

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Lineární regulovatelný zdroj 0 – 30 V, 0 – 3 A

**vedoucí práce: Ing. Jan Brož
autor: Michal Drnek**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal DRNEK**
Osobní číslo: **E09B0115P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Lineární regulovatelný napájecí zdroj, 0 - 30 V, 0 - 3 A**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhněte lineární regulovatelný napájecí zdroj. Při vypracování dodržte následující zásady:

1. Detailně se seznamte s problematikou napájecích zdrojů.
2. Proveďte návrh lineárního regulovatelného napájecího zdroje.
3. Regulaci zdroje bude možné provádět také po komunikační sběrnici.
4. Zdroj realizujte.
5. Zhodnoťte výsledky a další možnosti realizace.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Hammerbauer, Jiří. Elektronické napájecí zdroje a akumulátory. 2. vyd. Plzeň : ZČU, 1998. ISBN 80-7082-411-5.
2. Krejčířík, Alexandr. Napájecí zdroje I : základní zapojení analogových a spínacích napájecích zdrojů. 2. vyd. Praha : BEN, 1997. ISBN 80-86056-02-3.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Brož

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Účelem této bakalářské práce je návrh a realizace lineárního napět'ového zdroje, který je ovládán přes průmyslové rozhraní RS232 pomocí PWM. V prvních dvou kapitolách je popis problematiky lineárních zdrojů. V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé kroky návrhu a realizace napájecího zdroje.

Klíčová slova

Stabilizátor napětí, lineární napájecí zdroj, pulzně šířková modulace PWM, sériový port RS232, mikrokontroler ATmega8, převodník MAX232

Abstract

This bachelor thesis is aimed at design and realisation of a linear power supply, which is operated via the serial port RS232 and PWM. A description of the linear supplies is in the first two chapters. Further steps of the design and realisation of the linear power supply are described in the following chapters.

Key words

Voltage regulátor, linear power supply, pulse width modulation (PWM), serial port RS232, microcontroller ATmega8, converter MAX232.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 7.6.2012

Michal Drnek

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Brožovi za poskytnutí cenných rad při vypracování bakalářské práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ	11
NAPÁJECÍ ZDROJ.....	12
1.1 LINEÁRNÍ ZDROJ	12
1.2 SPÍNANÝ ZDROJ	14
1.3 PROUDOVÝ ZDROJ	15
1.4 NAPĚŤOVÝ ZDROJ	16
1.5 VÝKONOVÝ REGULÁČNÍ ČLEN	16
1.6 SÉRIOVÝ REGULÁTOR	17
1.7 PARALELNÍ REGULÁTOR	18
2 INTEGROVANÉ STABILIZÁTORY	19
2.1 MEZNÍ HODNOTY REGULÁTORU LM723	20
3 PWM - PULSE WIDTH MODULATION.....	20
4 NAPÁJECÍ ZDROJ – ZAPOJENÍ, KOMUNIKACE, ŘÍZENÍ, REALIZACE	22
4.1 NAPÁJENÍ	22
4.2 ZAPOJENÍ.....	22
4.3 KOMUNIKACE PŘES ROZHRAŇÍ RS232 POMOCÍ PŘEVODNÍKU MAX232	24
4.3.1 <i>Sériové rozhraní RS232</i>	24
4.4 ŘÍZENÍ	26
4.4.1 <i>ATmega8</i>	27
4.4.2 <i>AVR Architektura</i>	27
4.4.3 <i>Strojové a hodinové cykly</i>	28
4.4.4 <i>Prefetch a pipelining</i>	28
4.5 VÝKONOVÁ ČÁST ZDROJE.....	28
4.6 PROUDOVÉ POSÍLENÍ VÝSTUPU	28
4.7 NASTAVENÍ PROUDOVÉHO OMEZENÍ.....	29
4.8 VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ – REGULACE	29
4.9 OVLÁDACÍ APLIKACE.....	30
4.10 REALIZACE.....	30
4.11 OSAZENÍ A OŽIVENÍ	31
4.12 NAMĚŘENÉ HODNOTY	32
4.13 VÝPOČET DP FILTRU, OPERAČNÍ SÍTĚ A U_{PWM}	32
5 ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA NAPĚTÍ A PROUDU	36
5.1 POPIS A REALIZACE.....	36
5.2 KALIBRACE ZOBRAZOVACÍCH JEDNOTEK.....	36
5.3 NAPÁJENÍ ZOBRAZOVACÍCH JEDNOTEK.....	37

6	CHLAZENÍ ZDROJE	38
6.1	PASIVNÍ CHLAZENÍ.....	38
6.2	AKTIVNÍ CHLAZENÍ.....	38
7	VÝROBA A OSAZENÍ DPS	40
7.1	VYTVOŘENÍ MOTIVU VODIVÝCH CEST	40
7.2	NANESENÍ MOTIVU VODIVÝCH CEST	40
7.3	VYVOLÁNÍ MOTIVU	41
7.4	LEPTÁNÍ	41
7.5	MYTÍ A ÚPRAVA TVARU	41
7.6	VÝSLEDNÁ POVRCHOVÁ ÚPRAVA	41
7.7	OSAZENÍ SOUČÁSTEK.....	42
8	VÝPOČET A PŘEVINUTÍ TRANSFORMÁTORU.....	43
8.1	VÝPOČET	43
9	KONSTRUKČNÍ SKŘÍŇ	45
	ZÁVĚR	47
	POUŽITÁ LITERATURA.....	48
	PŘÍLOHY	49

Úvod

Napájecí zdroje mají za úkol usměrnit střídavé vstupní napětí na napětí stejnosměrné, které je stabilizováno, filtrováno a využito pro napájení elektronických obvodů. Stejnosměrné napájecí zdroje jsou použity ve většině elektronických zařízení. Na každý napájecí zdroj jsou kladeny specifické požadavky dle využití. Pro menší výkony se obvykle používají lineární regulovatelné zdroje, pro vyšší výkony se používají zdroje spínané a v obyčejných aplikacích jsou dostačující paralelní stabilizátory.

Tato práce popisuje problematiku lineárních regulovatelných napájecích zdrojů a sériové průmyslové rozhraní RS232, které je použito k regulaci zdroje. Práce je rozdělena na několik sekcí, které již konkrétněji přibližují tematiku lineárních napájecích zdrojů. V prvních dvou úvodních kapitolách jsou obecně popsány problematika a rozdělení jednotlivých druhů napájecích zdrojů a popis základního principu PWM (pulzně šířkové modulace).

Další část práce je věnována všem konkrétním informacím týkajících se napájecího zdroje od jeho zapojení, přes komunikaci a řízení až po jeho realizaci a oživení. Další kapitoly hovoří o výrobě a osazení desky plošného spoje a o chlazení zdroje. Celá jedna kapitola je věnována výpočtu a převinutí transformátoru, který je použit pro napájení daného zdroje.

Hodnotu výstupního napětí bude možné nastavit manuálním způsobem nebo pomocí počítačové aplikace. Výstupní hodnoty zdroje budou změřeny a zaznamenány, které informují o přesnosti regulace, což je hlavním cílem této práce.

Seznam symbolů

ΔU [V].....	rozdíl napětí
U [V].....	elektrická napětí
I [A]	elektrický proud
ΔI [A].....	změna elektrického proudu
T [-].....	značení tranzistoru
R [Ω].....	elektrický odpor
C [F].....	kapacita kondenzátoru
MCU.....	mikroprocesor
OZ.....	operační zesilovač
PC.....	personal computer

Napájecí zdroj

Je zařízení, které vytváří mezi dvěma póly rozdílný potenciál napětí a po uzavření obvodu, jím začne protékat elektrický proud.

1.1 Lineární zdroj

Napájecí zdroje ve většině případů přeměňují střídavé napětí na požadovanou velikost stejnosměrného napětí s určitým odebíraným proudem, zajišťují stabilitu požadovaného výstupního napětí a také galvanické oddělení napájeného zařízení od rozvodné sítě. Galvanické oddělení je provedeno pomocí síťového transformátoru. U napájecích zdrojů lze zajistit přesné nastavení výstupního požadovaného napětí i přesné nastavení proudového omezení. Napájecí zdroj může mít i další doplňující funkce, jako např. jisticí, ochranné a mnoho dalších. [1], [2], [3]

Stabilita výstupního napětí je ovlivněna změnami proudového zatížení zdroje, změnami vstupního napájecího napětí, změnami parametrů součástek vlivem teploty okolí a teplem, které je vytvořeno vlastním zdrojem při provozu a dále změnami, které vznikají při stárnutí součástek. Proto je zaveden tzv. stabilizační činitel zdroje p . Stabilizační činitel p vyjadřuje, kolikrát stabilizátor zmenšuje kolísání vstupního napětí. [1], [3]

Vztah pro činitel stabilizace je :

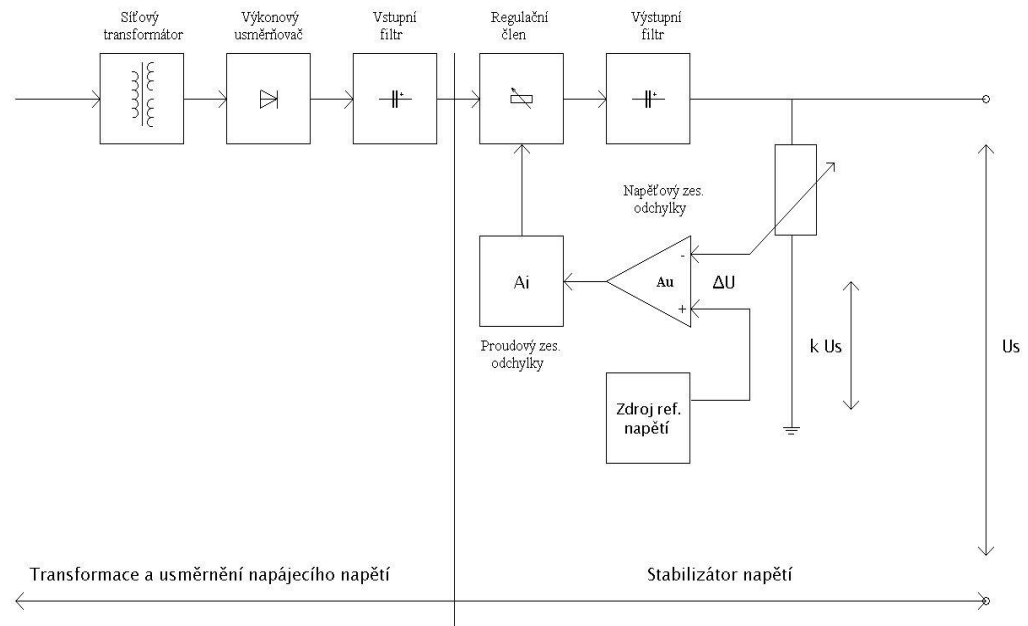
$$p = \frac{\frac{\Delta U_1}{U_1}}{\frac{\Delta U_2}{U_2}} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \quad [1] \quad (1.1)$$

Kde ΔU_1 je absolutní změna vstupního napětí, U_1 je vstupní napětí, ΔU_2 je absolutní změna výstupního napětí a U_2 je výstupní napětí. Hodnota stabilizačního činitele se pohybuje v rozmezí hodnot od 10^2 do 10^4 . [1], [3]

Napájecí napětí je získáno usměrněním a následnou filtrací střídavého sekundárního napětí síťového transformátoru, jehož primární vinutí je napájeno ze sítě napětím 230V o frekvenci 50 Hz. Pro výkonové usměrňovače se používají polovodičové diody, které jsou řešeny tak, aby pracovaly jako zdvojovače kmitočtu. Diody jsou zapojeny buď jako jednocestné nebo jako dvoucestné. Nejčastěji pro usměrnění je použit diodový můstek, neboli Grätzův můstek. Můstek je složen ze čtyř diod v můstkovém zapojení. Za

usměrňovačem je vstupní filtr, což je dolní propust, která má kmitočet daleko nižší, než je kmitočet sítě. Nejobvykleji se používá kapacitní filtr. Napětí U_{VST} , které je na vstupu regulačního členu stabilizátoru se velice zásadně mění při změně síťového napětí ale i při změně zatěžovacího proudu I_Z na výstupu. Akčním prvkem stabilizátoru je regulační člen, který zpravidla zastává bipolární tranzistor ve vhodném zapojení, pracující jako spojitě proměnný odpor. Zpětnovazební regulace je založena na existenci určité malé odchylky ΔU , která je z hlediska U_s zanedbatelná. Odchylka ΔU vzniká mezi referenčním (požadovaným) napětím ΔU_{REF} a výstupním stabilizovaným napětím kU_s a je vždy nenulová. Změnou součinitele k , lze upravovat velikost výstupního stabilizovaného napětí v široké mezí. Hodnota součinitele k je dána změnou poměru odporů R_a a R_b . Zesílené napětí ΔU ovládá okamžitý odpor regulačního tranzistoru zápornou zpětnou vazbou tak, aby byl potlačen vliv vnějších podmínek na stabilitu výstupního napětí U_s . Mezi vnější podmínky patří například změny zatěžovacího proudu a kolísání sítě. Jelikož bipolární tranzistor potřebuje na vstupní straně určitý budící výkon, je součástí stabilizátoru proudový zesilovač odchylky A_i . Aby byla statická odchylka ΔU_s co nejmenší, musí být co největší proudový a napěťový zisk zesilovače odchylky. Odchylka ΔU_s je ovlivňována proměnnými parametry vstupní i výstupní strany regulátoru. [1], [3]

Kmitočtové vlastnosti zpětnovazební regulační soustavy mají za následek to, že ovlivňují dynamické parametry regulátoru (kolísání ΔU_s při skokových změnách zátěže) a také dynamickou a kmitočtovou stabilitu regulátoru. Filtr na výstupu se používá ke kompenzaci kmitočtu regulační smyčky a zároveň slouží ke kompenzaci vlastního zesilovače. Filtr také potlačuje šumová napětí na výstupu. Dlouhodobá a teplotní stabilita regulátoru je v zásadě určena jen stabilitou referenčního napětí U_{REF} . Spojitost klasických zpětnovazebních regulátorů je podstatným a charakteristickým znakem. Zpětnovazební smyčka stále kontroluje výstupní napětí U_s , proto mohou být spojitě regulátory hodnoceny jako lineární obvody. Tyto obvody se vyznačují velmi dobrými výstupními parametry, jako je minimální zvlnění výstupního napětí, jak při nespojitém, tak i při impulsním charakteru zátěže. Regulátory neprodukují při své činnosti parazitní rušivé spektrum kmitočtů. Blokové schéma se nachází na *Obr.1.2*. [1], [3]



Obr. 1.2 Blokové schéma klasického lineárního zdroje stabilizovaného napětí [1]

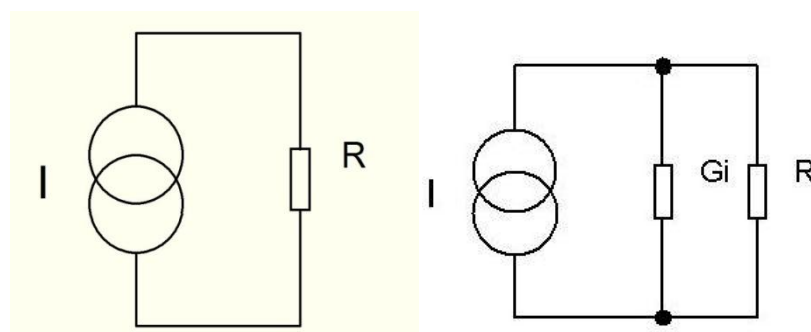
1.2 Spínaný zdroj

Spínaný zdroj má stejnou funkci jako lineární zdroj. Rozdíl mezi lineárním a spínaným zdrojem je následující: při spojitě regulaci se nejčastěji používá jako výkonová součástka pro regulování hodnoty výstupního napětí bipolární tranzistor, který pracuje jako rezistor s proměnným odporem, u spínaného zdroje je výkonový regulační člen zatěžován impulsně, tj. je periodicky spínán a rozpínán. Spínané zdroje jsou schopny dodávat daleko větší impulsní výkon, který je podstatně větší, než je výkon lineárního zdroje při použití stejného výkonového členu. Mají obecně větší účinnost, než zdroje se spojitou regulací a to z toho důvodu, že ztráty na regulační součástce jsou převážně úbytkem napětí v propustném směru. Jsou využívány hlavně tam, kde jsou kladeny velké nároky na malé rozměry a také tam, kde je velký rozdíl vstupního a výstupního napětí regulátoru. Impulzní zdroje jsou ekonomicky výhodnější, i když je jejich zapojení a řešení obvodů daleko náročnější, jejich aplikace v provozu vede k podstatné úspoře energie. Impulsně regulovatelné zdroje mají také některé nevýhody. Jedna z hlavních je, že spínaný zdroj má pomalejší reakci výstupního napětí na rychlé změny zatěžovacího proudu. Spínané zdroje jsou zdrojem rušivých signálů. Zásahu na vzniku těchto rušivých signálů mají spínací prvky. Ochrana vůči rušivým nepříznivým signálům je použitím vhodné konstrukce stínění částí zdrojů a filtrace rušivých složek na výstupní straně spínacího zdroje. Konstrukci napájecích zdrojů s kmitočtem 50 Hz je možno zkonstruovat tyristory a triaky. Pro konstrukci zdrojů s vyššími kmitočty se používají

rychlé polovodičové součástky, feritová jádra a malé kondenzátory s velkou kapacitou. Při použití stabilizátorů s pracovním kmitočtem 50 Hz nedosáhneme přesnosti stabilizace, tyto stabilizátory jsou těžší a objemnější ale jsou levné a použití není omezeno přenášeným výkonem. Pro méně náročné aplikace jsou konstrukce s těmito stabilizátory výhodné. Používají se tam, kde nejsou kladeny nároky na extrémní stabilitu, přesnost a na zvlnění výstupního napětí. Zdroje, které generují vyšší kmitočet, se používají pro nové konstrukce, jsou rozměrově výhodnější a hlavně mají zásadně lepší a velice přesnou regulaci výstupního napětí, avšak jsou ekonomicky náročnější. Součástky pro řídicí obvody jsou vyráběny v integrovaném provedení a v dnešní době jsou nejčastěji spínací zdroje dodávány jako hotový celek, který se může okamžitě připojit do daného elektrického zařízení. [1] [4]

1.3 Proudový zdroj

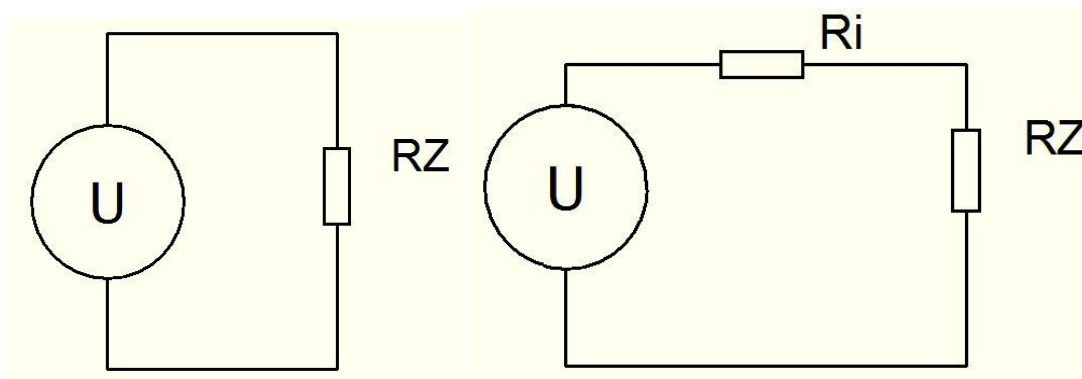
Ideální zdroj proudu dodává do zátěže konstantní proud bez ohledu na to, jak velké napětí musí k tomu vyvinout. Ve skutečnosti nikdy nenajdeme ideální proudový zdroj. To se projeví tím, že snahy o udržení konstantního proudu skončí na tom, že nebude schopný vyvinout dostatečně velké napětí k proražení vzduchu po rozpojení obvodu. Ideální proudový zdroj má nekonečně velký vnitřní odpor. Vnitřní odpor reálného zdroje se k této hodnotě přibližuje. Vnitřní odpor reálného zdroje proudu je připojen paralelně. Prochází-li tímto odporem proud, vzniká na něm dle Ohmova zákona úbytek napětí a právě tento úbytek určuje hodnotu napětí, která bude na výstupních svorkách reálného zdroje proudu. Ideální a reálný zdroj proudu je na *Obr. 1.3.1.*[5]



Obr. 1.3.1 Ideální a reálný zdroj proudu.[5]

1.4 Napěťový zdroj

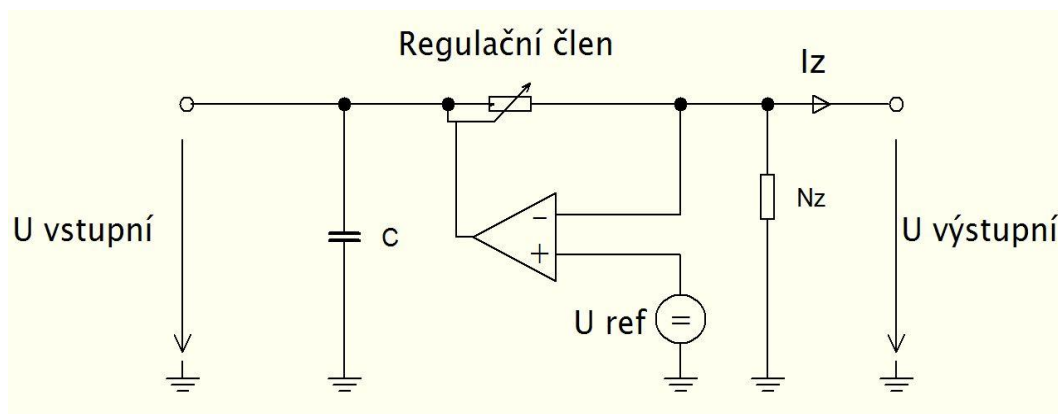
Ideální zdroj napětí je takový zdroj, který má na svých svorkách konstantní hodnotu napětí bez ohledu, jak je zatížen odebíraným proudem. Ideální je proto, že se takto žádný zdroj nechová. Vnitřní odpor ideálního zdroje napětí je nulový. V realitě se s tímto zdrojem nesetkáme. Reálný zdroj napětí má vnitřní odpor, který omezuje jeho maximální proud. Průchodem proudu přes vnitřní odpor, vzniká na vnitřním odporu úbytek napětí a to má za důsledek, že napětí na výstupních svorkách začne o tento úbytek klesat. Vnitřní odpor zdroje je velice důležitý, neboť dle velikosti vnitřního odporu můžeme určit, zda je zdroj napětí tvrdý nebo měkký. Čím je velikost odporu větší, tím se stává zdroj měkčí a tedy jakmile odebíráme větší proud, je pokles výstupního napětí razantnější. Na *Obr. 1.4.1* je ideální a reálný zdroj napětí [6]



Obr. 1.4.1 Ideální a reálný zdroj napětí [6]

1.5 Výkonový regulační člen

U lineárních zdrojů se využívá jako výkonový regulační člen bipolární tranzistor, pracující jako spojitě řízený proměnný odpor. Tranzistory jsou schopné pracovat v lineárním režimu. Vstupními i výstupními parametry je určena výkonová ztráta P_C . Kolektorovou ztrátou tranzistoru je z horní strany omezen užitečný výstupní výkon: jelikož tranzistorem prochází stejný proud jako zátěží, jsou výstupní proudy omezeny na hodnoty proudu v řádech jednotek A. Spojitá regulace má malou energetickou účinnost a proto omezuje i dosažitelné výstupní výkony. Z malé účinnosti spojitě regulace vyplývá velká poměrná výkonová ztráta, která se negativně projevuje v souvislosti s problémem chlazení regulačních tranzistorů. Při poměrně malých užitečných výkonech regulátorů jsou chladiče poměrně velké a jejich hmotnost nelze zanedbat. Ztrátové výkony jsou značné u regulovatelných napájecích zdrojů. Ztráty se projevují vyřazováním tepla do okolí. [1]

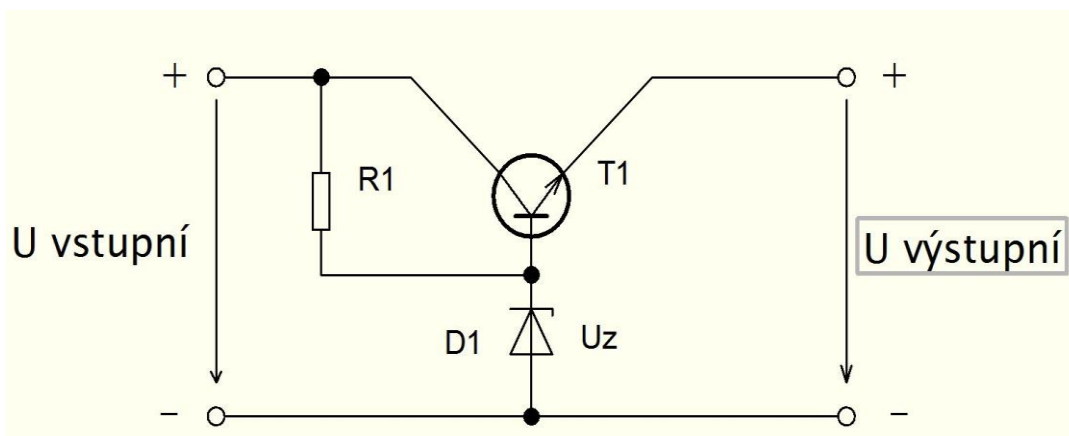


Obr. 1.5.1 Výkonový regulační člen [1]

1.6 Sériový regulátor

Sériové stabilizátory slouží k omezení vlivu velkých změn výstupního napětí a změn zatěžovacího proudu. Při pracovní činnosti leží na výkonovém regulátoru menší napětí, než napětí, které je na zátěži. Zároveň proud protékající výkonovým členem je stejný jako proud zátěže. Toto je hlavní výhoda sériových regulátorů.

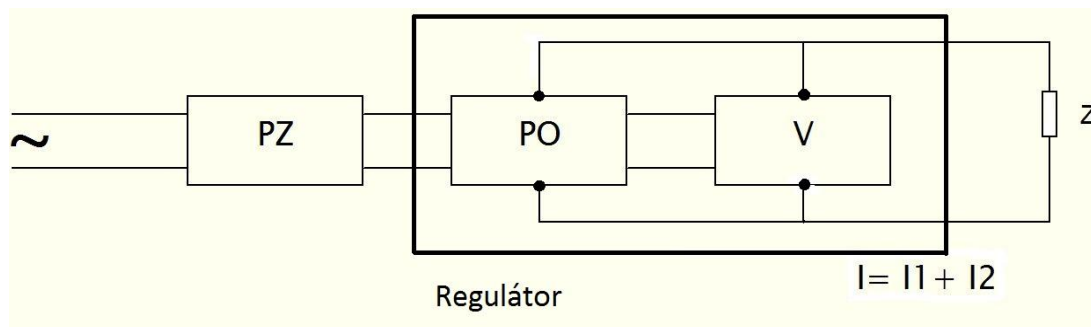
Jakmile nastane zkrat na výstupu regulátoru, objeví se veškeré napětí na regulačním výkonovém členu a jím začne procházet velký zkratový proud. U výkonových členů, které nejsou dostatečně dimenzovány na velké proudy, se musí zavést ochranné obvody proti přetížení a zkratu, jinak by došlo k jejich poškození. Tyto obvody musí být schopny pracovat velmi rychle, rychleji než rychlost destrukčních pochodů tepelného průrazu výkonového členu. Používají se bipolární výkonové tranzistory. Ochrana spočívá v zařazení omezovacího odporu do série s výkonovým členem na straně primárního zdroje. Odpor omezuje zkratový proud regulátoru na bezpečnou hodnotu. Na odporu dochází k úbytku napětí a tím dochází ke ztrátám a zhoršení účinnosti regulátoru, což je velká nevýhoda. Na *Obr. 1.6.1* je zobrazen nejjednodušší sériový stabilizátor v zapojení s tranzistorem. Stabilizační dioda slouží k udržení tranzistoru na stálé hodnotě napětí. Změny na výstupu mohou být způsobeny změnou napětí mezi bází a emitorem tranzistoru vlivem teploty a proudu. Tranzistor pracuje jako emitorový sledovač. Zvětšuje výstupní výkon paralelního regulátoru R_1D a zmenšuje jeho dynamický odpor. Napětí na výstupních svorkách je rovno $U_Z - U_{BE}$. Jedná se o stabilizátor bez zpětné vazby. [1], [4]



Obr. 1.6.1 Nejjednodušší sériový stabilizátor [1]

1.7 Paralelní regulátor

Paralelní regulátory napětí mají hlavní uplatnění ve zdrojích stálého napětí. Schéma paralelního regulátoru je zobrazeno na *Obr. 1.7.1*. Výstup primárního zdroje (PZ) je připojen k pomocnému obvodu paralelního regulátoru (PO). Obvodem PO je ovládán výkonový člen V, ke kterému je připojena paralelně zátěž Z. Pomocný obvod řídí výkonový člen tak, aby na něm bylo stálé napětí. Přes výkonový člen protéká proud I_1 a přes zátěž protéká proud I_2 . Jakmile se zmenšuje proud protékající přes zátěž, tak se zvětšuje proud protékající přes výkonový člen. Je-li zátěž odpojena, veškerý výkon zdroje se spotřebovává na výkonovém členu zdroje. Člen musí být na tento výkon dostatečně dimenzován. To je zásadní nevýhodou paralelního regulátoru a další nevýhodou je, že výkonový člen musí udržet plné výstupní napětí, jaké je na zátěži. Jakmile se zvětšuje proud protékající zátěží, zmenšuje se proud protékající přes výkonový člen. Je-li proud zátěže takový, že se při daných vlastnostech zdroje PZ a obvodu PO již neudrží stálé napětí na výkonovém členu, přestane regulátor účinně stabilizovat, ale výkonový člen nebude přetížen. Podstatnou výhodou paralelního regulátoru je to, že je z principu odolný vůči zkratu na výstupu. Odolnost je vztažena pouze k výkonovému členu. Části primárního zdroje a paralelního regulátoru mohou být zkratem přetíženy a poškozeny, avšak lze je řešit tak aby tento stav byly schopny vydržet. Jedna z dalších výhod paralelního regulátoru je jeho schopnost propustit proud, dodávaný aktivní zátěží. Jestliže má zátěž povahu zdroje o stejné polaritě a zátěž má větší napětí než napětí na výkonovém členu, začne proud ze zátěže procházet výkonovým členem a následně je člen daleko více zatěžován. Paralelních regulátorů se využívají jako zdroje záchytného napětí. Jsou odolné a málo náchylné na parazitní kmitočty. Na výstupu není nutno použít paralelní kondenzátor. [1] [4]



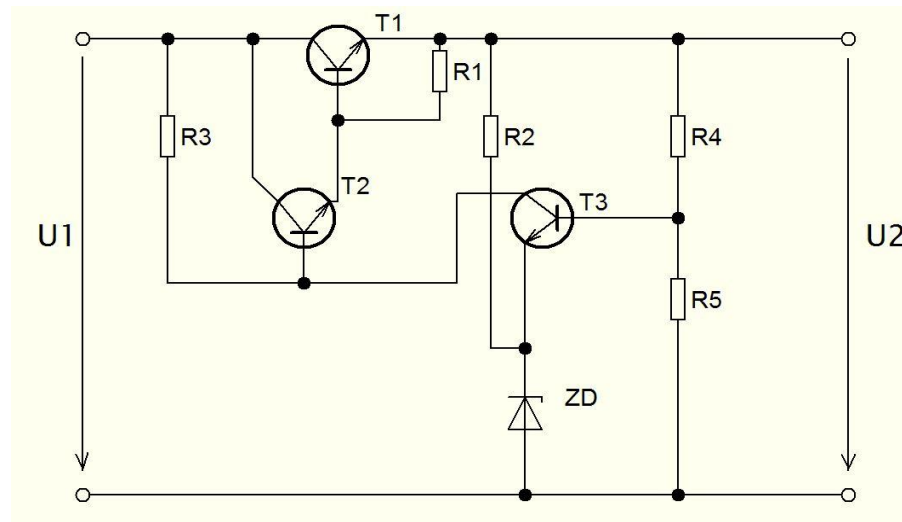
Obr. 1.7.1 Blokové schéma paralelního regulátoru [1]

2 Integrované stabilizátory

Jeden z nejrozšířenějších regulátorů napětí je typ LM723. Je používán v širokém rozsahu aplikací, jako jsou derivační, lineární, proudové a napěťové regulátory a řízení teploty. Vyrábí se ve dvou provedeních: v kulatém kovovém pouzdru typu TO99 s deseti vývody a v plastovém pouzdru typu DIP14 se čtrnácti vývody. Rozdíl mezi pouzdrům typu TO99 a pouzdrům typu DIP14 je v tom, že typ DIP14 má na devátém vývodu (značený U_Z) anodu stabilizační Zenerovy diody s napětím 6,2 V a katoda je připojena na vývod integrovaného obvodu. Také se liší ve výkonové ztrátě, a sice pouzdro DIP14 má 1W a kovové pouzdro 0,8W. [1], [4], [7]

V regulátoru je obsažen zdroj referenčního napětí, který je teplotně kompenzovaný. Dále obsahuje regulátor rozdílový zesilovač se zesilovačem chybového signálu, sériový výkonový člen a obvod, který je určen k omezení výstupního proudu. Regulátor splňuje všechny předpoklady pro kvalitní sériový stabilizátor. Každý blok je vyveden na jednotlivé svorky integrovaného obvodu a to umožňuje nespočetně možností zapojení a také účelné připojení vnějších součástek, které slouží pro úpravu a zlepšení vlastností regulátoru. [1]

V každém zapojení je výstupní napětí závislé na velikosti vnitřního referenčního napětí, a také na nastavení velikosti vnějších odporů. Stabilizátor pracuje na principu rozdílového zesilovače. Dělič je připojen na výstupu. Výkonový tranzistor je ovládán výstupem ze zesilovače. Jakmile se napětí z děliče zvýší nad referenční napětí, tak napětí na výstupu rozdílového zesilovače poklesne, tím zavře výkonový tranzistor a hodnota výstupního napětí poklesne na požadovanou velikost. Mezi invertujícím a neinvertujícím zapojením musí být stále nulová odchylka a to je úloha zesilovače referenčního napětí. Schéma zapojení sériového stabilizátoru LM723 je na Obr. 2.1. [7]



Obr. 2.1 Zapojení sériového stabilizátoru LM723 z diskrétních součástek[4]

2.1 Mezní hodnoty regulátoru LM723

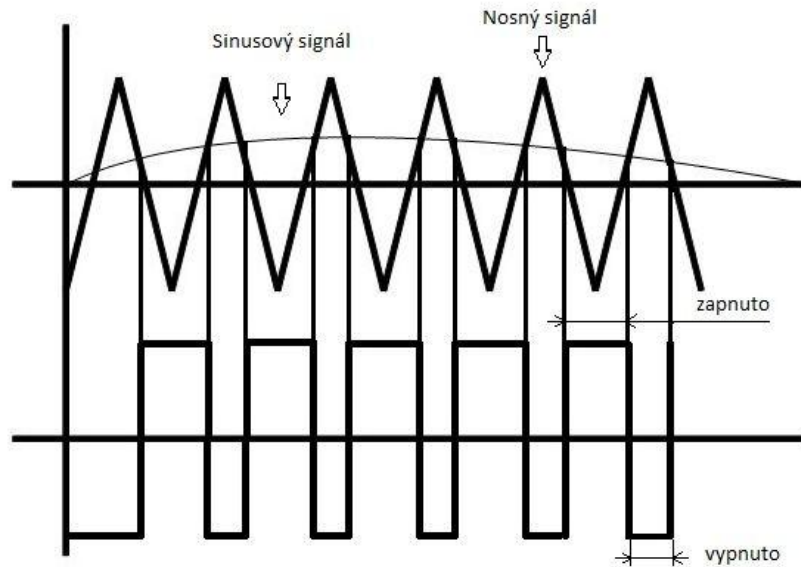
Parametry regulátoru jsou převzaty z datového listu výrobce. [7]

- Pulzní vstupní napětí 50 V
- Trvalé vstupní napětí 40 V
- Vstupní – výstupní napěťový rozdíl 40 V
- Výstupní proud 150 mA
- Ztrátový výkon 800 – 1000 mW
- Provozní teplota okolí od -55 °C do +150 °C
- Rozsah vstupního napětí 9,5 V až 40 V
- Rozsah výstupního napětí 2 V až 37 V
- Referenční napětí 6,8 V až 7,5 V

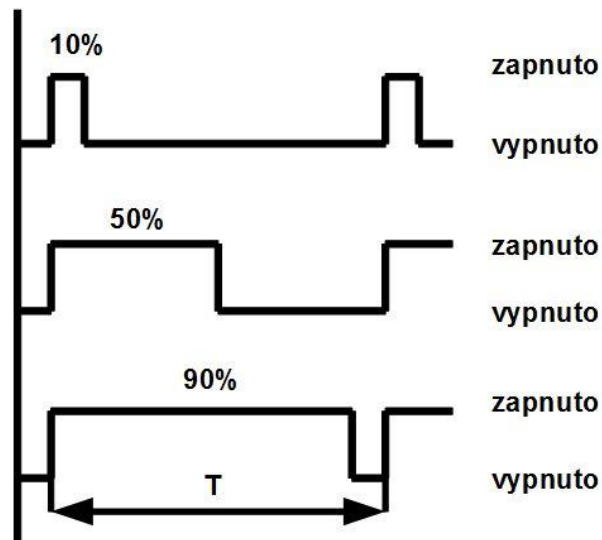
3 PWM - Pulse Width Modulation

Pulzně šířková modulace – slouží pro přenos analogového signálu, který má dvě hodnoty (napětí, proud). Signál, který přenáší informaci o přenášené hodnotě, nabývá dvou hodnot a to buď logické nuly, nebo logické jedničky. Hodnota přenášeného signálu je definována jako poměr mezi vypnutím a zapnutím, neboli střída. Jedna střída je rovna celé periodě. Pokud je střída (poměr) 1:1, pak je první polovinou periody signál přenášen a druhou polovinou periody se signál nepřenáší. Jakmile se zvyšuje střída, zvyšuje se doba, po kterou je signál přenášen a naopak. Výsledné výstupní napětí je dáno, poměrem periody kdy je signál přenášen, ku poměru, kdy se signál nepřenáší Obr. 3.2. Nosný signál musí mít vyšší frekvenci, než modulační signál. Jakmile je hodnota modulačního signálu nižší, než hodnota nosného signálu, tak se modulátor přepne do stavu logické 1 a

signál je přenášen a to platí i v opačném případě. Rozsah ideální regulace je od 0% do 100%. Princip pulzně šířkové modulace je na *Obr. 3.1.* [8]



Obr. 3.1 Princip pulzně šířkové modulace [8]



Obr. 3.2 Doba vypnuto zapnuto [8]

Výpočet střidy: $D = \frac{\tau}{T}$, kdy τ je doba zapnuto a T je doba periody (zapnuto + vypnuto).

4 Napájecí zdroj – zapojení, komunikace, řízení, realizace

Tento napájecí zdroj je složen ze základní DPS, dále z komunikační a řídicí DPS, na které se nachází mikroprocesor s převodníkem a z dvou panelů číslicových měřidel.

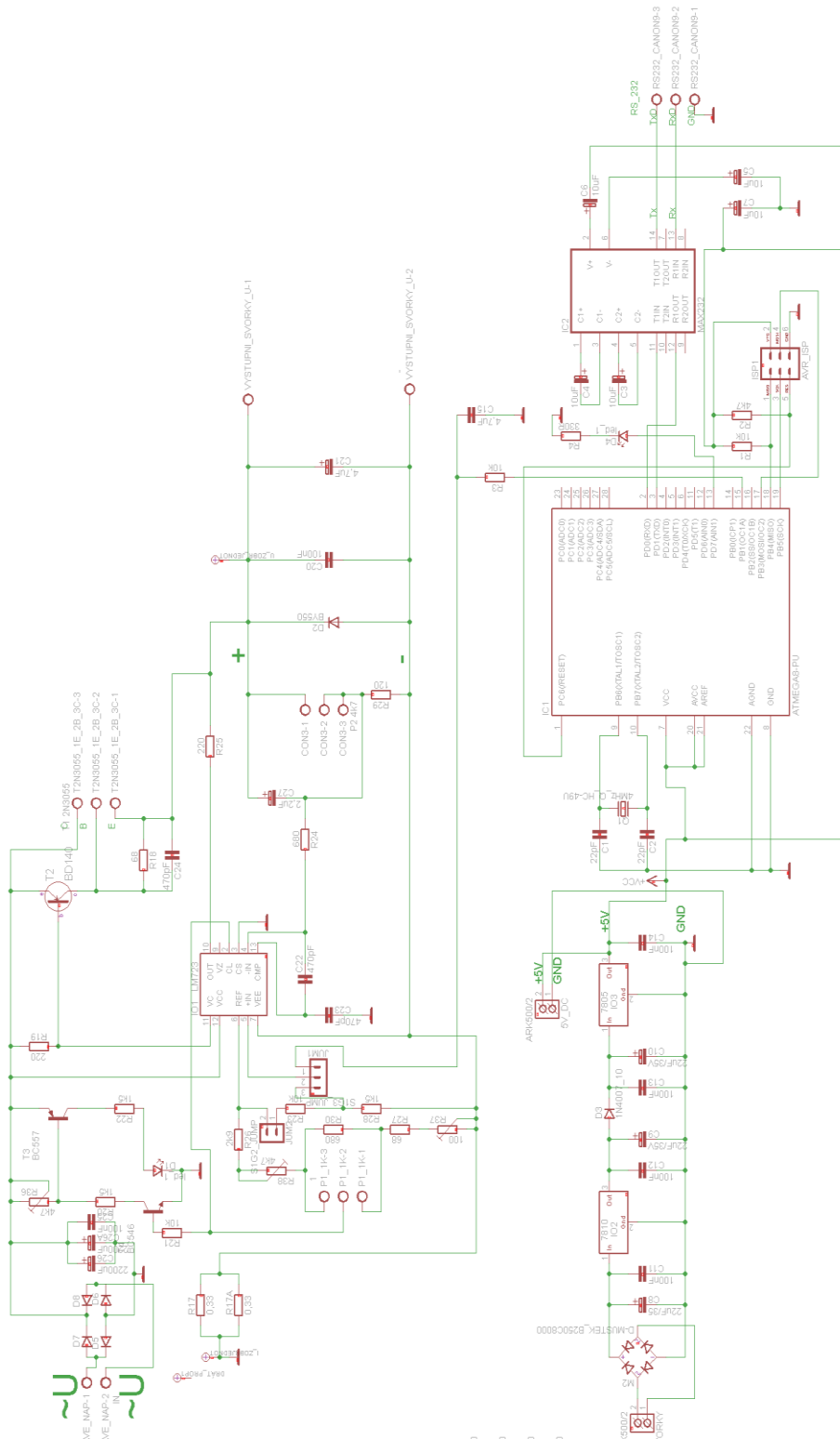
4.1 Napájení

Napájení samostatného zdroje se skládá ze síťového transformátoru (230 V/ 25 V – 5 A, 9 V - 0,5 A, více kapitola 10), usměrňovače a kvalitního filtru. Usměrňovač je zrealizován z diodového můstku. Za usměrňovačem je filtr, který je tvořen ze dvou elektrolytických kondenzátorů a jednoho keramického. Elektrolytické kondenzátory mají každý kapacitu 2200 μF a svou velkou kapacitou zajišťují dostatečně velké vyfiltrování usměrněného napětí od síťového brumu. Keramický kondenzátor slouží k odstranění šumu, který je vyprodukován diodami. Z tohoto transformátoru jsou ještě napájené obvody pro ventilátor a zobrazovací jednotky.

Pro napájení DPS s komunikací a řízením je použit toroidní transformátor (230 V/ 12 V – 3 A). Byl použit z důvodu nedostačujícího sekundárního vinutí (9 V - 0,5 A) již výše zmíněného transformátoru. Napájecí zdroj pro tuto desku je opět tvořen pomocí můstkového usměrňovače, filtru a dvou stabilizátorů.

4.2 Zapojení

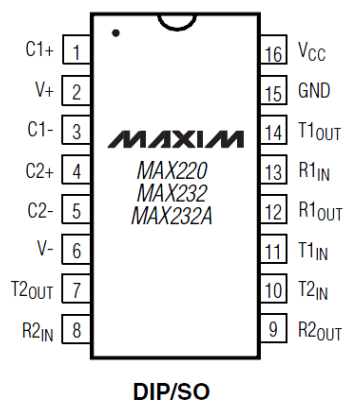
Původně byla navržena a zrealizována jen jedna DPS, která byla složena ze tří částí. Výkonové části, komunikace a řízení. Po realizaci a testování, se přišlo na to, že návrh desky nebyl zcela ideální, neboť při návrhu v programu Eagle se vyskytla chyba a to v podobě navržení slabých vodivých cest pro komunikaci a řízení. Projevilo se to tím, že při procesu leptání se slabé vodivé cesty mírně podleptaly a při procesu pájení se mírně odlupovaly. To byl také jeden z důvodů, proč došlo k jejich poškození vlivem zkratu, jak je popsáno v kapitole 8.1. Samostatný výkonový obvod zdroje byl navržen v pořádku a byl ponechán. Bylo nutné vytvořit samostatnou DPS s komunikací a řízením. Celkové schéma zdroje s komunikací a řízením *Obr. 4.1*.



Obr. 4.1 Celkové schéma zapojení navrženého lineárního zdroje s komunikací a řízením

4.3 Komunikace přes rozhraní RS232 pomocí převodníku MAX232

Pro komunikaci byl vybrán převodník MAX232 od firmy Maxim, který pro svou nízkou cenu a spolehlivost je nejčastěji používán. Obsahuje dva převodníky z TTL na RS232 a dva převodníky z RS232 na TTL. Výhodou tohoto převodníku je, že potřebuje pro svoji činnost pouze jeden zdroj napětí - +5 V. Napětí pro RS232 je získáno pomocí tzv. nábojové pumpy a proto výstupní napětí je velice závislé na kvalitě použitých kondenzátorů. Používají se jak elektrolytické, tak i tantalové kondenzátory. U elektrolytických kondenzátorů je nevýhodou, že postupem času jejich kvalita z důvodu vysychání elektrolytu klesá. Výhodnější je tedy použít tantalové. Hodnoty kondenzátorů se pohybují od 0,1 μF až do 1 μF dle typu využitého převodníku. Napětí se získává na pinech 2 a 6. Pouzdro integrovaného obvodu MAX 232 je na Obr. 4.2.[12]



CAPACITANCE (μF)					
DEVICE	C1	C2	C3	C4	C5
MAX220	0.047	0.33	0.33	0.33	0.33
MAX232	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MAX232A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Obr. 4.2 : Integrovaný obvod MAX232 [12]

Zapojení převodníku MAX232 je velice obvyklé pro zařízení komunikující přes RS232. Převodník je k mikrokontroleru připojen přes piny 12 ($R1_{\text{OUT}}$) a 11 ($T1_{\text{IN}}$) a ke konektoru Canon9 je připojen přes piny 13 ($R1_{\text{IN}}$) a 14 ($T1_{\text{OUT}}$). Zapojení je velice jednoduché a většinou okamžitě funkční.

4.3.1 Sériové rozhraní RS232

RS232 je rozhraní pro přenos informace vytvořené původně pro komunikaci mezi dvěma zařízeními. Například komunikace mezi PC a modemem do maximální vzdálenosti dvaceti metrů. Informace se přenáší duplexní asynchronní komunikací typu bod – bod, což znamená, že na jeden přijímač připadá jeden vysílač. Přenos probíhá po nesympetrickém vedení, při kterém se používá negativní logika. [9]

Napětové úrovně – RS-232 využívá dvě napětové úrovně, a to Log. 1 a Log. 0. Nejčastěji se Log. 1 značí jako making state, a je na sběrnici označována jako stav v klidu a Log. 0 je nazývána space state. Logická 1 je indikována zápornou úrovní a logická 0 kladnou úrovní výstupních vodičů. Pro generování napětí se nejčastěji využívá zdvojovač 5 V a inventar, který změní polaritu napětí. Logické úrovně jsou přenášeny napětím v rozmezí od +10 V (Log. 0) do -10 V (Log. 1). Pro zabezpečení správných napětových úrovní je nutné, aby vedení mělo vhodné impedanční zakončení, maximálně 7 kΩ. Napětové úrovně signálů jsou uvedeny v *Tab. 4.1.* [9]

Tab. 4.1 : Napětové úrovně signálů [9]

Úroveň	Vysílač	Přijímač
Log. 0	+5V to +15V	+3V to + 25V
Log. 1	-5V to -15V	-3V to +-25V
nedefinovaná	-3V to +3V	

V klidovém stavu je na sběrnici Log. 1. Start bit umožňuje zahájit vysílání (Log. 0) a je následně detekován na přijímací straně. Náběžná hrana start bitu poslouží hraně k synchronizaci s vysílačem. Potom se následně vysílá 8 bitů, které jsou zabezpečeny pomocí paritního bitu. Bit je vygenerován buď jako sudá nebo lichá parita. Ukončení vysílání mají na starosti buď jeden, nebo dva stop bity Log. 1. [9]

Parita – nejjednodušší způsob, kterým se zabezpečuje přenos dat. Ve vysílacím zařízení jsou sečteny jedničkové bity a ty jsou následně doplněny paritním bitem. Musí být zachována podmínka buď sudého, nebo lichého počtu jedničkových bitů, která je předem nadefinována.

Sudá parita – (sudé číslo) = počet jedničkových bitů + paritní bit

Lichá parita – (liché číslo) = počet jedničkových bitů + paritní bit

Délka a rychlost vedení – dle specifikace je maximální rychlost pro sériové rozhraní RS-232 19,2 kbit/s. Standart RS 232 uvádí, že maximální délka vedení dosahuje 15m, nebo délku vedení o kapacitě 2500 pF. Reálná délka vedení je závislá na zatěžovací kapacitě, která se nesmí přesáhnout. Kabel se může prodlužovat ale na úkor přenosové rychlosti, *Tab.4.2.* [9]

Tab. 4.2 :Přenosová rychlost v závislosti na délce vedení [9]

Přenosová rychlost[bit/s]	Délka vedení [m]
19200	15
9600	150
4800	300
2400	900

Přenos dat – přenos dat na sériovém rozhraní je uskutečněn po lince TxD (Přijímaná data - Transmit data) a po lince RxD (Vysílaná data – Reccive data). Ostatní linky jsou určeny pro plnění pomocných funkcí pro řízení a strukturování při přenosu dat. Jsou označovány jako handshake, jelikož se používají pro vzájemné potvrzení dat, které se přenáší mezi jednotlivými zařízeními. Tyto vedení je možno programově nastavovat a číst jejich stav. V některých jednodušších aplikacích se používají jen datové signály TxD a RxD. Popis vývodů pro Canon25 a Canon9 je uveden v Tab. 4.3. [9]

Tab. 4.3 : Popis vývodu pro Canon25 a Canon9 [9]

VÝVOD (25PINŮ)	VÝVOD (9PINŮ)	VSTUP VÝSTUP	OZNAČENÍ	FUNKCE
2	3	VÝSTUP	TxD(TRANSMIT DATA)	VYSÍLANÁ DATA
3	2	VSTUP	RxD(RECEIVE DATA)	PŘIJÍMANÁ DATA
4	7	VÝSTUP	RTS (REQUEST TO SEND)	VÝZVA K VYSÍLÁNÍ
5	8	VSTUP	CTS (CLEAR TO SEND)	POHOTOVOST K VYSÍLÁNÍ
6	6	VSTUP	DSR (DATA SET READY)	POHOTOVOST DCE
7	5		GND (GROUND)	SIGNÁLOVÁ ZEM
8	1	VSTUP	DCD (DATA CARRIER DETECT)	DETEKTOR PŘIJÍM. SIGNÁLU
20	4	VÝTUP	DTR (DATA TERMINAL READY)	POHOTOVOST DTE
22	9	VSTUP	RI (RING INDICATOR)	INDIKÁTOR VEDENÍ

4.4 Řízení

Pro realizaci byl zvolen mikrokontroler ATmega8, pro jeho dobré vlastnosti: přijatelná rychlost, snadné přeprogramování, levná pořizovací cena.

Zapojení mikrokontroleru s převodníkem MAX232 je velice jednoduché. Procesor je schopný pracovat s interním nebo s externím krystalem (16MHz). Na tyto vlastnosti bylo nutné brát ohled při návrhu desky a proto na DPS je počítáno i s připojením externího krystalu. Při testování komunikace mezi PC a procesorem byl použit interní i externí

krystal. V podkapitole 4.4.1 jsou popsány základní vlastnosti mikrokontroleru ATmega8.

4.4.1 ATmega8

ATmega8 je malovýkonový CMOS 8-bitový mikrořadič založený na AVR RISC architektuře. Tím, že provádí výkonné instrukce v jediném hodinovém cyklu, dosahuje 1 MIPS na 1 MHz. [10,11]

AVR jádro kombinuje 32 účelových pracovních registrů s účinnými algoritmy. Všech 32 registrů je přímo spojeno s Aritmeticko Logickou jednotkou (ALU). Dva registry mohou mít přístup do jedné samostatné instrukce, která je vykonávána v jednom hodinovém cyklu. Výsledná architektura je efektivnější, jelikož dosahuje desetkrát vyšší rychlosti, než konvenční CISC mikrořadič. [10,11]

ATmega8 poskytuje následující vlastnosti: 8kB ISP paměť, 512 kB EEPROM, 1kB SRAM, 23 vstupně/výstupních linek, 32 účelových pracovních registrů. 3 flexibilní časovače PWM s porovnávacími módy, interní/externí přerušení, zabudovaný synchronní a asynchronní sériový kanál USART, programovatelný obvod WDT (Watch-Dog Timer, hlídač správného běhu programu) s vnitřním oscilátorem, SPI kanál (použití pro programování přímo v aplikaci) a TWI rozhraní (zajišťují komunikaci s periferními obvody – sběrnice Microware nebo PC), 6x10bit A/D převodník, 2x8bit A/D převodník. Klidový režim zastaví CPU a umožní SRAM, čítači/časovači, SPI kanálu a systému přerušení i nadále fungovat ve své činnosti. Power-down mód uloží obsah registrů, vypne se oscilátor, vyřadí se ostatní funkce čipu až do dalšího přerušení nebo resetu hardwaru. V Power-down módu pokračuje asynchronní časovač v činnosti, takže uživateli dovoluje udržovat minimální činnost časovače, zatímco zbytek zařízení je v režimu spánku. V režimu Standby oscilátor běží, zatímco zbytek zařízení je v režimu spánku. Toto umožňuje velmi rychlé spuštění, které není energeticky příliš náročné. [10,11]

4.4.2 AVR Architektura

Je založena na koncepci rychle přístupného registrového pole, ve kterém je obsaženo 32 registrů o délce 8 bitů. Přístup do registrového pole je uskutečněn v jediném hodinovém (strojovém) cyklu. Z toho vyplývá, že při uskutečnění jednoho strojového cyklu lze vykonat jednu aritmeticko-logickou operaci. Z registrového pole jsou načteny instrukce obou aritmeticko-logických operandů, následně se provede operace a výsledek

je zpět směřován do registrovaného pole. To vše v jediném strojovém cyklu. Díky této technice je dán procesorům ATmega velký výpočetní výkon. [10,11]

4.4.3 Strojové a hodinové cykly

Strojový cyklus mikrokontrolérů ATmega přímo odpovídá hodinovému cyklu, při kterém nedochází k žádnému dělení hodinových cyklů jako u jiných mikrokontrolérů. [10,11]

4.4.4 Prefetch a pipelining

AVR mikrokontroléry využívají velmi primitivní předvýběr instrukcí (Prefetch) a tím je implementován jednofázový pipelining, což je zřetěžené provádění instrukcí. Z programové paměti je v prvním kroku načtena prvotní instrukce. Současně s tímto krokem, jak se v následujícím hodinovém cyklu instrukce provádí, se předvybírání druhá instrukce a ve stejný okamžik se předem z instrukční fronty (pipeline) načítá třetí atd. [10,11]

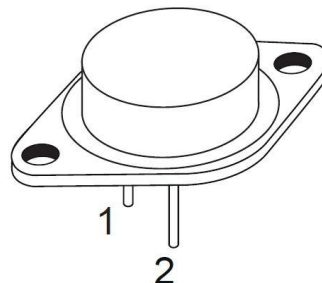
4.5 Výkonová část zdroje

Hlavním a důležitým prvkem je stabilizátor LM723, který v sobě obsahuje regulátor napětí a proudové omezení. Tranzistory T1 a T2 slouží k vlastní výkonové regulaci. Na tranzistoru T1 se ztrácí téměř všechno výkon, a z tohoto důvodu se musí velice dobře chladit. Výstupní hodnota napětí je regulována potenciometrem P2. Regulace proudu se provádí potenciometrem P1 pomocí snímacího odporu R17. Na odporu R17 vzniká úbytek napětí, který je vyvolán průchodem výstupního proudu - tento úbytek se měří. Vlivem velkého protékajícího proudu musí být odpor R17 dostatečně výkonově dimenzován. Proudová ochrana reaguje, když se na odporu R17 objeví určitý úbytek napětí cca. 0,6 V. Tranzistory T3 a T4 s diodou D1 jsou určeny pro indikaci činnosti proudového omezení, jakmile se dioda rozsvítí, tak je výstupní proud omezen. Trimr R36 slouží k nastavení maximálního proudu, který bude procházet proudovou pojistkou (0 – 3 A). Dioda na výstupních svorkách slouží jako ochrana zdroje před napěťovými špičkami, které vznikají při připojení zátěže induktivního charakteru.

4.6 Proudové posílení výstupu

Regulátor LM723 je schopen dodávat výstupní proud pouze do hodnoty 150 mA. Jakmile je hodnota výstupního proudu mnohem vyšší než hodnota, kterou regulátor umožňuje, musí být použity vnější posilovací výstupní obvody. Hodnota výstupního proudu je pak závislá na parametrech vnějších součástek. Nejčastěji se používají pro

posílení výstupního proudu tranzistorů PNP a NPN. V tomto případě je použit NPN výkonový tranzistor 2N3055 v pouzdře TO-3, jehož ztrátový výkon může být desítky W. Z tohoto důvodu je tranzistor vyveden na externí chladič. Pouzdro tranzistoru je zobrazeno na *Obr. 4.6*.



TO-3

Obr. 4.6 : Pouzdro tranzistoru TO-3[14]

4.7 Nastavení proudového omezení

Funkce proudového omezení byla již popsána v kapitole 4.5. Pro správnou funkci tohoto omezení je velice důležité jeho přesné nastavení. Nastavení je realizováno tím, že se na výstupní svorky zdroje připojí zátěž (hodnota zátěže byla zvolena 10Ω dle Ohmova zákona, aby při maximálním napětí 30 V protékal proud 3 A) v sérii s ampérmetrem. Potenciometr P2, kterým se reguluje manuálně výstupní hodnota napětí, se vytočí na maximum a potenciometr P2 se nastaví na hodnotu nejmenšího proudu. Trimrem R38 se nastaví spodní mez proudového omezení. Horní mez se nastaví tak, že potenciometr P1 se nastaví na maximální hodnotu a doladovacím trimrem R37 se nastaví maximální hodnota proudu 3 A. Trimrem R36 se nastaví okamžik, kdy se rozsvítí dioda D1 která signalizuje, že je proudové omezení aktivní.

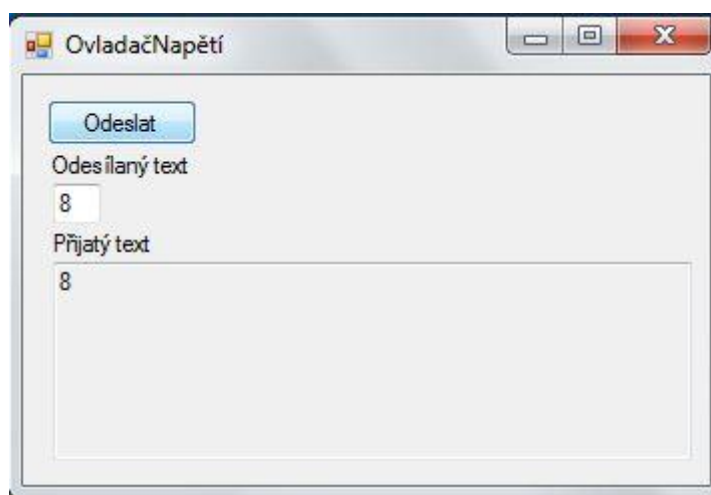
4.8 Výstupní napětí – regulace

Velikost výstupního napětí je řízena MCU, který generuje výstupní napětí PWM v rozmezí 0 – 5 V. Výstupní napětí na svorkách zdroje je závislé na velikosti střídavé. Střídavá je určena hodnotou porovnávacího registru ORC1A, když je v registru minimální hodnota, tak generovaný signál má hodnotu 0 V a při dosažení maximální hodnoty je na výstupu 5V. Jednotlivé hodnoty výstupního napětí odpovídají příslušným hodnotám v porovnávacím registru. Generované napětí z výstupu čítače následně prochází přes filtr – dolní propust (RC členek), kde je napětí mírně vyhlazeno a je přivedeno na neinvertující zapojení operačního zesilovače. Tento operační zesilovač je součástí

regulátoru LM723 a pomocí jeho ZZV, která má určité zesílení, zesiluje vstupní hodnotu U_{in} OZ na požadovanou výstupní hodnotu O_{out} OZ, což je výstupní hodnota zdroje. Abychom zjistili přesnou hodnotu registru OCR1A, která by odpovídala požadované hodnotě výstupního napětí, bylo nutné udělat několik výpočtu. Výpočty jsou znázorněny v kapitole 4.11.

4.9 Ovládací aplikace

Aplikace je určena pro vysílání a přijímání dat z mikroprocesoru. Do okna “Odesílaný text“ se nastaví požadovaná výstupní hodnota napětí a po sériovém rozhraní RS232 se pošle do MCU, který následně zašle zpět nastavenou hodnotu. Hodnota je zobrazena v okně “Přijatý text”.



Obr. 4.9.1 Ovládací aplikace pro odesílání a přijímání dat

4.10 Realizace

Před vytvořením DPS zdroje, byla výkonová část zdroje odzkoušena na pájivém poli a následně otestována. Výhoda pájivého pole vůči nepájivému je taková, že součástky jsou pevně uchycené na zkušební desce a tím je zamezeno náhodnému rozpojení v některé části obvodu. Ovšem nevýhodou představuje skutečnost, že stavba obvodů na pájivém poli je časově náročnější než na poli nepájivém. Řídicí a komunikační obvod byl postaven na nepájivém poli, u kterého lze snadno a rychle zapojit součástky. Po otestování obou zapojení na konkrétních polích započal návrh a realizace DPS. Postup výroby DPS je popsán v kapitole 7.

4.11 Osazení a oživení

V této kapitole je popsáno oživení zdroje. Nejdříve se osadily rezistory společně s drátovými propojkami, kondenzátory, polovodiče (diody, tranzistory, stabilizátory). Stabilizátory IO3 a IO2 se přišroubovaly na externí chladič společně s tranzistorem T1. Tranzistor T1 se připojil na DPS drátovými propojkami. Dále se DPS se součástkami přišroubovala na distanční sloupky. Potenciometry na regulaci napětí a proudu se umístily na přední panel společně se síťovým vypínačem a výstupními svorky zdroje. Na vstupní svorky zdroje se připojilo sekundární napětí z transformátoru. Po zkontrolování správně osazených součástek se připojil transformátor do sítě. Následně se na výstupní svorky připojil voltmetr a ampérmetr pro zjištění funkčnosti manuální regulace napětí a proudu.

Po oživení samostatného zdroje se osadila DPS s převodníkem a mikrokontrolerem. V první fázi bylo nutné vyzkoušet správnost těchto obvodů, zda jsou správně zapojeny. Nejdříve se otestovalo rozhraní RS232 jestli je schopné umožnit komunikaci mezi PC a MCU. To bylo provedeno testovacím programem, který vypisoval znaky odeslané z MCU. Pro zjištění správné komunikaci byla použita aplikace Hyperterminal. Nyní bylo na řadě se seznámit detailně s MCU. Do MCU se nahrál zdrojový kód, který měl za úkol rozblikání LED diody. Po zjištění funkčnosti komunikace a MCU bylo na řadě vytvořit program pro regulaci výstupního napětí. Po mnoha testech a nastavování se podařilo regulovat výstupní napětí zdroje.

4.12 Naměřené hodnoty

Po naprogramování se ověřila přesnost výstupního napětí. Měřilo se zátěží, tak i bez zátěže. Zátěž byla tvořena rezistorem o hodnotě 100 Ω /3 A.

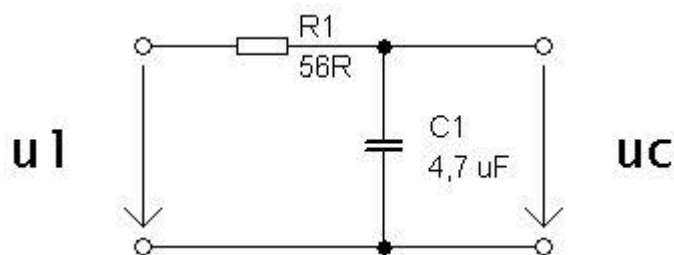
Tab. 4.12 Měření výstupního napětí

	Bez zátěže	Se zátěží
U_1 [V]	U_2 [V]	U_2 [V]
1	1,05	
2	2,01	1,97
3	2,90	2,89
4	3,98	3,92
5	4,97	4,85
6	5,92	5,90
7	6,94	6,92
8	7,93	7,92
9	8,96	8,93
10	9,97	9,95
11	10,90	10,89
12	11,80	11,77
13	12,88	12,82
14	13,92	13,92
15	14,98	14,96
16	15,93	15,90
17	16,97	16,93
18	17,96	17,95
19	19,01	18,98
20	20,02	20,00
21	20,93	20,91
22	21,91	21,90
23	22,88	22,87
24	23,93	23,93
25	24,98	24,97
26	25,93	25,90
27	26,97	26,6
28	27,96	27,92
29	29,04	28,97
30	30,07	30,01

4.13 Výpočet DP filtru, operační sítě a U_{PWM}

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.8 pro výpočet hodnoty porovnávacího registru ORC1A, bylo nutné udělat několik důležitých výpočtů.

Výpočet DP filtru



Obr. 4.13 RC článek

$$u_1 = u_c + u_R \quad (4.14)$$

$$u_1 = u_c + C \frac{\partial u_c}{\partial t} \cdot R \quad (4.15)$$

$$R \cdot C \frac{\partial u_c}{\partial t} + u_c = u_1 \quad (4.16)$$

$$R \cdot C \cdot \lambda = -1 \quad (4.17)$$

$$\lambda = -\frac{1}{R \cdot C} \quad (4.18)$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (4.19)$$

$$\tau = R \cdot C \quad (4.20)$$

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{250 \cdot 10^{-6}}{4,7 \cdot 10^{-6}} = 53 \quad \Omega \quad (4.21)$$

Hodnota časové konstanty τ byla zvolena na $250 \cdot 10^{-6}$. Hodnota kapacity kondenzátoru je $4,7 \cdot 10^{-6}$ F. Tyto hodnoty byly dosazeny do rovnice 4.18.

$$u_c = k \cdot e^{-\lambda t} = U_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4.22)$$

$$f_{PWM} = \frac{f_{osc}}{N \cdot (1 + TOP)} \quad (4.23)$$

TOP = 1023 – hodnota, do které čítač čítá, N = představuje dělicí poměr (1,8, 64, 256 nebo 1024) pro výpočet bylo zvoleno číslo 1, $f_{osc} = 4$ MHz,

$$f_{PWM} = \frac{4000000}{1 \cdot (1 + 1023)} = 3906 \quad \text{Hz} \quad (4.24)$$

$$T_{PWM} = \frac{1}{3906} = 256 \cdot 10^{-6} \quad \text{s} \quad (4.25)$$

Výpočet U_{pmw}

U_{pwm} vychází z hodnoty napětí, která byla získána při výpočtu DP filtru.

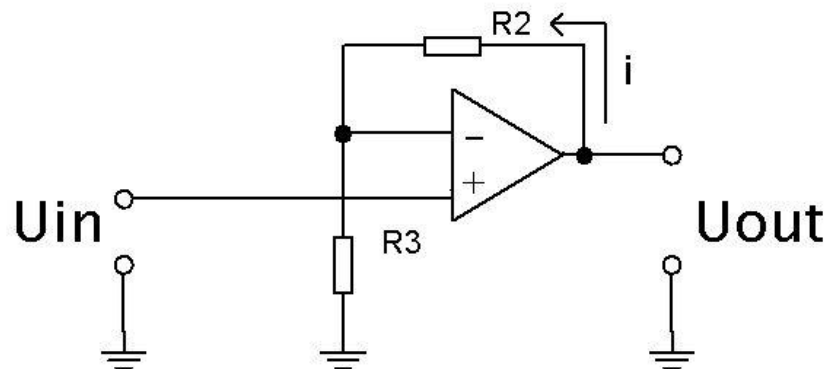
$$U_{STR} = \frac{1}{T} \cdot \int_{T_1}^{T_2} U_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U_1}{T} \cdot \left[\frac{e^{-\frac{t}{\tau}}}{-\frac{1}{\tau}} \right]_{T_1}^{T_2} = \frac{\tau \cdot U_1}{T} \left[-e^{-\frac{T}{\tau}} + e^{-\frac{T_1}{\tau}} \right] = U_{PWM} = U_{IN} \quad (4.26)$$

Výpočet operační sítě

$$I = \frac{U_{OUT}}{R_2 + R_3} \quad (4.27)$$

$$U_{in} = R_3 \cdot I = U_{OUT} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (4.28)$$

U_{OUT} je námi požadovaná hodnota od 0 V do 30 V. $R_2 = 590 \Omega$, $R_3 = 120 \text{ k}\Omega$



Obr. 4.38 Operační síť LM723

Výpočet doby T_1

$$U_{OUT} = \frac{R_2 + R_3}{R_2} \cdot \frac{\tau \cdot U_1}{T} \left[-e^{-\frac{T}{\tau}} + e^{-\frac{T_1}{\tau}} \right] \quad (4.29)$$

$$U_{OUT} + \frac{R_2 + R_3}{R_2} \cdot \frac{\tau \cdot U_1}{T} \cdot e^{-\frac{T}{\tau}} = \frac{R_2 + R_3}{R_2} \cdot \frac{\tau \cdot U_1}{T} \cdot e^{-\frac{T_1}{\tau}} \Rightarrow (R_3 \cdot T) \quad (4.30)$$

$$U_{OUT} \cdot R_3 \cdot T + (R_2 + R_3) \cdot \tau \cdot U_1 \cdot e^{-\frac{T}{\tau}} = \quad (4.31)$$

$$= (R_2 + R_3) \cdot \tau \cdot U_1 \cdot e^{-\frac{T_1}{\tau}} \Rightarrow ((R_2 + R_3) \cdot U_1)$$

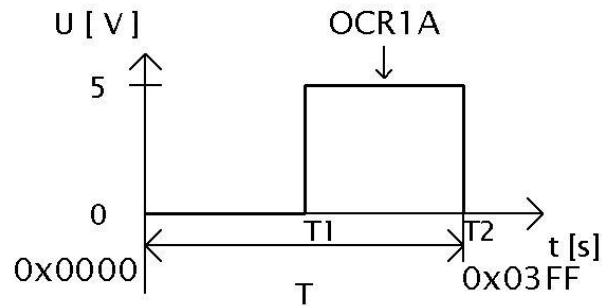
$$e^{-\frac{T_1}{\tau}} = \frac{U_{OUT} \cdot R_3 \cdot T}{(R_2 + R_3) \cdot U_1} + e^{-\frac{T}{\tau}} \quad (4.32)$$

$$T_1 = -\tau \cdot \ln \left[\frac{U_{OUT} \cdot R_3 \cdot T}{(R_2 + R_3) \cdot U_1} + e^{-\frac{T}{\tau}} \right] \quad (4.33)$$

Z doby T_1 je následně vypočítána hodnota registru OCR1A

$$OCR1A = \frac{T_1}{t_{CYKLU}} = \frac{\tau \cdot \ln \left[\frac{U_{OUT} \cdot R_3 \cdot T}{(R_2 + R_3) \cdot U1} + e^{-\frac{T_1}{\tau}} \right]}{t_{CYKLU}} \quad (4.34)$$

$$t_{CYKLU} = \frac{1}{f_{\check{C}ITA\check{C}E}} \Rightarrow f_{\check{C}ITA\check{C}E} = 4 \text{ Mhz} \quad (4.35)$$



Obr. 4.36 Znáornění doby T_1 a T_2 pro výpočet OCR1A

Výsledný vzorec 4.34 byl zapsán do zdrojového kódu a následně nahrán do MCU ale výstupní hodnoty bohužel neodpovídali požadovaným hodnotám napětí, tento problém se vyřešil tím, že byly pro požadované hodnoty výstupního napětí konkrétně vypočítány hodnoty registru OCR1A, viz. vzorec 4.37.

$$OCR1A = \frac{U_{Požadované}}{U_{Max}} \cdot 1023 \quad (4.37)$$

5 Zobrazovací jednotka napětí a proudu

5.1 Popis a realizace

Zobrazovací jednotka je tvořena z integrovaného obvodu ICL7107 od firmy Intersil a diskretních součástek. Pro zobrazení výstupních hodnot jsou použity tři 7segmentové displeje se společnou anodou typu SA56. Celkové zapojení integrovaného obvodu s konkrétními součástkami bylo převzato z katalogového listu výrobce, ve kterém byla možnost si vybrat z různých variací zapojení. Integrovaný obvod obsahuje A/D převodník, zdroj referenčního napětí a dekodér, který slouží pro 7- segmentový displej. Integrovaný obvod je velice přesný a univerzální.

Pro zobrazení hodnoty napětí a proudu byla pro každou veličinu vytvořena samostatná deska plošného spoje. Na DPS se nachází integrovaný obvod se součástkami, konektory pro napájení a pro sondu konkrétní veličiny. Na navržené desce plošného spoje jsou vyvedeny pájecí body, na které jsou naletovány drátové propojky pro připojení tří 7-segmentových displejů, které jsou usazeny na své vlastní DPS. Led displeje jsou samostatně usazeny z důvodu jednodušší montáže na přední panel konstrukční skříňe zdroje. Schéma celkového zapojení se nachází na *Obr. 5.1*.

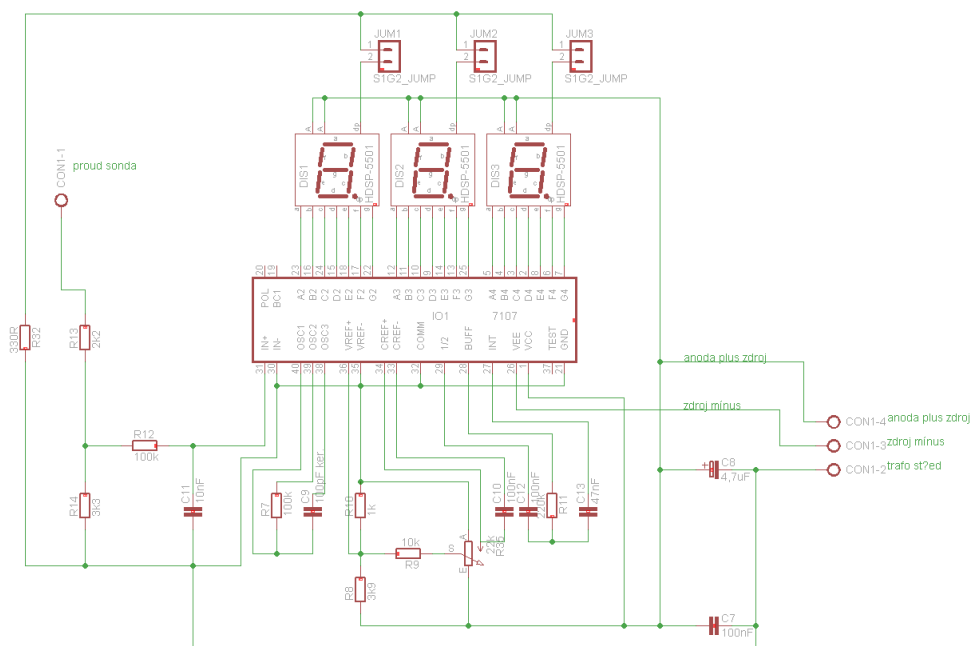
5.2 Kalibrace zobrazovacích jednotek

Nastavení jednotek pro měření napětí a proudu je realizováno pomocí nastavovacího trimru o hodnotě 22 k Ω , který se nachází na DPS obou jednotek.

Nastavení jednotky pro napětí se provádí tak, že na výstupní svorky zdroje se připojí kalibrační voltmetr. Potenciometr, který reguluje výstupní hodnotu napětí, se otočí doprava na maximum a trimrem se nastaví referenční napětí pro integrovaný obvod, tak, aby hodnota na LED displeji zobrazovala stejnou hodnotu, jakou ukazuje kalibrační voltmetr. Při kalibraci bylo zjištěno, že kalibrace trimrem je velice nepřesná, jelikož zobrazovací jednotka ukazovala dle nastavení hodnoty trimru stále rozdílnou hodnotu napětí od skutečné hodnoty minimálně o 1 – 3 V. Po několika různých pokusech se připojil do obvodu jednotky místo rezistoru R8 s pevnou hodnotu 3,9 k Ω potenciometr o hodnotě 5 k Ω . Tímto potenciometrem se nastavila přesná hodnota zobrazovaného napětí na LED displeji. Pro kalibraci byl použit multimetr PAN51.

Nastavení jednotky pro proud, je realizováno tak, že na výstupní svorky zdroje se připojí ochranný odpor, který je zapojen v sérii s ampérmetrem. Potenciometr pro regulaci výstupního proudu se vytočí na maximum a trimrem se nastaví opět referenční

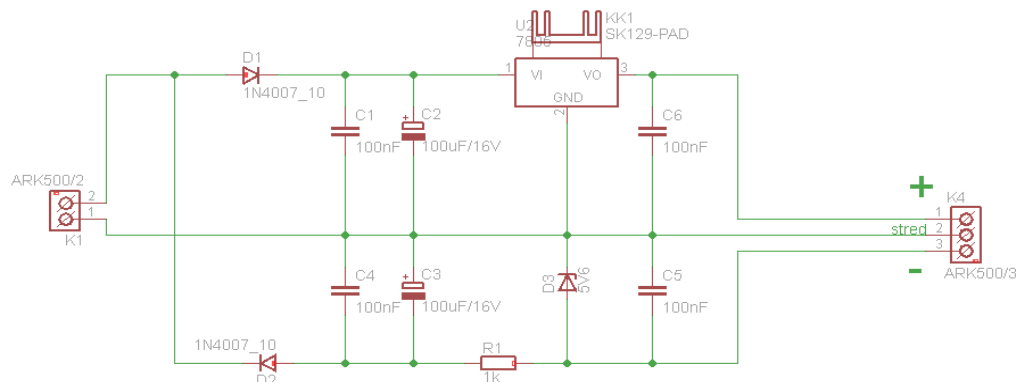
napětí pro integrovaný obvod tak, aby hodnota na LED displeji byla totožná s hodnotou ampérmetru.



Obr. 5.1 : Schéma zapojení zobrazovací jednotky

5.3 Napájení zobrazovacích jednotek

Integrovaný obvod ICL7107 vyžaduje symetrický stabilizovaný zdroj, který má na výstupních svorkách +5 V, -5 V a GND. Usměrnění napětí bylo provedeno pomocí dvoucestného usměrňovače. Pro filtr zdroje byl zvolen elektrolytický kondenzátor o hodnotě 100 μ F/35 V. Na vstupních a výstupních svorkách integrovaného stabilizátoru 7805 a Zenerovy diody 5V6 byly použity odrušovací keramické kondenzátory o kapacitě 100 nF. K integrovanému stabilizátoru byl při vývoji desky umístěn chladič, který se nachází společně se stabilizátorem na DPS. Stabilizátor je od chladiče odizolován silikonovou izolační podložkou. Lepší přejímání tepla ze stabilizátoru na chladič bylo provedeno pomocí teplovodivé pasty. Schéma zapojení je na Obr. 5.3.



Obr. 5.3 : Schéma zapojení napájecího obvodu pro zobrazovací jednotku

6 Chlazení zdroje

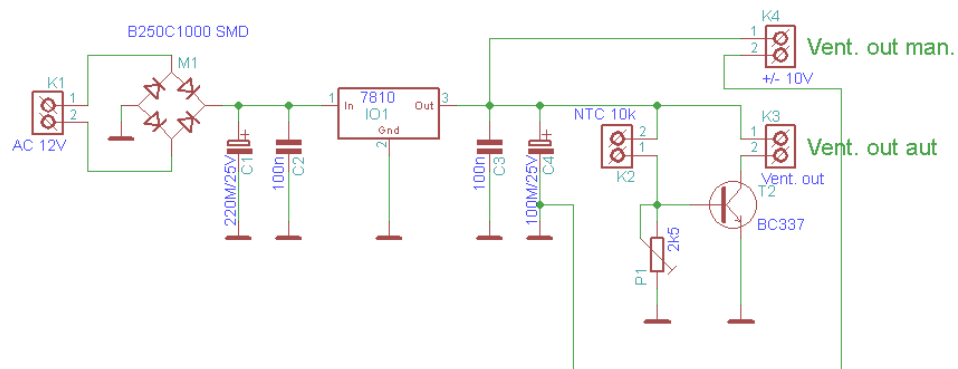
K důležité součásti zdroje také patří aktivní a pasivní chlazení výkonových součástek. Dobré chlazení zdroje je velice důležité. Dobrým chlazením se jednotlivé součástky příliš nezahřívají a tudíž mají delší životnost.

6.1 Pasivní chlazení

Z důvodu zahřátí tranzistoru T1 na velkou teplotu vlivem ztrátového výkonu, je tranzistor vyveden na zadní panel konstrukční skříně, kde je uchycen na hliníkový chladič o větších rozměrech. V první fázi byl tranzistor uchycen na chladič přes izolační podložku ale bez izolačních průchodek a to mělo za následek zkrat a zničení obvodu procesoru a komunikace RS232. Tento problém byl odstraněn pomocí již výše zmíněných izolačních průchodek. Na vnější chladič jsou také uchyceny integrované stabilizátory 7810 a 7805, které jsou součástí zdroje pro napájení procesoru ATmega8 a převodníku MAX232. Integrované stabilizátory byly navrženy tak, že budou umístěny na DPS s ostatními součástkami. Po otestování se ale zjistilo, že jsou příliš zahřáté a nestačí se samostatně ochlazovat. Z tohoto důvodu se z DPS vyvedly drátové propojky a byly uchyceny na chladič. Chladič je naddimenzován a je schopen součástky dostatečně uchládit.

6.2 Aktivní chlazení

Pro aktivní chlazení byl zvolen ventilátor o rozměrech 92x92 mm. Ventilátor je umístěn na zadním panelu uprostřed a má za funkci odvádět vzduch, který se nachází vně konstrukční skříně. Spínání ventilátoru je realizováno dvěma způsoby. První z nich je takový, že se ventilátor sepne pomocí termistoru NTC 10k, který se nachází na chladiči. Chladič se zahřeje, a termistor se zvyšující teplotou chladiče snižuje svůj odpor a sepne tranzistor BC337 a ventilátor se roztočí. V obvodu je zařazen také trimr, který je určen k nastavení meze sepnutí ventilátoru. Druhý způsob je jednoduchý a to tím, že se ventilátor připojí přímo na výstupní svorky zdroje. Přepínač mezi manuálním a automatickým sepnutím se nachází na předním panelu. Ventilátor je zakryt ochrannou mřížkou. Zapojení ventilátoru je zobrazeno na *Obr. 6.2*.

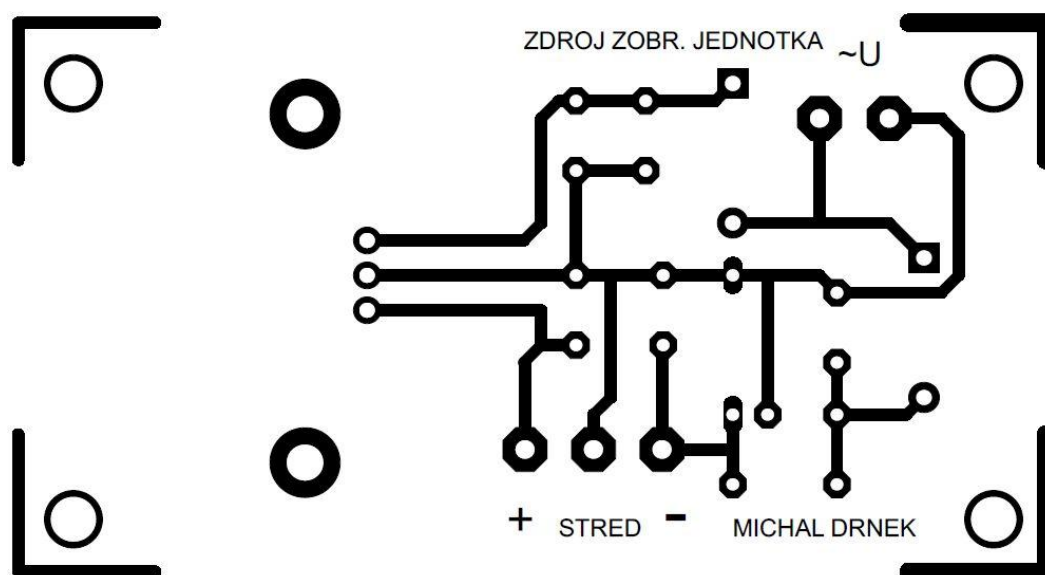


Obr. 6.2 : Schéma zapojení zdroje ventilátoru

7 Výroba a osazení DPS

7.1 Vytvoření motivu vodivých cest

K vytvoření návrhu DPS byl použit program Eagle od firmy CADSoft. Jedná se o spolehlivý a kvalitní nástroj, který není příliš uživatelsky náročný. Návrhový systém je složen ze tří hlavních aplikací, které obsahují schematický editor, editor plošného spoje a autorouter. V prvním kroku se nakreslí ve schematickém editoru kompletní schéma daného obvodu. Editor obsahuje velké množství knihoven pro jednotlivé součástky. V dalším kroku se v editoru plošného spoje vytvoří jednotlivé vodivé cesty mezi součástkami, což je požadovaný motiv. V posledním kroku se motiv vytiskne na průhlednou folii pomocí laserové tiskárny. Příklad motivu vodivých cest je na *Obr. 7.1*.



Obr. 7.1 : Motiv vodivých cest (vrstva bottom, měřítko 3:1)

7.2 Nanesení motivu vodivých cest

Nanesení motivu se vytvoří následujícím postupem. Nejdříve se fotocitlivý cuprexit upraví na totožnou velikost motivu. Motiv, který je vytištěný na průhlednou fólii se přiloží na cuprexit a přikryje 3 milimetrovým sklem a to z důvodu, aby nevznikaly na ploše cuprexitu stíny, které by měly za následek nesprávné vytvoření motivu vodivých cest na fotocitlivém cuprexitu. Dále se cuprexit s motivem položí pod výbojku a nechá se osvětlovat přibližně 150 – 180 vteřin. Celý tento postup se musí vytvářet v místnosti s minimálním okolním svitem.

7.3 Vyvolání motivu

Po osvětlení se vyvolání provádí v roztoku NaOH (hydroxid sodný neboli louh) při koncentraci 10g/l. Roztok se vytvoří v misce při pokojové teplotě a musí se důkladně rozmíchat. Deska cuprextitu se položí do misky fotoemulzí nahoru. Jemným štětcem se deska plynule omývá přibližně 1,5 – 2 minuty (záleží na koncentraci roztoku). Po správném vyvolání se deska musí důkladně omýt čistou vodou a vysušit. Při vyvolání může vzniknout několik problému a to, buď že je roztok příliš silný a celý motiv se smyje a je poškozen, nebo naopak je příliš slabý a nedojde ke smytí emulze. Obtížné vyvolání také může vzniknout při dlouhodobém uskladnění desky nebo při přílišném vytvrzení fotoemulze. Dalším problémem může být nedostatečný čas osvětlení. Vyvolání opět probíhá při mírném osvětlení. Při tomto procesu se musí používat ochranné pomůcky a to ochranný štít a rukavice.

7.4 Leptání

Leptání probíhá v chloridu železitém FeCl_3 , který se nalije do mělké misky. Důkladně vysušená deska plošného spoje se položí na hladinu motivem dolů. Deska zůstane plavat na hladině a leptací roztok, který rozpouští měď, klesá ke dnu misky. Deska se musí položit na hladinu tak, aby pod ní nevznikly vzduchové bubliny a tím se zamezí špatnému vyleptání motivu. Délka doby leptání závisí na čerstvosti chloridu železitého. U čerstvého je doba leptání přibližně 10-15 minut a u vyčerpaného 30 minut a déle. Leptání se může urychlit tím, že se předem chlorid železitý zahřeje na vyšší teplotu. Při zanechání desky v roztoku delší dobu může mít za následek podleptání vodivých cest a tím se znehodnotí celý plošný spoj a musí se započít nový proces výroby DPS.

7.5 Mytí a úprava tvaru

Desku s vyleptaným motivem je důležité důkladně omýt mýdlovou vodou a usušit, tím se dostatečně odstraní zbylý leptací roztok. Zanechání zbytku leptacího roztoku má za následek korozi desky a vodivé cesty nejdou pájet. Pro estetický dojem je vhodné desku zabrousit do výsledné velikosti.

7.6 Výsledná povrchová úprava

Fotoemulze, která se nachází stále na DPS se odstraňuje z povrchu syntetickým líhem nebo acetonem pomocí jemného bavlněného hadříku. Po důkladném očištění desky se nanese na vodivé cesty pájitelný lak, který zabraňuje korozi mědi. Lak se nanáší

vodorovně jemným štětcem a nechá se zaschnout. Poté se důkladně zkontrolují jednotlivé vodivé cesty, jakmile je nějaká cesta přerušena, proletuje se címem.

7.7 Osazení součástek

Před osazením jednotlivých součástek na DPS se musí vyvrtat otvory o různých průměrech. Součástky se osazují většinou od malých až po největší, aby si navzájem nepřekážely během pájení. Součástky, které se mohou poškodit vlivem statické elektřiny, a proto se osazují až nakonec, nebo se osadí pouze patice a vloží se do ní krátce před oživením zapojení. Pájení se provádí mikropáječkou nebo pistolovou páječkou za pomoci tavidla a pájky. Po osazení veškerých součástek se povrch ošetří ochranným lakem.

8 Výpočet a převinutí transformátoru

Transformátor je pro napájecí zdroj velmi důležitým prvkem, od kterého se odvíjí hlavní parametry zdroje. Pro napájecí zdroje se z velké většiny používají transformátory skládané z EI plechů nebo toroidní.

Pro tento zdroj byl použit transformátor z EI plechů, ale neměl potřebné hodnoty veličin sekundárních vinutí. Z tohoto důvodu bylo nutné transformátor převinout.

8.1 Výpočet

Původně měl transformátor na sekundární straně tři vinutí (2x30 V a 1x10 V). Pro potřeby zdroje bylo nutné vytvořit pouze dvě sekundární vinutí a to o hodnotách 1x30 V a 1x9 V. Z tohoto důvodu se staré sekundární vinutí muselo odvinout a vypočítat parametry pro nová dvě vinutí. Primární vinutí zůstalo v původním stavu.

Pro výpočet transformátoru je nutné znát parametry jednotlivých vinutí a to požadované napětí a protékající proud.

Výpočet výkonu jednotlivých vinutí

$$P_{25} = U_{25} \cdot I_{25} = 25 \cdot 5 = 125 \text{ W} \quad (8.1)$$

$$P_9 = U_9 \cdot I_9 = 9 \cdot 0,5 = 4,5 \text{ W} \quad (8.2)$$

Celkový výkon transformátoru je součet výkonů všech sekundárních vinutí

$$P_c = P_2 = P_{25} + P_9 = 125 + 4,5 = 129,5 \text{ W} \quad (8.3)$$

Příkon transformátoru

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \cdot 100 = \frac{129,5}{88} \cdot 100 = 147,16 \text{ W} \quad (8.4)$$

η = účinnost transformátoru, která vychází z Tab.8.5

Tab. 8.5: Účinnost transformátoru dle výkonu [13]

Výkon [VA]	Účinnost[%]	k1	k2
1-2	70	0,89	1,13
2-5	75	0,91	1,11
5-20	80	0,93	1,08
20-75	85	0,95	1,05
75-200	88	0,96	1,04
200-600	90	0,97	1,03
600-1400	92	0,97	1,02
1400 a výše	93	0,98	1,02

Hodnoty v tabulce jsou platné pro EI plechy, $B = 1 \text{ T}$ a $J = 2,5 \text{ A/mm}^2$

J = proudová hustota

Průřez jádra S

$$S = a \cdot b = 4 \cdot 4,3 = 17,2 \text{ cm}^2 \quad (8.6)$$

Výpočet závitů na jeden volt

$$N = \frac{45}{S} = \frac{45}{17,2} = 2,62 \quad (8.7)$$

Výpočet počtu závitů pro jednotlivá vinutí

$$N_i = N \cdot U_i \cdot k \quad (8.8)$$

k = korekce ztrát, vzato z *Tab. 10.5* k₁= primární vinutí, k₂= sekundární vinutí

$$N_{25} = 2,62 \cdot 25 \cdot 1,04 = 68 \text{ z} \quad (8.9)$$

$$N_9 = 2,62 \cdot 9 \cdot 1,04 = 24 \text{ z} \quad (8.10)$$

Výpočet průměrů vodičů pro jednotlivá vinutí

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot I}{\pi \cdot J}} \quad (8.11)$$

$$d_{25} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5}{\pi \cdot 2,5}} = 1,6 \text{ mm} \quad (8.12)$$

$$d_9 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,5}{\pi \cdot 2,5}} = 0,5 \text{ mm} \quad (8.13)$$

Při navíjení transformátoru je nutné dbát na to, aby byla jednotlivá vinutí od sebe dostatečně izolována. Vinutí jsou tvořena pomocí izolovaných vodičů. Na odizolování se používá kondenzátorový papír. Po dokončení navinutí transformátoru se vinutí naimpregnuje izolačním lakem. Vzorce pro výpočet byly převzaty z [13].

9 Konstrukční skříň

Konstrukční skříň byla zvolena s většími rozměry, než je obvyklá velikost skříní pro napájecí zdroje. Skříň má rozměry o velikosti (v x š x h, 132 x 440 x 350 mm) a je vyrobena z Fe plechu. Tyto neobvyklé rozměry byly zvoleny z důvodu lepšího chlazení zdroje a hlavním důvodem byl transformátor, který má vyšší rozměry a nebylo by možné ho umístit do jiného boxu. Skříň se skládá ze dvou částí - horního a spodního krytu. Na spodní kryt jsou přimontovány veškeré komponenty zdroje.

Přední část panelu

Na přední části se nachází několik otvorů, které bylo nutné ručně vytvarovat na rozměry konkrétních součástek. Nachází se zde síťový vypínač, přepínač mezi manuální regulací a PWM regulací, přepínač ventilátoru, zobrazovací jednotky, potenciometry pro regulaci napětí a proudu a výstupní svorky zdroje.



Obr 9.1 Přední část panelu

Zadní část panelu

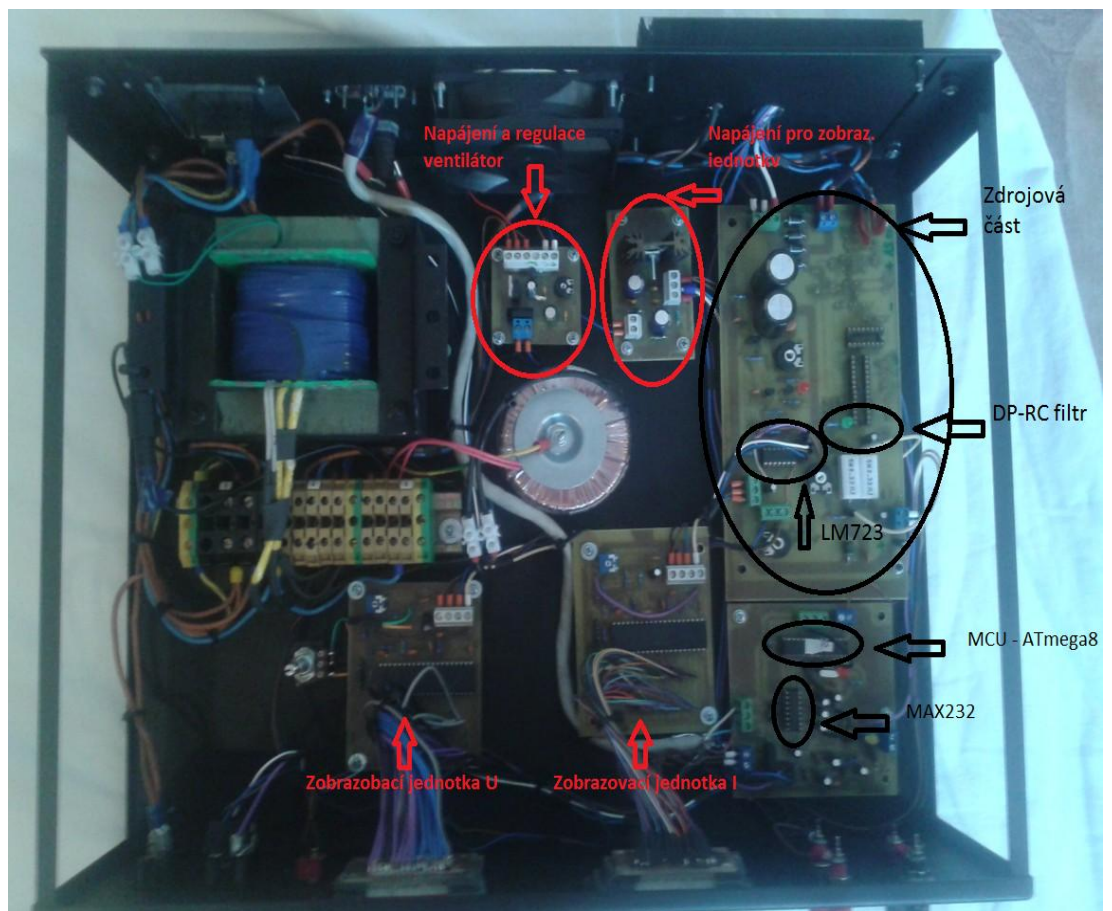
Na zadní části panelu je přišroubován hliníkový chladič, ventilátor s mřížkou, konektor Canon9, pojistkové pouzdro a síťová zástrčka.



Obr 9.2 Zadní část panelu

Vnitřní uspořádání

Jednotlivé komponenty byly v boxu uspořádány s ohledem na jednotlivá drátová propojení. Je žádoucí, aby nebyla zbytečně dlouhá a tím se snížil počet drátových svazků. DPS na kterých se nachází napájení pro zobrazovací jednotky a ventilátor jsou umístěny co nejbližší k sekundárnímu vinutí transformátoru. Zdrojová část je vhodně umístěna vedle DPS s komunikací a řízením a nejbližší k výstupním svorkám zdroje. Zobrazovací jednotky napětí a proudu se nachází u přední části panelu. Na Obr. 9.3 je zobrazeno vnitřní uspořádání komponentů.



Obr. 9.3 Vnitřní uspořádání zdroje

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat, navrhnout a zrealizovat lineární zdroj napětí, který je řízen přes sériové rozhraní RS232 pomocí PWM regulace. Požadavky na zdroj byly splněny, rozsah regulace napětí od 0 V do 30 V a rozsah proudu 0 A – 3 A.

V úvodních kapitolách byly detailně popsány vlastnosti lineárních napájecích zdrojů, sériových, paralelních a integrovaných regulátorů. V dalších kapitolách bylo popsáno rozhraní RS232, MCU ATmega8 a realizace tohoto zdroje. V obsáhlé 4. kapitole jsou uvedeny naměřené hodnoty zdroje, které vykazují přesnost regulace. Zdroj byl měřen ve stavu naprázdno a se zátěží.

Lineární napájecí zdroj je možné zrealizovat více způsoby. Jedním ze způsobu je řízení, které probíhá po jiných komunikačních sběrnících, jako jsou například USB, Ethernet. Deska plošného spoje by mohla být navržena pro osazení SMD součástkami ale z hlediska náročnosti výroby DPS (leptání) v domácím prostředí se od této myšlenky upustilo z důvodu osazování malých SMD součástek.

Tato práce byla pro mě velkým přínosem z hlediska tvořivosti a myšlení.

Použitá literatura

- [1] Hammerbauer, J.: *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*, Vydavatelství Západočeské univerzity, Plzeň 1998
- [2] Krejčířík, A.: *Napájecí zdroje I : základní zapojení analogových a spínacích a napájecích zdrojů*, BEN, Praha 1997
- [3] Krejčířík, A.: *Lineární napájecí zdroje*, BEN, Praha 2005
- [4] Mallt, J., Krofta, J.: *Stabilizované napájecí zdroje pro mikroelektroniku*, SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha 1985
- [5] 8bitu.cz: [online]. [cit. 15.3.2012]
<http://www.8bitu.cz/clanek/zaklady-elektrotechniky-8-zdroje-proudu/>
- [6] 8bitu.cz: [online]. [cit. 15.3.2012]
<http://www.8bitu.cz/clanek/zaklady-elektrotechniky-7-zdroje-napeti/>
- [7] LM723 datasheet: [cit. 21.3.2012]
<http://www.ges.cz/sheets/l/lm723.pdf>
- [8] Kůs, V.: *Elektrické pohony a výkonová elektronika*, Vydavatelství Západočeské univerzity, Plzeň 2005
- [9] Kainka, B.: *Využití rozhraní PC*, HEL, Ostrava 1997
- [10] Matoušek, D.: *Práce s mikrokontroléry Atmel ATmega 16*, BEN, Praha 2006
- [11] ATmega8 datasheet: [cit. 19.3.2012]
<http://www.ges.cz/sheets/m/mega8.pdf>
- [12] MAX232: [cit. 20.5.2012]
<http://www.ges.cz/sheets/m/max232.pdf>
- [13] Rovnice pro výpočet transformátoru
<http://www.dmaster.wz.cz/postupy/trafo/trafo.htm>
- [14] Výkonový tranzistor 2N3055
<http://www.ges.cz/sheets/2/2n3055.pdf>

Přílohy

Příloha A – Popis vývodů mikrokontroleru ATmega8

<i>RESET</i>	<i>NULOVACÍ VSTUP</i>
<i>RXD</i>	<i>VSTUP DAT</i>
<i>TXD</i>	<i>Výstup dat</i>
<i>INT0</i>	<i>Vstup vnějšího přerušení</i>
<i>INT1</i>	<i>Vstup vnějšího přerušení</i>
<i>T0</i>	<i>Hodinový vstup čítače/časovače 0</i>
<i>T1</i>	<i>Hodinový vstup čítače/časovače 1</i>
<i>XCK</i>	<i>Hodinový signál pro synchronní režim USART</i>
<i>TOSC1, TOSC2</i> <i>XTAL1, XTAL2</i>	<i>MOŽNOST PŘIPOJIT EXTERNÍ KRYSTAL</i> <i>VSTUP/VÝSTUP</i>
<i>AIN0</i>	<i>Vstup analogového komparátoru (+)</i>
<i>AIN1</i>	<i>Vstup analogového komparátoru (-)</i>
<i>ICP1</i>	<i>Input Capture čítače/časovače 1</i>
<i>OC1A</i>	<i>Output Compare čítače/časovače 1 (kanál A)</i>
<i>OC1B</i>	<i>Output Compare čítače/časovače 1 (kanál B)</i>
<i>OC2</i>	<i>Output Compare čítače/časovače 2</i>
<i>MISO</i>	<i>Master In/Slave Out kanálu SPI</i>
<i>MOSI</i>	<i>Master Out/Slave In kanálu SPI</i>
<i>SCK</i>	<i>Hodinový signál kanálu SPI</i>
<i>SCL</i>	<i>Hodinový signál TWI rozhraní</i>
<i>SDA</i>	<i>Datový signál TWI rozhraní</i>
<i>ADC0, ADC1,</i> <i>ADC2, ADC3</i>	<i>4x 10bitový A/D převodník</i>
<i>ADC4, ADC5</i>	<i>2x 8bitový A/D převodník</i>
<i>AGND</i>	<i>Analogová zem</i>
<i>AREF</i>	<i>Referenční napětí A/D převodníku</i>
<i>AU_{CC}</i>	<i>Napájecí napětí A/D převodníku</i>

Příloha B – Zdrojový kód pro regulaci výstupního napětí

```

#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

#define F_CPU 4000000UL
#define BAUD_RATE 9600UL

unsigned short Hodnota_OCR1A;

void uart_init(void)
{
    UBRRH = (((F_CPU/BAUD_RATE)/16)-1)>>8; // set baud rate
    UBRRL = (((F_CPU/BAUD_RATE)/16)-1);
    /* Enable Tx and Rx */
    UCSRB = (1<<RXEN)|(1<<TXEN);
    /* Set Frame: Data 8 Bit, No Parity and 1 Stop Bit */
    // UCSRC = (1<<URSEL)|(1<<UCSZ1)|(1<<UCSZ0);
    UCSRC = 0x86;
}

// get char
unsigned char uart_getc( void )
{
    /* Wait for data to be received */
    while ( !(UCSRA & (1<<RXC)) )
        ;
    /* Get and return received data from buffer */
    return UDR;
}

void uart_putc(unsigned char data )
{
    while ( !( UCSRA & (1<<UDRE)) )
        ;
    UDR = data;
}

void PWM_init(void)
{
    DDRB |= (1 << 1); //PB1 output

    OCR1A = 0x01FF; // set PWM for 50% duty cycle @ 10bit

    TCCR1A |= (1 << COM1A1); // set none-inverting mode

    // set FAST pwm 10 bit - TOP is 0x3ff0
    TCCR1A |= (1 << WGM11) | (1 << WGM10);
    TCCR1B |= (1 << WGM12);

    TCCR1B |= (1 << CS10); //set clk source for no prescaling - 4 Mhz //zmenit
    mozna
}

void PWM_set (unsigned short hodnota)
{
    OCR1A = hodnota;
}

unsigned short Prevod_Napeti (unsigned char Napeti)

```

```
{
    unsigned short hodnota_compare;

    //unistit vzorec - hodnota_compare = ..., resp hodnota_compare = f(Napeti) -
dopsat vzorec

    return hodnota_compare;
}
void ovladac_napeti(char napeti)
{
    switch (napeti)
    {
        case '1':
            OCR1A = 0x022;
            break;
        case '2':
            OCR1A = 0x044;
            break;
        case '3':
            OCR1A = 0x066;
            break;
        case '4':
            OCR1A = 0x088;
            break;
        case '5':
            OCR1A = 0x0AA;
            break;
        case '6':
            OCR1A = 0x0CC;
            break;
        case '7':
            OCR1A = 0x0EE;
            break;
        case '8':
            OCR1A = 0x0110;
            break;
        case '9':
            OCR1A = 0x0132;
            break;
        case '10':
            OCR1A = 0x1055;
            break;
        case '11':
            OCR1A = 0x0177;
            break;
        case '12':
            OCR1A = 0x0199;
            break;
        case '13':
            OCR1A = 0x01BB;
            break;
        case '14':
            OCR1A = 0x01DD;
            break;
        case '15':
            OCR1A = 0x01FF;
            break;
        case '16':
            OCR1A = 0x0221;
            break;
        case '17':
            OCR1A = 0x0243;
```

```

    break;
case '18':
    OCR1A = 0x0265;
    break;
case '19':
    OCR1A = 0x0287;
    break;
case '20':
    OCR1A = 0x02AA;
    break;
case '21':
    OCR1A = 0x02CC;
    break;
case '22':
    OCR1A = 0x02EE;
    break;
case '23':
    OCR1A = 0x0310;
    break;
case '24':
    OCR1A = 0x0332;
    break;
case '25':
    OCR1A = 0x0354;
    break;
case '26':
    OCR1A = 0x0376;
    break;
case '27':
    OCR1A = 0x0398;
    break;
case '28':
    OCR1A = 0x03BA;
    break;
case '29':
    OCR1A = 0x03DC;
    break;
case '30':
    OCR1A = 0x03FF;
    break;
default:
    OCR1A = 0x022;
}
}

int main(void)
{
    uart_init();
    PWM_init();
    char napeti;

    //*****

    Hodnota_OCR1A = 0x01ff; //tuto hodnotu měňte

    //*****

```

```
for(;;) {  
  
    napeti = uart_getc();  
    uart_putc(napeti);  
    ovladac_napeti(napeti);  
    _delay_us(500);  
}  
return 0;                // Standard Return Code  
}
```