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART1628-Laboratorni-zdroj-0-30V-2mA-3A.html>>.

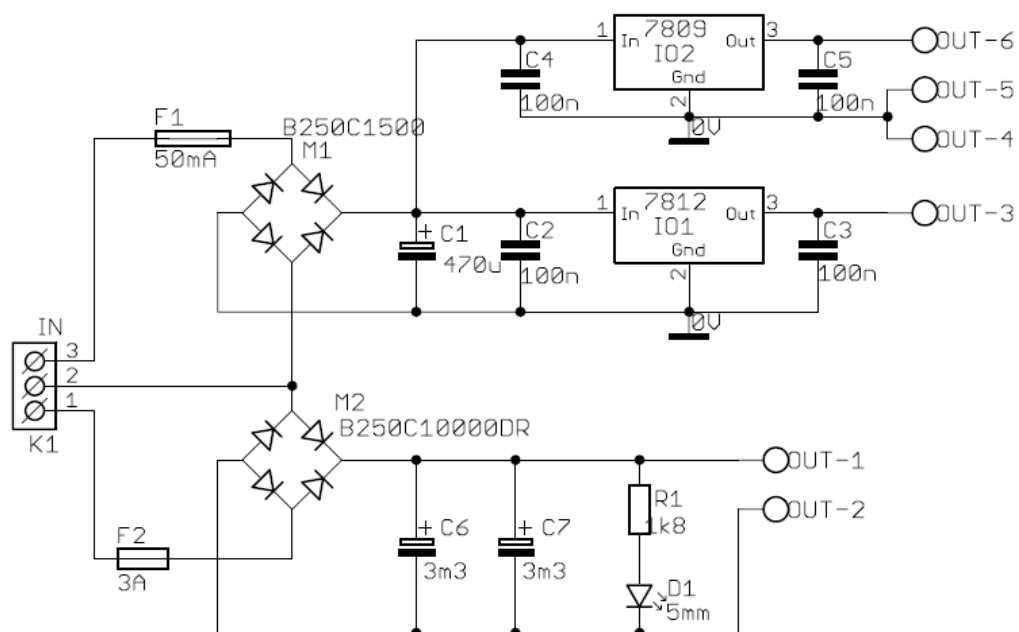
SEZNAM PŘÍLOH

A	Návrh USMĚRŇOVAČE A FILTRU	41
A.1	Obvodové zapojení	41
A.2	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	41
A.3	Osazovací plánec – top (strana součástek)	42
B	První varianta zdroje s využitím D/A převodníku	43
B.1	Obvodové zapojení	43
B.2	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	44
B.3	Osazovací plánec – top (strana součástek)	44
C	Druhá varianta zdroje s využitím digitálních potenciometrů	45
C.1	Obvodové zapojení	45
C.2	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	46
C.3	Osazovací plánec – top (strana součástek)	46
C.4	Osazovací plánec – button (strana spojů)	47
D	Propojení mikrokontroléru s PC	48
D.1	Obvodové zapojení	48
D.2	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	48
D.3	Osazovací plánec – top (strana součástek)	49
D.4	Osazovací plánec – button (strana spojů)	49
E	Elektronicky spínaný ventilátor	50
E.1	Obvodové zapojení	50
E.2	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	50
E.3	Osazovací plánec – top (strana součástek)	50
F	Návrh panelů	51
F.1	Návrh předního panelu.....	51
F.2	Návrh zadního panelu	51
F.3	Návrh předního subpanelu	52
G	Tabulky hodnot výkonových zatěžovacích charakteristik	53
G.1	Zdroj s D/A převodníkem (5 V)	53

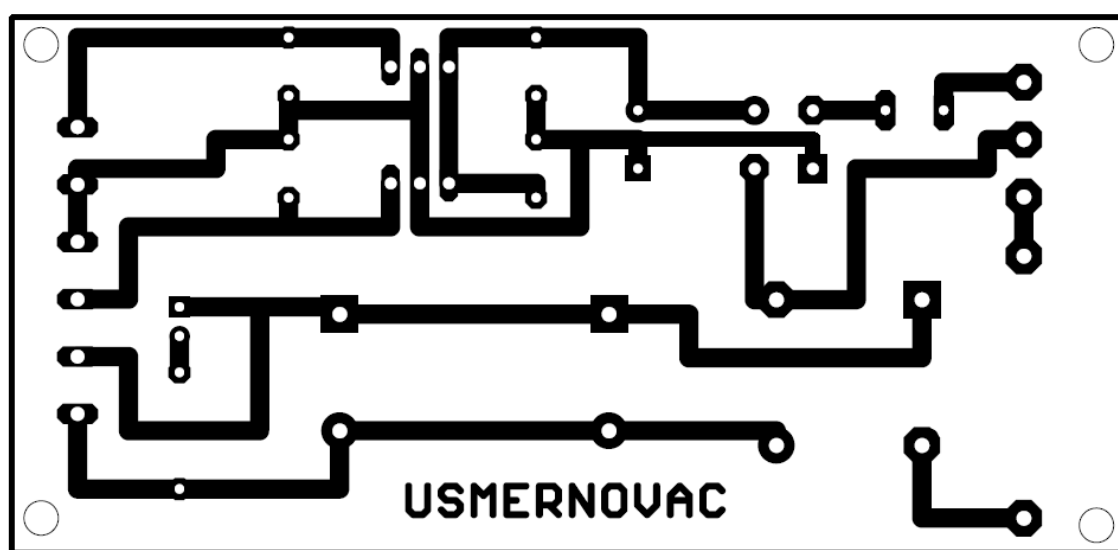
G.2	Zdroj s D/A převodníkem (30 V)	54
G.3	Zdroj s digitálními potenciometry (5 V).....	55
G.4	Zdroj s digitálními potenciometry (15 V).....	56
G.5	Zdroj s digitálními potenciometry (20 V).....	57
H	konstrukční krabice	59
I	Zdroj s D/A převodníkem	59

A NÁVRH USMĚRŇOVAČE A FILTRU

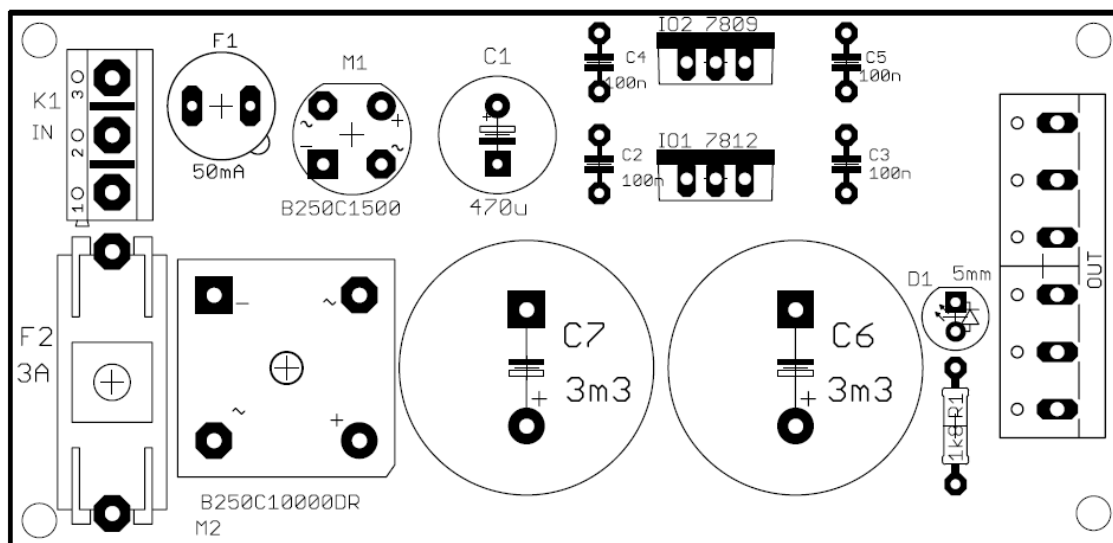
A.1 Obvodové zapojení



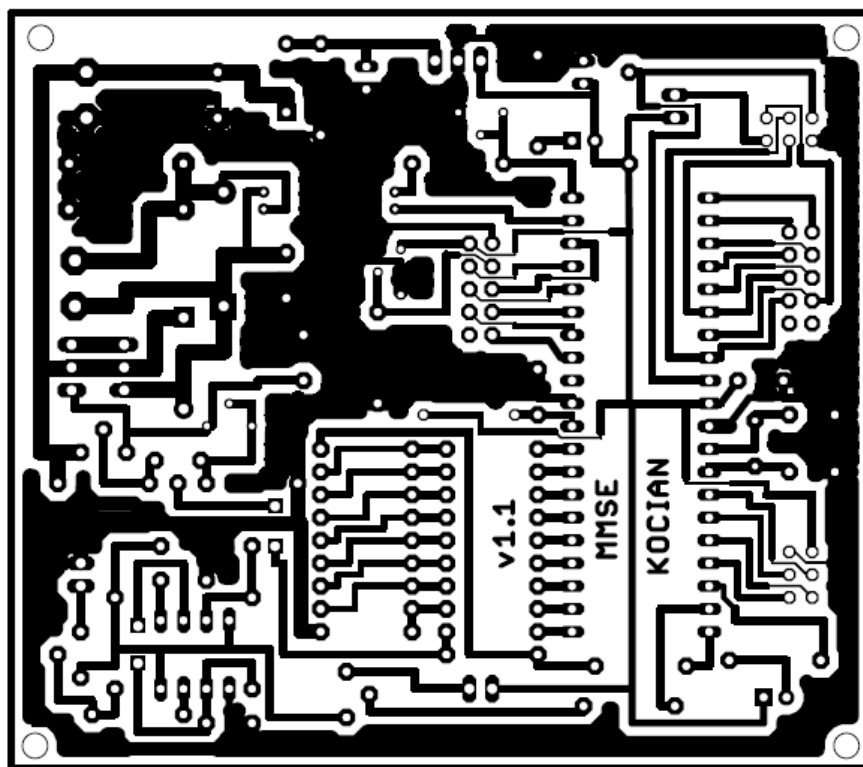
A.2 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)



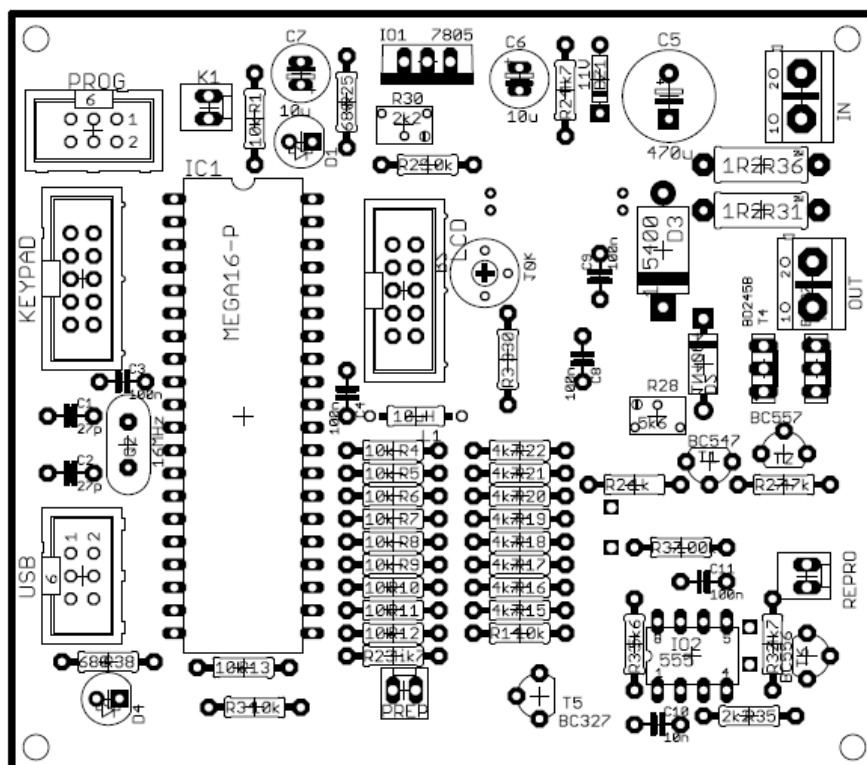
A.3 Osazovací plánek – top (strana součástek)



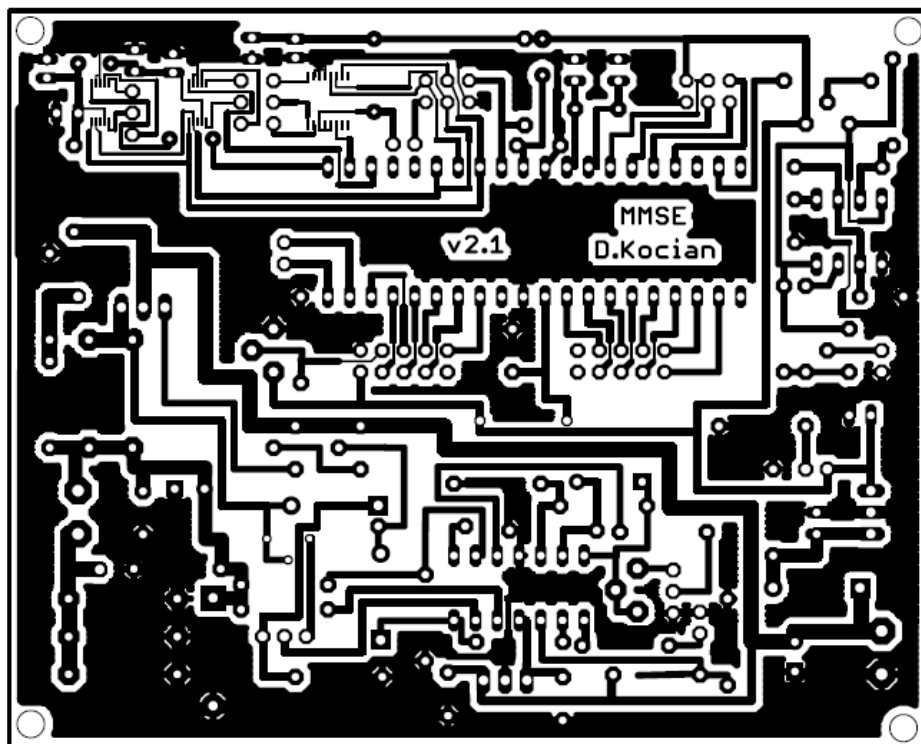
B.2 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)



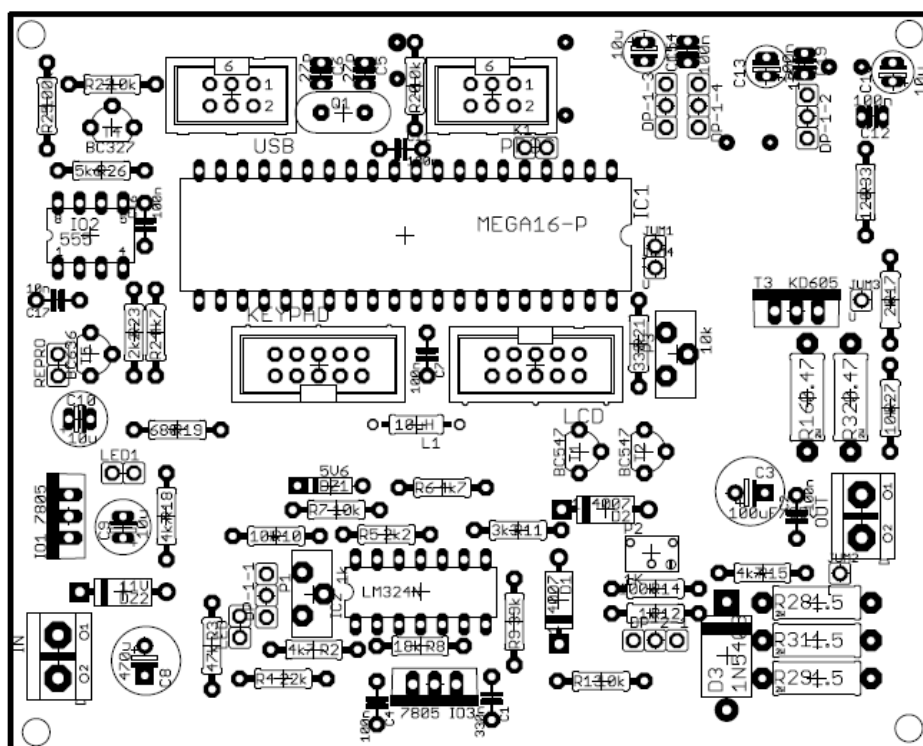
B.3 Osazovací pláněk – top (strana součástek)



C.2 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)



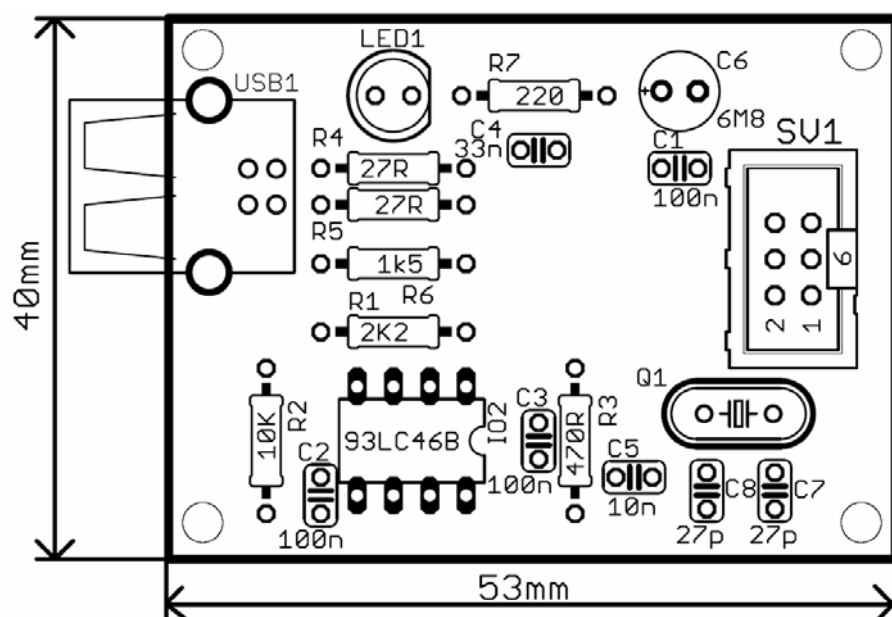
C.3 Osazovací plánek – top (strana součástek)



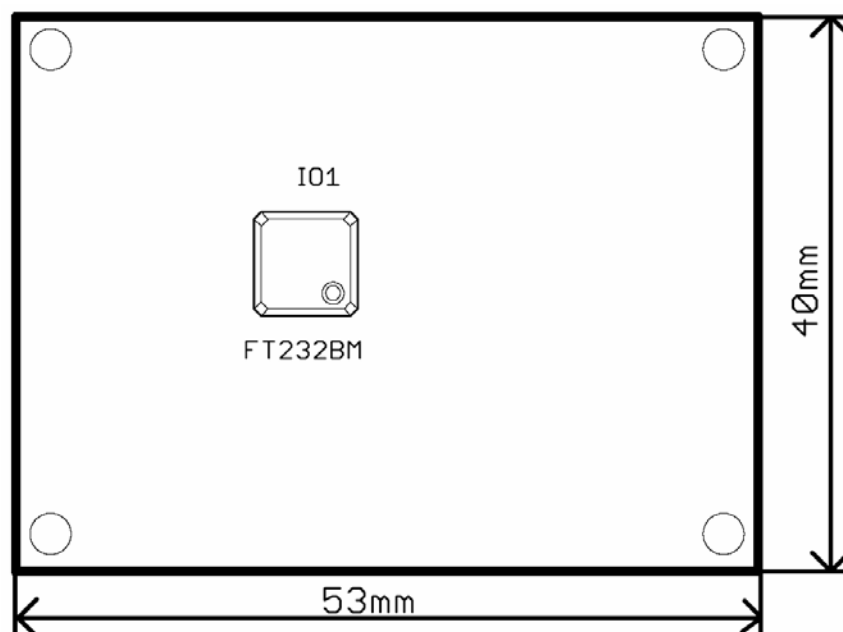
C.4 Osazovací plánec – button (strana spojů)



D.3 Osazovací plánec – top (strana součástek)

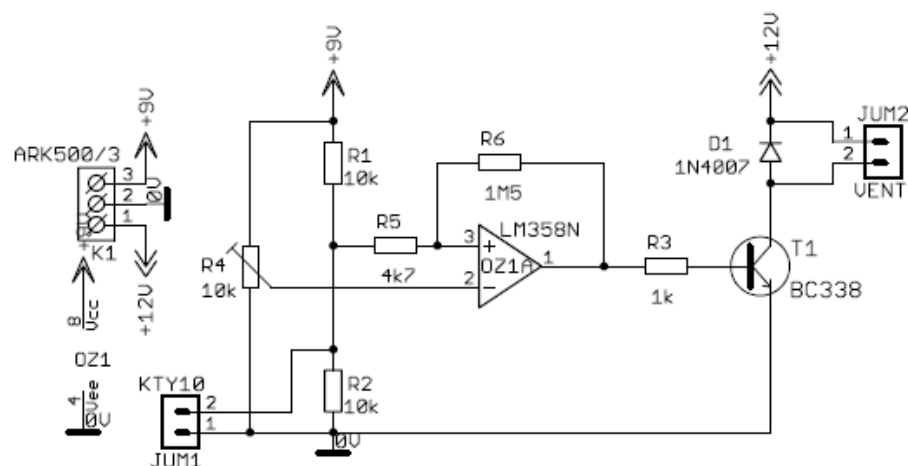


D.4 Osazovací plánec – button (strana spojů)

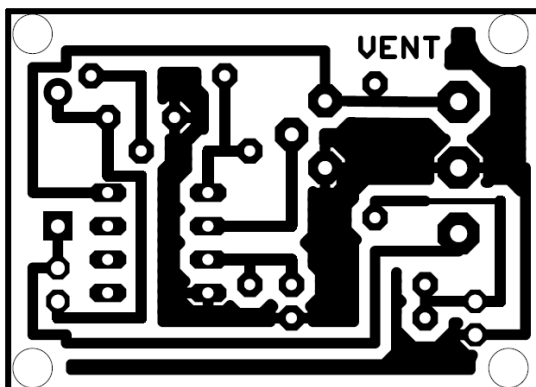


E ELEKTRONICKÝ SPÍNANÝ VENTILÁTOR

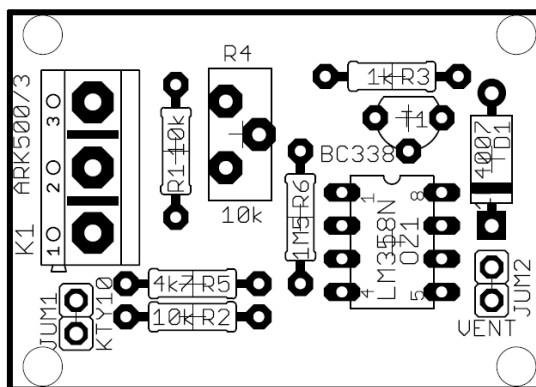
E.1 Obvodové zapojení



E.2 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)

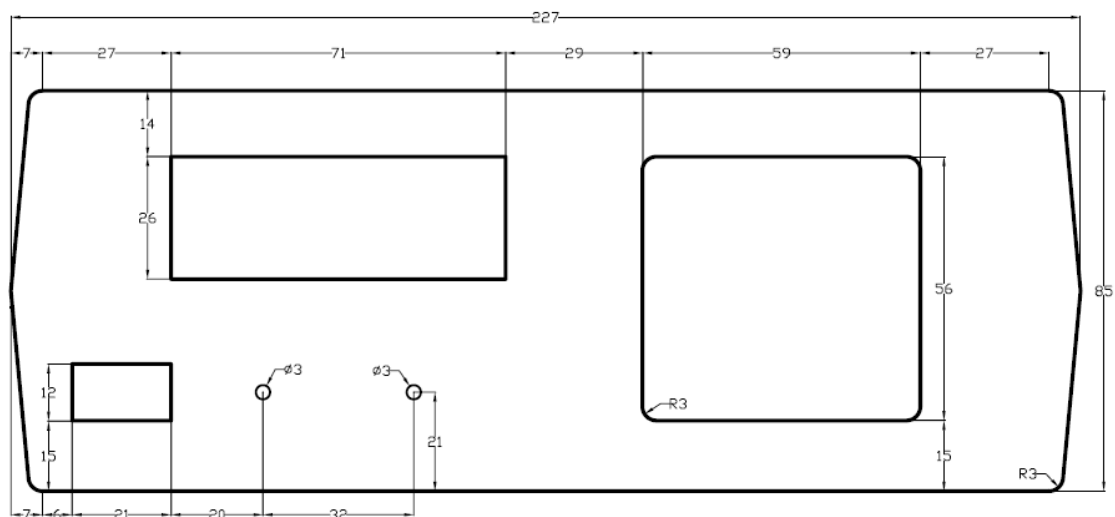


E.3 Osazovací pláněk – top (strana součástek)

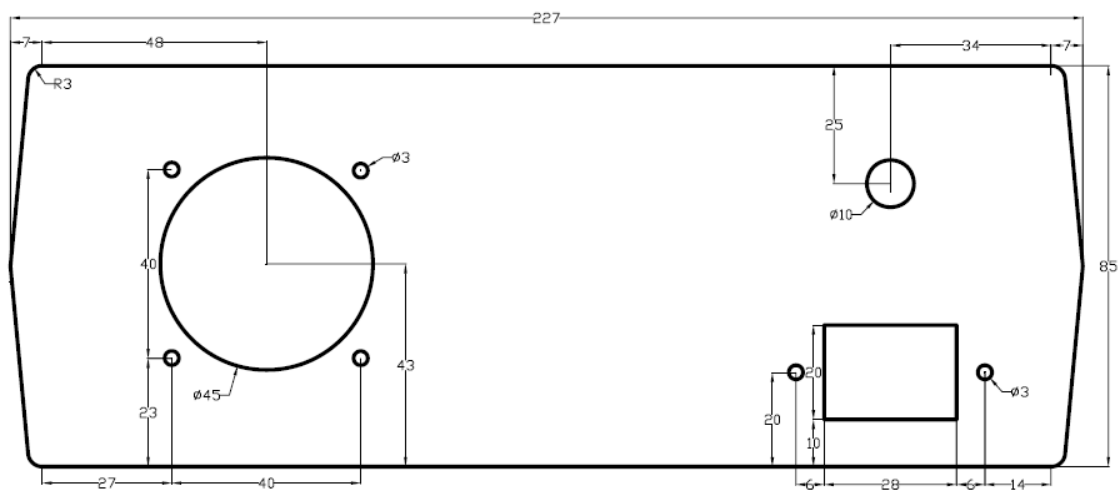


F NÁVRH PANELŮ

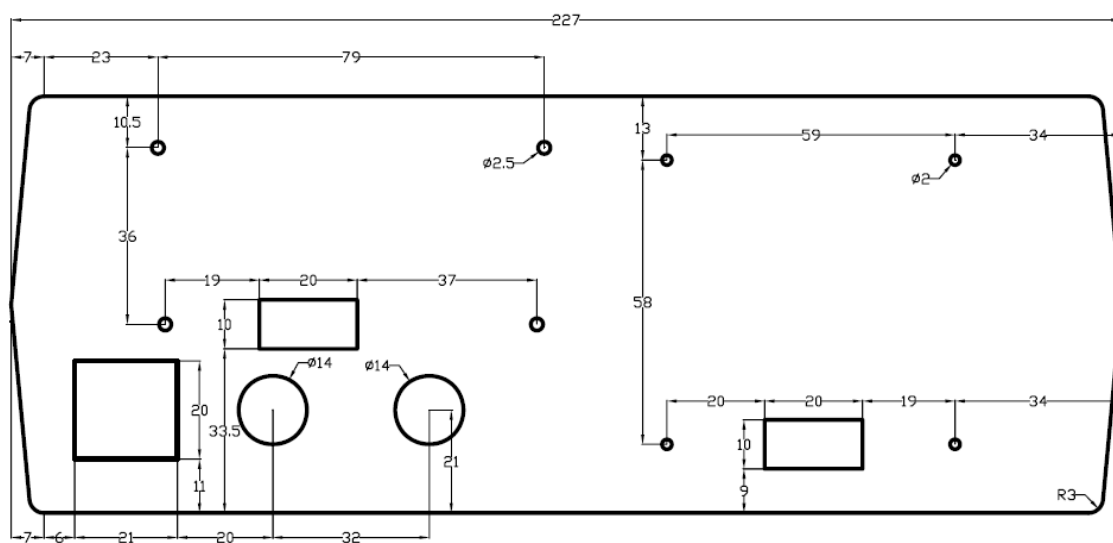
F.1 Návrh předního panelu



F.2 Návrh zadního panelu



F.3 Návrh předního subpanelu



G TABULKY HODNOT VÝKONOVÝCH ZATĚŽOVACÍCH CHARAKTERISTIK

G.1 Zdroj s D/A převodníkem (5 V)

U _{out}	I _{out}	U _{out}	I _{out}	U _{out}	I _{out}	U _{out}	I _{out}
5,00	0,01	5,00	0,51	5,00	1,01	5,00	1,51
5,00	0,02	5,00	0,52	5,00	1,02	5,00	1,52
5,00	0,03	5,00	0,53	5,00	1,03	5,00	1,53
5,00	0,04	5,00	0,54	5,00	1,04	5,00	1,54
5,00	0,05	5,00	0,55	5,00	1,05	5,00	1,55
5,00	0,06	5,00	0,56	5,00	1,06	5,00	1,56
5,00	0,07	5,00	0,57	5,00	1,07	5,00	1,57
5,00	0,08	5,00	0,58	5,00	1,08	5,00	1,58
5,00	0,09	5,00	0,59	5,00	1,09	5,00	1,59
5,00	0,10	5,00	0,60	5,00	1,10	5,00	1,60
5,00	0,11	5,00	0,61	5,00	1,11	5,00	1,61
5,00	0,12	5,00	0,62	5,00	1,12	5,00	1,62
5,00	0,13	5,00	0,63	5,00	1,13	5,00	1,63
5,00	0,14	5,00	0,64	5,00	1,14	5,00	1,64
5,00	0,15	5,00	0,65	5,00	1,15	5,00	1,65
5,00	0,16	5,00	0,66	5,00	1,16	5,00	1,66
5,00	0,17	5,00	0,67	5,00	1,17	5,00	1,67
5,00	0,18	5,00	0,68	5,00	1,18	5,00	1,68
5,00	0,19	5,00	0,69	5,00	1,19	5,00	1,69
5,00	0,20	5,00	0,70	5,00	1,20	5,00	1,70
5,00	0,21	5,00	0,71	5,00	1,21	5,00	1,71
5,00	0,22	5,00	0,72	5,00	1,22	5,00	1,72
5,00	0,23	5,00	0,73	5,00	1,23	5,00	1,73
5,00	0,24	5,00	0,74	5,00	1,24	5,00	1,74
0,00	0,25	0,00	0,75	0,00	1,25	0,00	1,75
5,00	0,26	5,00	0,76	5,00	1,26		
5,00	0,27	5,00	0,77	5,00	1,27		
5,00	0,28	5,00	0,78	5,00	1,28		
5,00	0,29	5,00	0,79	5,00	1,29		
5,00	0,30	5,00	0,80	5,00	1,30		
5,00	0,31	5,00	0,81	5,00	1,31		
5,00	0,32	5,00	0,82	5,00	1,32		
5,00	0,33	5,00	0,83	5,00	1,33		
5,00	0,34	5,00	0,84	5,00	1,34		
5,00	0,35	5,00	0,85	5,00	1,35		
5,00	0,36	5,00	0,86	5,00	1,36		
5,00	0,37	5,00	0,87	5,00	1,37		
5,00	0,38	5,00	0,88	5,00	1,38		
5,00	0,39	5,00	0,89	5,00	1,39		
5,00	0,40	5,00	0,90	5,00	1,40		
5,00	0,41	5,00	0,91	5,00	1,41		
5,00	0,42	5,00	0,92	5,00	1,42		
5,00	0,43	5,00	0,93	5,00	1,43		
5,00	0,44	5,00	0,94	5,00	1,44		
5,00	0,45	5,00	0,95	5,00	1,45		
5,00	0,46	5,00	0,96	5,00	1,46		
5,00	0,47	5,00	0,97	5,00	1,47		
5,00	0,48	5,00	0,98	5,00	1,48		
5,00	0,49	5,00	0,99	5,00	1,49		
5,00	0,50	5,00	1,00	5,00	1,50		

G.2 Zdroj s D/A převodníkem (30 V)

Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout
30,00	0,01	30,00	0,51	30,00	1,01	30,00	1,51
30,00	0,02	30,00	0,52	30,00	1,02	30,00	1,52
30,00	0,03	30,00	0,53	30,00	1,03	30,00	1,53
30,00	0,04	30,00	0,54	30,00	1,04	30,00	1,54
30,00	0,05	30,00	0,55	30,00	1,05	30,00	1,55
30,00	0,06	30,00	0,56	30,00	1,06	30,00	1,56
30,00	0,07	30,00	0,57	30,00	1,07	30,00	1,57
30,00	0,08	30,00	0,58	30,00	1,08	30,00	1,58
30,00	0,09	30,00	0,59	30,00	1,09	30,00	1,59
30,00	0,10	30,00	0,60	30,00	1,10	30,00	1,60
30,00	0,11	30,00	0,61	30,00	1,11	30,00	1,61
30,00	0,12	30,00	0,62	30,00	1,12	30,00	1,62
30,00	0,13	30,00	0,63	30,00	1,13	30,00	1,63
30,00	0,14	30,00	0,64	30,00	1,14	30,00	1,64
30,00	0,15	30,00	0,65	30,00	1,15	30,00	1,65
30,00	0,16	30,00	0,66	30,00	1,16	30,00	1,66
30,00	0,17	30,00	0,67	30,00	1,17	30,00	1,67
30,00	0,18	30,00	0,68	30,00	1,18	30,00	1,68
30,00	0,19	30,00	0,69	30,00	1,19	30,00	1,69
30,00	0,20	30,00	0,70	30,00	1,20	30,00	1,70
30,00	0,21	30,00	0,71	30,00	1,21	30,00	1,71
30,00	0,22	30,00	0,72	30,00	1,22	30,00	1,72
30,00	0,23	30,00	0,73	30,00	1,23	30,00	1,73
30,00	0,24	30,00	0,74	30,00	1,24	30,00	1,74
30,00	0,25	30,00	0,75	30,00	1,25	30,00	1,75
30,00	0,26	30,00	0,76	30,00	1,26	30,00	1,76
30,00	0,27	30,00	0,77	30,00	1,27	30,00	1,77
30,00	0,28	30,00	0,78	30,00	1,28	30,00	1,78
30,00	0,29	30,00	0,79	30,00	1,29	30,00	1,79
30,00	0,30	30,00	0,80	30,00	1,30	30,00	1,80
30,00	0,31	30,00	0,81	30,00	1,31	30,00	1,81
30,00	0,32	30,00	0,82	30,00	1,32	30,00	1,82
30,00	0,33	30,00	0,83	30,00	1,33	30,00	1,83
30,00	0,34	30,00	0,84	30,00	1,34	30,00	1,84
30,00	0,35	30,00	0,85	30,00	1,35	30,00	1,85
30,00	0,36	30,00	0,86	30,00	1,36	30,00	1,86
30,00	0,37	30,00	0,87	30,00	1,37	30,00	1,87
30,00	0,38	30,00	0,88	30,00	1,38	30,00	1,88
30,00	0,39	30,00	0,89	30,00	1,39	30,00	1,89
30,00	0,40	30,00	0,90	30,00	1,40	30,00	1,90
30,00	0,41	30,00	0,91	30,00	1,41	30,00	1,91
30,00	0,42	30,00	0,92	30,00	1,42	30,00	1,92
30,00	0,43	30,00	0,93	30,00	1,43	30,00	1,93
30,00	0,44	30,00	0,94	30,00	1,44	30,00	1,94
30,00	0,45	30,00	0,95	30,00	1,45	30,00	1,95
30,00	0,46	30,00	0,96	30,00	1,46	30,00	1,96
30,00	0,47	30,00	0,97	30,00	1,47	30,00	1,97
30,00	0,48	30,00	0,98	30,00	1,48	30,00	1,98
30,00	0,49	30,00	0,99	30,00	1,49	30,00	1,99
0,00	0,50	0,00	1,00	0,00	1,50	0,00	2,00

G.3 Zdroj s digitálními potenciometry (5 V)

U _{out}	I _{out}	U _{out}	I _{out}	U _{out}	I _{out}	U _{out}	I _{out}
5,0	0,00	5,0	0,39	5,0	0,73	4,7	0,99
5,0	0,01	5,0	0,40	5,0	0,74	4,2	0,98
5,0	0,02	5,0	0,41	5,0	0,75	3,8	0,97
5,0	0,03	5,0	0,42	4,2	0,74	3,5	0,96
5,0	0,04	5,0	0,43	3,8	0,73	3,1	0,95
5,0	0,05	5,0	0,44	3,2	0,72	2,7	0,94
5,0	0,06	5,0	0,45	2,9	0,71	2,5	0,93
5,0	0,07	5,0	0,46	2,6	0,70	2,2	0,92
5,0	0,08	5,0	0,47	2,3	0,69	2,0	0,91
5,0	0,09	5,0	0,48	2,0	0,68	1,9	0,90
5,0	0,10	5,0	0,49	1,7	0,66	1,7	0,89
5,0	0,11	5,0	0,50	1,6	0,66	1,5	0,88
5,0	0,12	3,5	0,49	1,4	0,65	1,3	0,87
5,0	0,13	3,1	0,48	1,2	0,64	1,2	0,86
5,0	0,14	2,7	0,47	1,1	0,63	1,0	0,85
5,0	0,15	2,3	0,46	1,0	0,62	0,9	0,84
5,0	0,16	1,9	0,45	0,9	0,61	0,8	0,83
5,0	0,17	1,5	0,44	0,8	0,60	0,7	0,82
5,0	0,18	1,3	0,43	0,7	0,59	0,6	0,81
5,0	0,19	1,1	0,42	0,6	0,57	0,5	0,78
5,0	0,20	1,0	0,41	0,5	0,52	0,4	0,75
5,0	0,21	0,9	0,40	0,4	0,49	0,3	0,73
5,0	0,22	0,8	0,38	0,3	0,41	0,2	0,62
5,0	0,23	0,7	0,37	0,0	0,00	0,0	0,00
5,0	0,24	0,6	0,36	5,0	0,75		
5,0	0,25	0,4	0,29	5,0	0,76		
3,2	0,24	0,0	0,00	5,0	0,77		
2,2	0,23	5,0	0,50	5,0	0,78		
1,6	0,22	5,0	0,51	5,0	0,79		
1,2	0,21	5,0	0,52	5,0	0,80		
0,9	0,20	5,0	0,53	5,0	0,81		
0,8	0,19	5,0	0,54	5,0	0,82		
0,7	0,18	5,0	0,55	5,0	0,83		
0,6	0,16	5,0	0,56	5,0	0,84		
0,5	0,15	5,0	0,57	5,0	0,85		
0,0	0,00	5,0	0,58	5,0	0,86		
5,0	0,25	5,0	0,59	5,0	0,87		
5,0	0,26	5,0	0,60	5,0	0,88		
5,0	0,27	5,0	0,61	5,0	0,89		
5,0	0,28	5,0	0,62	5,0	0,90		
5,0	0,29	5,0	0,63	5,0	0,91		
5,0	0,30	5,0	0,64	5,0	0,92		
5,0	0,31	5,0	0,65	5,0	0,93		
5,0	0,32	5,0	0,66	5,0	0,94		
5,0	0,33	5,0	0,67	5,0	0,95		
5,0	0,34	5,0	0,68	5,0	0,96		
5,0	0,35	5,0	0,69	5,0	0,97		
5,0	0,36	5,0	0,70	5,0	0,98		
5,0	0,37	5,0	0,71	5,0	0,99		
5,0	0,38	5,0	0,72	5,0	1,00		

G.4 Zdroj s digitálními potenciometry (15 V)

Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout
15,0	0,00	15,0	0,38	1,0	0,52	15,0	1,12	15,0	1,23	13,3	1,67
15,0	0,01	15,0	0,39	0,9	0,51	15,0	1,13	15,0	1,24	12,5	1,66
15,0	0,02	15,0	0,40	0,8	0,50	15,0	1,14	15,0	1,25	11,7	1,65
15,0	0,03	15,0	0,41	0,7	0,48	15,0	1,15	15,0	1,26	11,0	1,64
15,0	0,04	15,0	0,42	0,6	0,46	15,0	1,16	15,0	1,27	10,2	1,63
15,0	0,05	15,0	0,43	0,5	0,40	15,0	1,17	15,0	1,28	9,6	1,62
15,0	0,06	15,0	0,44	0,4	0,38	15,0	1,18	15,0	1,29	8,8	1,61
15,0	0,07	15,0	0,45	0,0	0,00	15,0	1,19	15,0	1,30	8,4	1,60
15,0	0,08	15,0	0,46	15,0	0,70	15,0	1,20	15,0	1,31	8,0	1,59
15,0	0,09	15,0	0,47	15,0	0,71	14,4	1,19	15,0	1,32	7,6	1,58
15,0	0,10	15,0	0,48	15,0	0,72	13,0	1,18	15,0	1,33	7,0	1,57
15,0	0,11	15,0	0,49	15,0	0,73	11,9	1,17	15,0	1,34	6,4	1,56
15,0	0,12	15,0	0,50	15,0	0,74	11,0	1,16	15,0	1,35	5,9	1,55
15,0	0,13	15,0	0,51	15,0	0,75	9,7	1,15	15,0	1,36	5,6	1,54
15,0	0,14	15,0	0,52	15,0	0,76	8,9	1,14	15,0	1,37	5,1	1,53
15,0	0,15	15,0	0,53	15,0	0,77	8,2	1,13	15,0	1,38	4,7	1,52
15,0	0,16	15,0	0,54	15,0	0,78	7,6	1,12	15,0	1,39	4,5	1,51
15,0	0,17	15,0	0,55	15,0	0,79	6,9	1,11	15,0	1,40	4,3	1,50
15,0	0,18	15,0	0,56	15,0	0,80	6,2	1,10	15,0	1,41	4,1	1,49
15,0	0,19	15,0	0,57	15,0	0,81	5,7	1,09	15,0	1,42	3,5	1,48
15,0	0,20	15,0	0,58	15,0	0,82	5,2	1,08	15,0	1,43	3,2	1,47
10,4	0,19	15,0	0,59	15,0	0,83	4,7	1,07	15,0	1,44	3,1	1,46
6,7	0,18	15,0	0,60	15,0	0,84	4,2	1,06	15,0	1,45	2,8	1,45
4,3	0,17	15,0	0,61	15,0	0,85	3,9	1,05	15,0	1,46	2,7	1,44
2,4	0,16	15,0	0,62	15,0	0,86	3,6	1,04	15,0	1,47	2,6	1,43
1,5	0,15	15,0	0,63	15,0	0,87	3,3	1,03	15,0	1,48	2,5	1,42
1,2	0,14	15,0	0,64	15,0	0,88	3,0	1,02	15,0	1,49	2,2	1,41
0,9	0,13	15,0	0,65	15,0	0,89	2,7	1,01	15,0	1,50	2,0	1,40
0,7	0,12	15,0	0,66	15,0	0,90	2,4	1,00	15,0	1,51	1,9	1,39
0,6	0,10	15,0	0,67	15,0	0,91	2,3	0,99	15,0	1,52	1,6	1,38
0,5	0,09	15,0	0,68	15,0	0,92	1,9	0,98	15,0	1,53	1,5	1,37
0,0	0,00	15,0	0,69	15,0	0,93	1,8	0,97	15,0	1,54	1,4	1,36
15,0	0,20	15,0	0,70	15,0	0,94	1,6	0,96	15,0	1,55	1,3	1,34
15,0	0,21	12,9	0,69	15,0	0,95	1,5	0,95	15,0	1,56	1,2	1,33
15,0	0,22	11,0	0,68	15,0	0,96	1,3	0,94	15,0	1,57	1,1	1,32
15,0	0,23	9,3	0,67	15,0	0,97	1,2	0,93	15,0	1,58	1,0	1,30
15,0	0,24	8,2	0,66	15,0	0,98	1,1	0,92	15,0	1,59	0,9	1,29
15,0	0,25	6,9	0,65	15,0	0,99	1,0	0,91	15,0	1,60	0,8	1,28
15,0	0,26	6,2	0,64	15,0	1,00	0,9	0,90	15,0	1,61	0,7	1,27
15,0	0,27	5,1	0,63	15,0	1,01	0,8	0,89	15,0	1,62	0,6	1,25
15,0	0,28	4,3	0,62	15,0	1,02	0,7	0,88	15,0	1,63	0,5	1,23
15,0	0,29	3,8	0,61	15,0	1,03	0,6	0,86	15,0	1,64	0,4	1,21
15,0	0,30	3,3	0,60	15,0	1,04	0,5	0,81	15,0	1,65	0,0	0,00
15,0	0,31	2,8	0,59	15,0	1,05	0,4	0,78	15,0	1,66		
15,0	0,32	2,4	0,58	15,0	1,06	0,3	0,72	15,0	1,67		
15,0	0,33	2,0	0,57	15,0	1,07	0,2	0,70	15,0	1,68		
15,0	0,34	1,7	0,56	15,0	1,08	0,0	0,00	15,0	1,69		
15,0	0,35	1,5	0,55	15,0	1,09	15,0	1,20	15,0	1,70		
15,0	0,36	1,2	0,54	15,0	1,10	15,0	1,21	14,5	1,69		
15,0	0,37	1,1	0,53	15,0	1,11	15,0	1,22	14,2	1,68		

G.5 Zdroj s digitálními potenciometry (20 V)

Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout
20,0	0,00	20,0	0,50	20,0	0,75	0,9	0,72	20,0	1,43
20,0	0,01	16,3	0,49	20,0	0,76	0,7	0,69	20,0	1,44
20,0	0,02	12,7	0,48	20,0	0,77	0,6	0,67	20,0	1,45
20,0	0,03	10,8	0,47	20,0	0,78	0,5	0,66	20,0	1,46
20,0	0,04	7,8	0,46	20,0	0,79	0,4	0,62	20,0	1,47
20,0	0,05	6,2	0,45	20,0	0,80	0,3	0,43	20,0	1,48
20,0	0,06	5,0	0,44	20,0	0,81	0,0	0,00	20,0	1,49
20,0	0,07	3,6	0,43	20,0	0,82	20,0	1,00	20,0	1,50
20,0	0,08	3,3	0,42	20,0	0,83	20,0	1,01	18,0	1,49
20,0	0,09	2,6	0,41	20,0	0,84	20,0	1,02	16,8	1,48
20,0	0,10	2,1	0,40	20,0	0,85	20,0	1,03	15,8	1,47
20,0	0,11	1,8	0,39	20,0	0,86	20,0	1,04	14,5	1,46
20,0	0,12	1,5	0,38	20,0	0,87	20,0	1,05	13,7	1,45
20,0	0,13	1,2	0,37	20,0	0,88	20,0	1,06	12,5	1,44
20,0	0,14	1,0	0,36	20,0	0,89	20,0	1,07	11,7	1,43
20,0	0,15	0,9	0,35	20,0	0,90	20,0	1,08	10,8	1,42
20,0	0,16	0,8	0,34	20,0	0,91	20,0	1,09	10,0	1,41
20,0	0,17	0,7	0,33	20,0	0,92	20,0	1,10	9,0	1,40
20,0	0,18	0,6	0,31	20,0	0,93	20,0	1,11	8,2	1,39
20,0	0,19	0,5	0,30	20,0	0,94	20,0	1,12	7,7	1,38
20,0	0,20	0,4	0,23	20,0	0,95	20,0	1,13	7,3	1,37
20,0	0,21	0,3	0,17	20,0	0,96	20,0	1,14	6,8	1,36
20,0	0,22	0,2	0,11	20,0	0,97	20,0	1,15	6,3	1,35
20,0	0,23	0,1	0,03	20,0	0,98	20,0	1,16	5,7	1,34
20,0	0,24	0,0	0,00	20,0	0,99	20,0	1,17	5,3	1,33
20,0	0,25	20,0	0,50	20,0	1,00	20,0	1,18	4,8	1,32
20,0	0,26	20,0	0,51	16,6	0,99	20,0	1,19	4,5	1,31
20,0	0,27	20,0	0,52	14,9	0,98	20,0	1,20	4,1	1,30
20,0	0,28	20,0	0,53	13,4	0,97	20,0	1,21	3,7	1,29
20,0	0,29	20,0	0,54	11,5	0,96	20,0	1,22	3,4	1,28
20,0	0,30	20,0	0,55	10,1	0,95	20,0	1,23	3,1	1,27
20,0	0,31	20,0	0,56	8,9	0,94	20,0	1,24	2,9	1,26
20,0	0,32	20,0	0,57	7,5	0,93	20,0	1,25	2,7	1,25
20,0	0,33	20,0	0,58	6,9	0,92	20,0	1,26	2,5	1,24
20,0	0,34	20,0	0,59	6,0	0,91	20,0	1,27	2,3	1,23
20,0	0,35	20,0	0,60	5,5	0,90	20,0	1,28	2,1	1,22
20,0	0,36	20,0	0,61	4,9	0,89	20,0	1,29	1,9	1,21
20,0	0,37	20,0	0,62	4,2	0,88	20,0	1,30	1,7	1,20
20,0	0,38	20,0	0,63	3,7	0,87	20,0	1,31	1,6	1,19
20,0	0,39	20,0	0,64	3,4	0,86	20,0	1,32	1,5	1,18
20,0	0,40	20,0	0,65	3,0	0,85	20,0	1,33	1,4	1,17
20,0	0,41	20,0	0,66	2,7	0,84	20,0	1,34	1,3	1,16
20,0	0,42	20,0	0,67	2,2	0,83	20,0	1,35	1,1	1,15
20,0	0,43	20,0	0,68	2,0	0,82	20,0	1,36	1,0	1,14
20,0	0,44	20,0	0,69	1,8	0,81	20,0	1,37	0,9	1,13
20,0	0,45	20,0	0,70	1,5	0,80	20,0	1,38	0,8	1,11
20,0	0,46	20,0	0,71	1,4	0,79	20,0	1,39	0,7	1,10
20,0	0,47	20,0	0,72	1,2	0,78	20,0	1,40	0,6	1,07
20,0	0,48	20,0	0,73	1,1	0,74	20,0	1,41	0,5	1,05
20,0	0,49	20,0	0,74	1,0	0,73	20,0	1,42	0,4	1,03

Uout	Iout	Uout	Iout	Uout	Iout
0,0	0,00	20,0	1,99	0,7	1,48
20,0	1,50	20,0	2,00	0,6	1,47
20,0	1,51	18,7	1,99	0,5	1,45
20,0	1,52	18,1	1,98	0,0	0,00
20,0	1,53	17,3	1,97		
20,0	1,54	16,2	1,96		
20,0	1,55	15,1	1,95		
20,0	1,56	14,2	1,94		
20,0	1,57	13,5	1,93		
20,0	1,58	13,0	1,92		
20,0	1,59	12,1	1,91		
20,0	1,60	11,3	1,90		
20,0	1,61	10,7	1,89		
20,0	1,62	10,1	1,88		
20,0	1,63	9,6	1,87		
20,0	1,64	9,0	1,86		
20,0	1,65	8,4	1,85		
20,0	1,66	8,0	1,84		
20,0	1,67	7,7	1,83		
20,0	1,68	7,2	1,82		
20,0	1,69	6,7	1,81		
20,0	1,70	6,2	1,80		
20,0	1,71	5,7	1,79		
20,0	1,72	5,4	1,78		
20,0	1,73	5,1	1,77		
20,0	1,74	4,8	1,76		
20,0	1,75	4,6	1,75		
20,0	1,76	4,3	1,74		
20,0	1,77	4,0	1,73		
20,0	1,78	3,7	1,72		
20,0	1,79	3,4	1,71		
20,0	1,80	3,2	1,70		
20,0	1,81	3,1	1,69		
20,0	1,82	3,0	1,68		
20,0	1,83	2,7	1,67		
20,0	1,84	2,5	1,66		
20,0	1,85	2,3	1,65		
20,0	1,86	2,1	1,64		
20,0	1,87	2,0	1,63		
20,0	1,88	1,9	1,62		
20,0	1,89	1,7	1,61		
20,0	1,90	1,6	1,60		
20,0	1,91	1,5	1,59		
20,0	1,92	1,4	1,58		
20,0	1,93	1,3	1,57		
20,0	1,94	1,2	1,55		
20,0	1,95	1,1	1,54		
20,0	1,96	1,0	1,53		
20,0	1,97	0,9	1,52		
20,0	1,98	0,8	1,50		

H KONSTRUKČNÍ KRABÍČKA



I ZDROJ S D/A PŘEVODNÍKEM

