

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Modifikace a alternativní využití spínaných PC zdrojů**

AUTOR PRÁCE: ROMAN ČORBA  
VEDOUCÍ PRÁCE: ING. ONDŘEJ PAJER

PLZEŇ 2012

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman ČORBA**  
Osobní číslo: **E09B0256P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Název tématu: **Modifikace a alternativní využití spínaných PC zdrojů**  
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

1. Vyhledejte a prostudujte zapojení a konstrukce spínaných PC zdrojů různých výrobců.
2. Zmapujte možnosti jak tyto zdroje modifikovat pro použití jako nastavitelný zdroj napětí a proudu.
3. Vybranou modifikaci realizujte a proveďte měření při různých provozních stavech.
4. Diskutujte dosažené výsledky a celou práci podrobně popiště.




Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Pajer**  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ondřej Pajer**  
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. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na modifikování spínaného počítačového zdroje na regulovatelný zdroj napětí a proudu. Cílem je prostudování konstrukcí a zapojení spínaných počítačových zdrojů od různých výrobců a zmapování možností modifikace na regulovatelný zdroj napětí a proudu. Následně vybranou modifikaci zkonstruovat a provést měření při různých provozních stavech. Modifikovaný počítačový zdroj obsahuje mikroprocesor ATMEL ATmega8, který řídí periferní obvody pro nastavení požadovaných výstupních hodnot napětí a proudu. Nastavení požadovaných hodnot probíhá jedním multifunkčním ovládacím prvkem a zobrazuje se na znakovém displeji. Na základě získaných dat z měření bylo zjištěno, že modifikace dosáhla velice dobrých výsledků. Celková realizace této modifikace je cenově dostupná a realizovatelná na většině dostupných počítačových zdrojích. Výhoda této modifikace je oproti ostatním variantám možnost přehledného nastavení výstupního napětí již od 0V a zároveň možnost nastavení proudového omezení.

## **Klíčová slova**

Spínaný PC zdroj, AT zdroj, ATX zdroj, Modifikace PC zdroje, Zdroj napětí, Zdroj proudu

## **Abstract**

Čorba Roman Modifications and Alternative Use of PC Switching Power Supplies, 2012.  
Bachelor thesis. University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering.  
Department of Applied Electronics and Telecommunications  
Supervisor: Ing. Ondřej Pajer

This Bachelor thesis is focused on modification of Switching PC Power Supply, i.e. controllable source of voltage and current. The aim is detailed study of construction and circuit structure of Switching PC Power Sources produced by different manufacturers and proposal for possibility of modification into controllable source of voltage and current. The main goal is construction of power supply with selected modification and precise measurement of properties in different operating conditions. Modified PC Power Supply contains microprocessor ATMEL ATmega8 which controls peripheral circuits for adjustment of required output values of voltage and current. This adjustment is performed by multifunctional control unit and the setting-up is visible on alphanumeric display. The PC Power Supply with selected modification achieves excellent results according to the precise measurement. The implementation of selected modification into the most of available PC Power Sources is easily realizable and affordable. The great advantage of the modification over the other alternatives is possibility of precise output voltage adjustment from 0V and possibility of current limit adjustment simultaneously.

## **Keywords**

PC power supply, SMPS, AT power supply, ATX power supply, PC power supply modifications, voltage source, current source

## **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 8.6.2012

Roman Čorba

.....

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>6</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ZAPOJENÍ A KONSTRUKCE POČÍTAČOVÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>10</b>
1.1 DRUHY PC ZDROJŮ .....	10
1.1.1 AT zdroje .....	10
1.1.2 ATX zdroje .....	10
1.2 VNITŘNÍ ZAPOJENÍ PC ZDROJŮ .....	11
1.2.1 Širokopásmový filtr .....	12
1.2.2 Usměrňovač .....	12
1.2.3 Filtr .....	12
1.2.4 Spínací část .....	12
1.2.5 Vysokofrekvenční transformátor .....	13
1.2.6 Usměrňovač sekundární části .....	13
1.2.7 Výstupní filtr .....	14
1.2.8 PWM modul .....	14
1.2.9 Oddělovací transformátor .....	14
1.3 OBVODY POUŽÍVANÉ PRO ŘÍZENÍ .....	14
1.3.1 KA7500 a TL494 .....	15
1.3.2 Ostatní obvody .....	15
<b>2 MOŽNÉ MODIFIKACE JAKO ZDROJ PROUDU A NAPĚTÍ</b> .....	<b>16</b>
2.1 ZATĚŽOVÁNÍ VÝKONOVÝM ODPorem .....	16
2.1.1 Minimální zátěž .....	16
2.1.2 Přidání zátěže na výstup .....	16
2.1.3 Potřebný materiál pro modifikaci .....	17
2.1.4 Popis postupu modifikace .....	17
2.1.5 Výhody a nevýhody .....	17
2.2 REGULACE ZPĚTNÉ VAZBY .....	18
2.2.1 Zpětná vazba .....	18
2.2.2 Modifikace zpětné vazby .....	18
2.2.3 Potřebný materiál .....	19
2.2.4 Schéma modulu .....	19
2.2.5 Popis postupu modifikace .....	19
2.2.6 Výhody a nevýhody .....	20
2.3 REGULACE REFERENČNÍHO NAPĚTÍ A ZISKU PŘÍSTROJOVÉHO ZESILOVAČE .....	20
<b>3 KONSTRUKCE ZVOLENÉ MODIFIKACE</b> .....	<b>21</b>
3.1 HARDWARE .....	21
3.1.1 MCU ATMEL ATmega8 .....	21
3.1.2 Digitální potenciometry .....	21
3.1.3 Proudový snímač .....	23
3.1.4 Inkrementální spínač .....	24
3.1.5 Schéma modulů této modifikace .....	25
3.2 SOFTWARE .....	27
3.2.1 Firmware .....	27
3.2.2 Navigace v menu .....	28
3.3 OŽIVENÍ MODIFIKOVANÉHO ZDROJE .....	30
<b>4 MĚŘENÍ PARAMETRŮ ZVOLENÉ MODIFIKACE</b> .....	<b>32</b>

4.1	MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY PRO NAPĚTÍ 3V .....	32
4.2	MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY PRO NAPĚTÍ 5V .....	33
4.3	MĚŘENÍ ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKY PRO NAPĚTÍ 12V .....	34
4.4	POKLES NAPĚTÍ PŘI ZATÍŽENÍ.....	35
<b>ZÁVĚR</b>	.....	<b>36</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b>	.....	<b>37</b>

## Seznam symbolů a zkratek

VCC .....	Napájecí napětí
GND.....	Ground, zem
PG .....	PowerGood, Napětí zdroje v pořádku
PWM.....	Pulse Width Modulation, Pulzně šířková modulace
AT .....	Advanced Technology, typ spínaného počítačového zdroje
ATX .....	Advanced Technology Extended, typ spínaného počítačového zdroje
PC.....	Personal Computer, Osobní počítač
MCU .....	Micro Controller Unit, Mikroprocesorová jednotka
I2C .....	Inter-Integrated circuit, typ sériové sběrnice
ISP.....	In systém programming, programování bez nutnosti vyjmutí obvodu

## Úvod

V práci je řešeno prostudování konstrukcí běžných spínaných počítačových zdrojů a jejich možné modifikace pro realizaci nastavitelného zdroje napětí a proudu.

Možné modifikace jsou popsány a nejvhodnější modifikace je zrealizována. U této vybrané modifikace je podrobně popsána funkce jednotlivých komponent a modulů potřebných pro sestavení.

Tato zvolená modifikace je založena na principu regulace napětí zpětné vazby, pomocí které jako jediné z možných modifikací můžeme plynule nastavovat napětí již od 0V do maximálního napětí 13,5V. Dále je použit snímač proudu s nastavitelným ziskem, který měří úbytek napětí na měřícím rezistoru a díky tomu můžeme regulovat výstupní proud od 60mA až do maximálního proudu přípustného pro zdroj použitý v modifikaci. Použitím mikroprocesoru je obsluha takového zdroje jednoduchá, přehledná a rychlá.

Práce je doplněna schémata pro jednotlivé moduly a na přiloženém médiu potřebným programem pro mikroprocesor, který je v této modifikaci použit jako řídicí obvod pro nastavení a zobrazení požadovaných výstupních hodnot napětí a proudu.



# 1 Zapojení a konstrukce počítačových zdrojů

Počítačové zdroje jsou výhradně spínané zdroje. Velký rozmach spínaných zdrojů začal s příchodem výkonných tranzistorů. Mezi jejich hlavní výhody patří nízká hmotnost, a vysoká účinnost. I přes svojí obvodovou složitost a velký počet součástek jsou tyto zdroje ekonomické řešení, při potřebě velkých výkonů a nízkých ztrát.

## 1.1 Druhy PC zdrojů

Dle historického vývoje můžeme běžně používané PC zdroje rozdělit do několika kategorií, které se liší zapojením a formátem.

Jako první z komerčně prodávaných zdrojů je typ AT navržený společností IBM, rozšířený do domácností od roku 1980. V roce 2007 již tento formát byl plně vytlačen formou ATX. Zdroje typu ATX byly vyvinuty společností INTEL a jejich prodej začal rokem 1995, a bez výraznějších změn se prodávají do dnes. Následníkem měl být formát BTX, který byl také vyvinut společností INTEL, hlavně za účelem zdokonalení chlazení a odvodu tepla. Tento formát byl uveden do prodeje rokem 2004 a jeho vývoj byl ukončen v roce 2006, proto se s tímto formátem již běžně nesetkáváme.

### 1.1.1 AT zdroje

Tyto zdroje označované zkratkou AT (Advanced Technology) se v dnešní době již nevyužívají. Jejich hlavní nevýhodou je mechanické zapínání, pro které musel být vyveden kabel se síťovým napětím na čelo PC skříně. Tyto zdroje z tohoto důvodu ani nemohly podporovat buzení po LAN a počítač se musel pro vypnutí manuálně vypínat. Výstupní napětí tohoto zdroje je -5V, +5V, -12V, +12V.

### 1.1.2 ATX zdroje

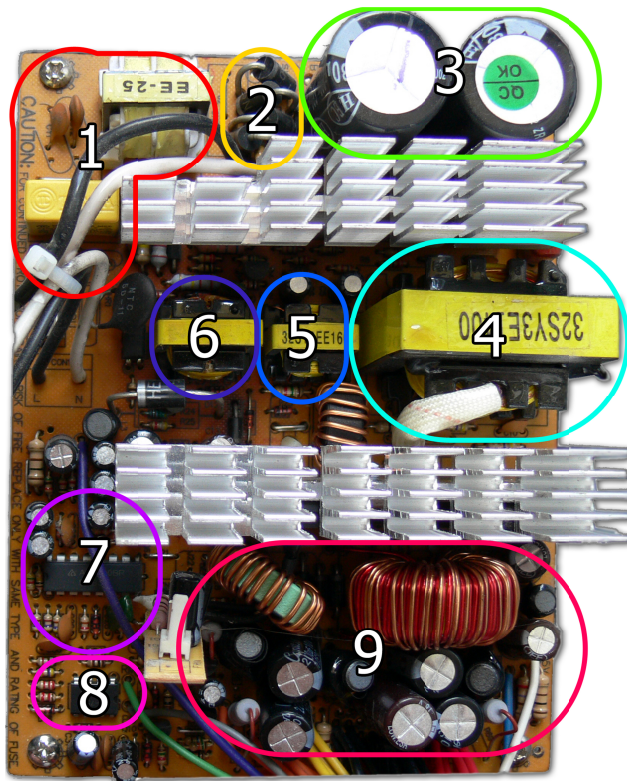
V dnešní době nejpoužívanější typ zdroje je označován zkratkou ATX (Advanced Technology Extended). Oproti svému předchůdci již pro uvedení do provozu nepotřebuje rozpínat napájení. Zapnutí tohoto zdroje je řešeno uzemněním Switch-on signálového vodiče. Po uzemnění tohoto vodiče se odblokuje spínací část zdroje a zdroj se uvede do chodu. Výstupní napětí tohoto zdroje jsou +3,3V, -5V, +5V, -12V, +12V.

Jako další druhy ATX standardu jsou SFX (SmallForm) který je určen do malých skříní, TFX (ThinForm) který je určen do tenkých desktopů a IPC (Industrial PC) určen pro servery.

## 1.2 Vnitřní zapojení PC zdrojů

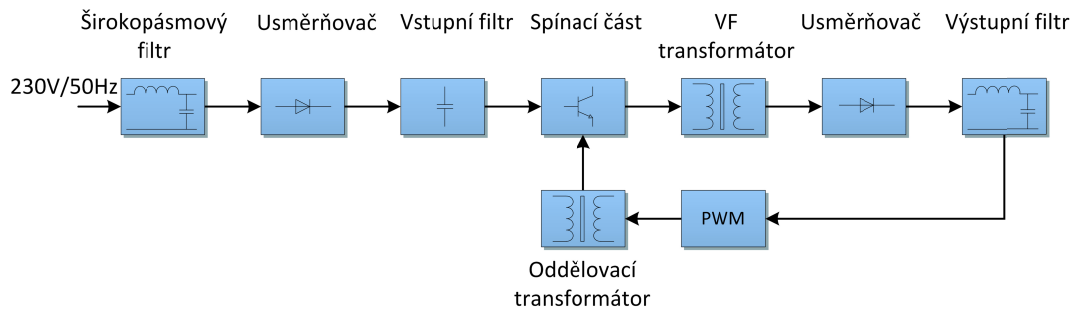
Nejběžnější zapojení ATX zdrojů, kterými se i budu dále zabývat pro modifikaci je dvojčinný měnič. Toto zapojení najdete v naprosté většině zdrojů a obvykle s obvody pro řízení KA7500 nebo TL494.

Dále se můžeme setkat se zapojením s jedním spínacím tranzistorem, v zapojení jako propustný měnič.



Obrázek 1.1 Fotka běžného spínaného zdroje ATX

- 1) Širokopásmový vstupní filtr složený z kondenzátorů a tlumivky
- 2) Místkový usměrňovač z diskrétních součástek
- 3) Kondenzátory pro vytvoření symetrického napájení
- 4) Vysokofrekvenční hlavní transformátor
- 5) Budicí transformátor pro spínání výkonových transformátorů
- 6) Transformátor pro +5vSB větev
- 7) Řídící obvod KA7500 případně TL494
- 8) Operační zesilovač zajišťující nadproudovou a přepět'ovou ochranu, blokaci sekundární strany zdroje a generaci PG signálu v případě, že jsou veškeré kontrolované hodnoty v mezích.
- 9) Výstupní filtry jednotlivých větví, +5V +12V +3,3V -12V -5V. Tvořeny z hlavní tlumivky navinuté na toroidním jádře, a několika menších samonosných tlumivkách na otevřených feritových tyčkách. Dále pak kondenzátory o kapacitě jednotek mF pro každou větev.



### 1.2.1 Širokopásmový filtr

Na vstupu zdroje se nachází LC filtr, který filtruje rušení ze zdroje do sítě. Je zvolen dle hlavního kmitočtu spínaného zdroje, typicky v řádech desítek kHz. Použitá symetrická tlumivka má velké vysokofrekvenční ztráty a je vhodná pro filtrování těchto nežádoucích frekvencí, které spínané zdroje produkují.

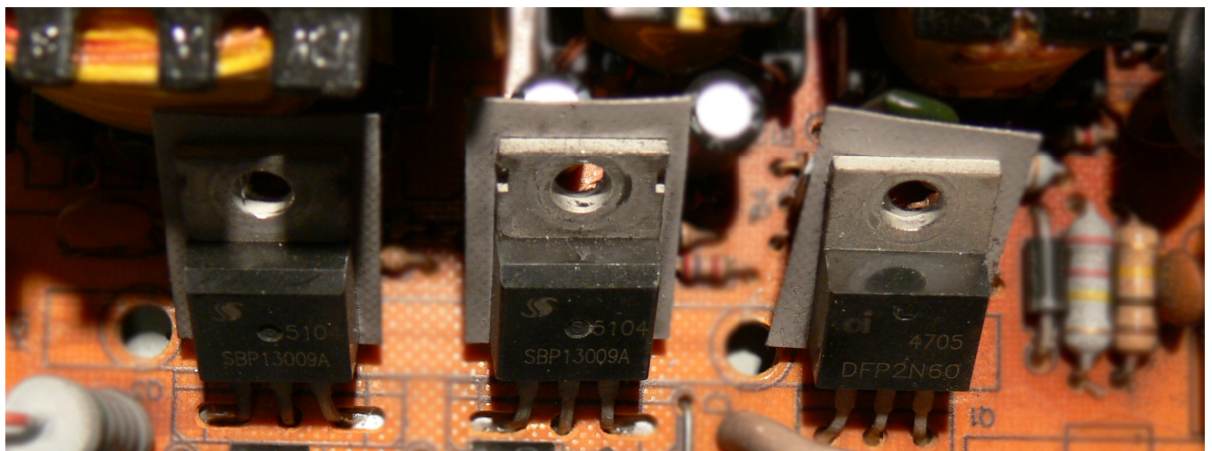
### 1.2.2 Usměrňovač

Síťové napájení musíme usměrnit, nejčastěji se používají integrované můstky, někdy se můžeme ve zdrojích setkat i s můstkem z diskretních součástek.

### 1.2.3 Filtr

Jako filtr je používána sériová kombinace kondenzátorů. Jsou použity dva kondenzátory sériově, napětí se na nich rozloží na 155V pro každý, a tímto si vytvoříme symetrické napájení. Následuje několik filtračních kondenzátorů.

### 1.2.4 Spínací část



Obrázek 1.3 Spínací tranzistory

Jako spínací prvky používáme výkonové rychlé bipolární NPN tranzistory, u některých zdrojů jsou používány také HEX-FETy. Tyto tranzistory musí být vhodně zvolené, protože

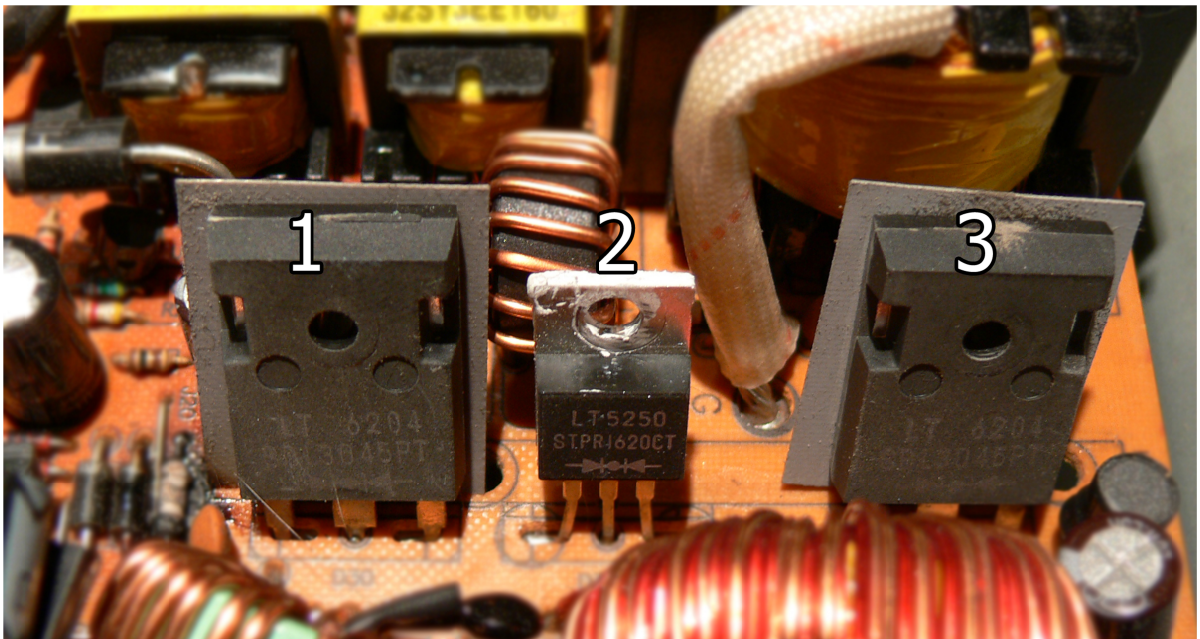
jimi protékají jednotky ampér, při spínacích kmitočtech desítek kHz. Na *obrázku 1.3* vidíme hlavní spínací tranzistory SBP13009 typu NPN a HEXFET pro spínání +5vSB větve, která je aktivní po dobu připojení zdroje do sítě.

Při zapojení zdroje jako dvojčinný měnič jsou tyto tranzistory spínány v protifázi. Jeden je vždy sepnut a druhý rozepnut, takovéto spínání je důležité hlavně z důvodu, abychom nepřesytili jádro vysokofrekvenčního transformátoru stejnosměrnou složkou protékajícího proudu.

### 1.2.5 Vysokofrekvenční transformátor

Hlavní transformátor ve spínaném zdroji je malých rozměrů a to hlavně protože pracuje na vysoké frekvenci. S vyšší frekvencí jsou potřeba menší transformátory. Transformátor je bez vzduchové mezery s feritovým jádrem. Vhodným spínáním hlavních tranzistorů musíme zabránit přesycení jádra. Při přesycení jádra dojde k poklesu indukčnosti a uzavření toku okolím.

### 1.2.6 Usměrňovač sekundární části



Obrázek 1.4 Shottkyho diody

Výstupní rozstřídané napětí musíme vhodně usměrnit, vzhledem k jeho frekvenci několika desítek kHz není možné používat standardní usměrňovací diody. Musíme použít speciální rychlé Shottkyho diody. Na *obrázku 1.4* jsou vidět používané Shottkyho diody. Diody 1 a 3 používají BL3045, usměrňují větve +5V a +3,3V. Jejich maximální proud je 30A a napětí 45V. Druhá dioda STPR1620 usměrňuje +12V větev, její maximální proud je 16A a 200V.

### 1.2.7 Výstupní filtr

Výstupní filtr se skládá z tlumivky a kondenzátorů. Tlumivky jsou navinuty na feritovém jádře bez vzduchové mezery. Aby nedošlo k přesycení jádra a tím snížení indukčnosti, jsou větve 5V a 12V navinuté proti sobě. Tímto se vyruší stejnosměrné sycení jádra, protože obě větve mají přibližně stejný proudový odběr.

### 1.2.8 PWM modul

Skládá se z řídicího obvodu, který obsahuje integrované všechny potřebné obvody pro plné řízení zdroje. Výstup z výstupního filtru je zaveden na zesilovače odchylky, které porovnávají toto napětí, jenž je děličem nastaveno na 2,5V při požadovaném výstupním napětí. Toto napětí je porovnáno s napětím reference přivedené na druhý vstup zesilovače odchylky a odchylka následně zesílena. Pokud je napětí na výstupu větší než referenční, odchylka je kladná a zdroj zkrátí délku impulzů sepnutí tranzistorů a tím se sníží napětí na výstupu. Tento obvod obsahuje dále i PWM generátor, 5V napěťovou referenci a interní oscilátor, který se může doladit vnější RC kombinací.

Tento obvod je napájen před naběhnutím zdroje z 5vSB větve, která je trvale v činnosti po zapojení zdroje do sítě. Po naběhnutí zdroje je obvod již napájen z 12V větve.

### 1.2.9 Oddělovací transformátor

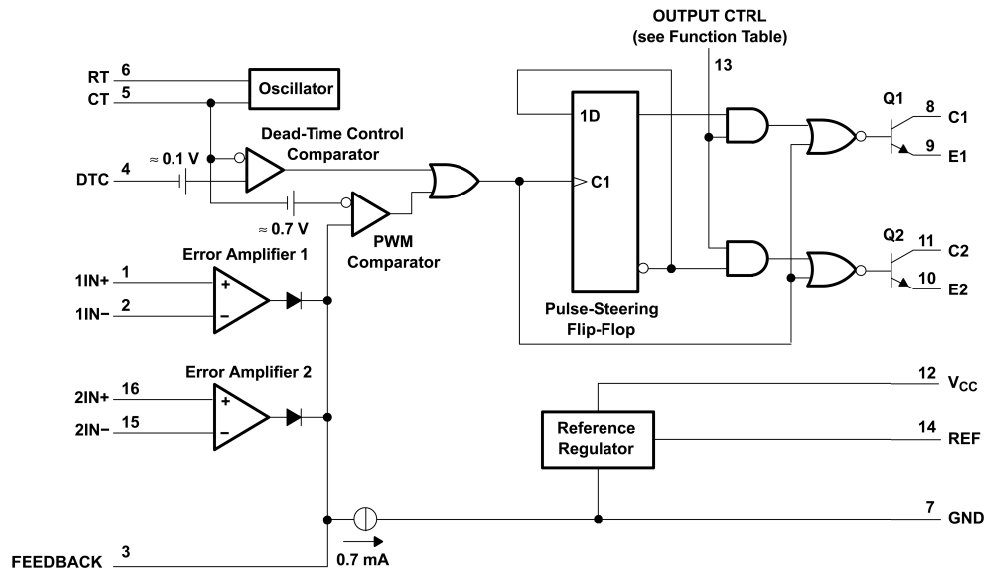
Slouží k oddělení primární a sekundární části zdroje a zároveň k proudovému posílení spínání výkonových tranzistorů.

## 1.3 Obvody používané pro řízení

Spínané zdroje jsou řízeny integrovaným obvodem, který obsahuje všechny potřebné součásti tak, aby bylo potřeba co nejméně externích součástek. Mezi nejběžněji používané obvody patří TL494 a KA7500.



### 1.3.1 KA7500 a TL494



Obrázek 1.5 Vnitřní zapojení řídicího obvodu zdroje [7]

Jak již bylo zmíněno, nejčastěji je pro řízení spínaného PC zdroje použit obvod KA7500 nebo jeho ekvivalent TL494. Tyto obvody obsahují 2 zesilovače odchylky pro porovnání referenčního napětí s napětím na výstupu zdroje. Oscilátor určuje rychlost spínání výkonových tranzistorů. Referenční zdroj napětí dodává stabilních 5V, které poté děličem nastavíme na požadovanou hodnotu pro porovnání v zesilovači odchylky. Pinem číslo 13 můžeme změnit funkci spínání tranzistorů na spínání obou tranzistorů zároveň nebo v protifázi.

### 1.3.2 Ostatní obvody

Jako další obvody se používají například UC3842, UC4843, UC4844. To jsou obvody, které se liší hlavně v druhu zpětné vazby, mají nejen napětovou ale i proudovou. A jejich referenční napětí je přivedeno na jeden vstup zesilovače odchylky již v samotném pouzdře. Dále pak tento obvod spíná pouze jeden unipolární tranzistor a nepodporuje tedy spínání dvojice tranzistorů v protifázi. Proto je vhodný pouze pro akumulující zapojení neboli měnič typu FLYBACK.

## 2 Možné modifikace jako zdroj proudu a napětí

Původní myšlenka modifikovat PC zdroj na regulovatelný nebo pouze změnit jeho parametry pro jiné využití, přišla již s rozšířením AT a ATX zdrojů. Tyto zdroje jsou výkonné, lehké, malé a hlavně levné. Možných modifikací je mnoho, ale mají své výhody i nevýhody.

### 2.1 Zatěžování výkonovým odporem

Tato modifikace spočívá ve vytvoření tvrdého zdroje napětí s co největším výstupním proudem. Tuto modifikaci můžeme uplatnit u spínaných PC zdrojů typu AT.

Tyto zdroje nemohou běžet bez zátěže a běžně se s integrovanou minimální zátěží nepočítalo. Kromě ventilátoru není na zdroj zařazena žádná zátěž, a proto není vhodné takto neupravený AT zdroj používat. Pokud zdroj nemá zapojenou minimální zátěž, nereguluje spolehlivě, protože spínání tranzistorů není pravidelné, a na výstupu se může objevit mnohem větší napětí, než na které jsou součástky na sekundární straně dimenzované.

#### 2.1.1 Minimální zátěž

Pro správnou funkci PC zdroje musíme respektovat minimální zátěž. Hodnotu minimální zátěže můžeme v některých případech najít na typovém štítku na zdroji. Tato minimální zátěž se pohybovala na AT zdrojích v několika ampérech, typicky kolem 5-7A. Avšak tyto zdroje dokázaly fungovat i s mnohem menší minimální zátěží, a to již od 300mA v závislosti na zdroji a jeho přesné konstrukci. Proto některé starší zdroje typu AT mohly fungovat po zapnutí již se zátěží, kterou způsoboval ventilátor připojený na +12V větev.

#### 2.1.2 Přidání zátěže na výstup

Mezi nejjednodušší úpravy patří bezesporu přidání zátěže na větev, která je monitorována zpětnou vazbou. Některé typy AT zdrojů mají zpětnou vazbu monitorovány dvě větve, +12V i +5V. Můžeme se setkat i s typy, které mají zavedenu zpětnou vazbu pouze z nejzatěžovanější větve, a to je +5V větev.

Pokud zatížíme +5V větev takového zdroje pouze minimální zátěží, zdroj bude na ostatních větvích měkký. Proto při následném zatížení +12V větve například 2-3A se napětí sníží k +11V. Tento zdroj by byl příliš měkký pro používání. Proto zatížíme +5V větev větším odběrem a tím bude i +12V větev tvrdší. Avšak při zatížení +5V větve zafunguje

křížová regulace a napětí na ostatních větvích se zvýší, proto na +12V větví můžeme naměřit například až +13V.

Pokud zatížíme +5V větev přibližně 2A, můžeme poté odebírat z +12V větve proud až 5A a napětí této větve nám neklesne pod +12V.

### 2.1.3 Potřebný materiál pro modifikaci

Pro tuto modifikaci budeme potřebovat:

- PC zdroj typu AT
- 2x Výkonový rezistor  $3,9\Omega$  10W
- LED Dioda a  $1k\Omega$  rezistor
- 2x Terminál pro připojení banánků nebo kabelů

### 2.1.4 Popis postupu modifikace

Zdroj ze zdroje sundáme kryt a na vhodné místo ochlazované ventilátorem umístíme výkonové rezistory. Typicky tyto rezistory můžeme přišroubovat před ventilátor nebo na chladič. Rezistory spojíme paralelně a na jeden vývod připojíme zemnicí vodič, který má černou barvu. Na druhý vývod rezistoru připojíme +5V vodič, který má červenou barvu. Ostatní +5V kabely nebudeme v naší modifikaci používat a proto je můžeme odstranit.

Přidanými rezistory jsme dostatečně zatížili +5V větev, kterou nyní teče stabilně 2,56A. Nyní připevníme na kryt zdroje terminály, do kterých připojíme co nejvíce +12V žlutých vodičů pro jeden terminál a pro druhý terminál podobně zemnicí černé vodiče. Dále připojíme LED diodu, která nám bude signalizovat běh zdroje. Tuto diodu zapojíme sériově k rezistoru  $1k\Omega$  a zapojíme na +12V a zem. Diodu umístíme na dobře viditelné místo, které například vyvrtáme do krytu.

Ujistíme se, že se žádný z vodičů nedotýká součástek nebo není zkratován na kryt. Nejlepší je všechny odizolované kontakty zatavit do smršťovacích bužírek. Poté zdroj opět zakrytujeme a můžeme vyzkoušet funkčnost zapojení pomocí voltmetru. Pokud napětí na výstupu odpovídá rozsahu 12-13V, zatížíme tuto větev zátěží a sledujeme jak tvrdý náš zdroj je. Typicky se takovýto zdroj s přihlédnutím na maximální štítkové hodnoty dá používat pro 12V 0-8A.

### 2.1.5 Výhody a nevýhody

Mezi hlavní výhody této modifikace patří velmi nízká náročnost na konstrukci, minimální počet nutných součástek pro realizaci a jejich nízká cena.



Hlavní nevýhodou je, že tento zdroj nelze regulovat a napětí je pevné. Dalším nedostatkem je nutnost velké předzátěže zdroje, která má spotřebu přibližně 13W po celou dobu běhu zdroje. Poslední nevýhoda je menší dostupnost AT zdrojů, které se již nevyrábějí.

## 2.2 Regulace zpětné vazby

Tato modifikace je vhodná pro zdroje typu AT i ATX s řídicím obvodem typu KA7500 nebo TL494 a jejich ekvivalentů. Jde však již o zásah do obvodů spínaného zdroje. Modifikace spočívá v regulaci děliče ve zpětné vazbě a tím regulaci napětí. Touto modifikací docílíme regulovatelný zdroj napětí s rozsahem 3V až 13.5V, v závislosti na zdroji a jeho ochranných obvodech.

### 2.2.1 Zpětná vazba

Zpětná vazba je u spínaných zdrojů vytvořena pomocí napěťového děliče, jehož výstup je zaveden do obvodu regulace KA7500, TL494 nebo ostatních. Toto napětí z výstupu +12V je děličem děleno na 2,5V a spojeno s děličem z větve +5V, jenž je taktéž děleno na 2,5V. Toto napětí z děličů je přivedeno na vstup zesilovače odchytky, který se nachází na vstupu integrovaného obvodu číslo 1. Jeho hodnota je porovnána s referenčním napětím, které je taktéž děličem rozděleno na 2,5V a přivedeno na vstup číslo 2. Pokud je napětí na výstupu některé větve větší než námi požadované, napětí se zvýší i na děliči. Toto způsobí rozdíl mezi napětím referenčním a přivedeným z děliče a následně je tento rozdíl zesilovačem odchytky zesílen. Pokud je napětí na vstupu číslo 1 větší než na vstupu číslo 2, tento rozdíl je kladný a zdroj zkracuje PWM pulzy. Tímto se snižuje napětí na výstupu zdroje, dokud je na výstupu zesilovače odchytky kladná hodnota. Toto je správná funkce spínaného zdroje. Pokud totiž zatížíme jakoukoliv větev, která je spojena zpětnou vazbou na zesilovač odchytky, napětí se reguluje aby bylo docíleno požadované hodnoty na výstupu.

### 2.2.2 Modifikace zpětné vazby

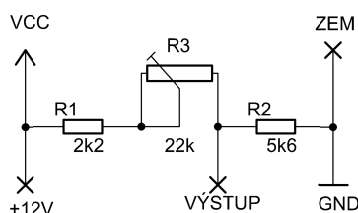
Modifikací zpětné vazby můžeme docílit změny napětí na výstupu. Pokud odpojíme veškeré děliče přivedené na vstup 1 zesilovače odchytky a připojíme vlastní dělič, docílíme na výstupu takové změny, že mezi vstupy číslo 1 a 2 nebude rozdíl napětí. V našem případě toto nastane, když na vstupu 1 bude napětí 2,5V. Vlastní dělič můžeme realizovat jako pevný, vytvořený dvěma odpory, nebo regulovatelný – pomocí potenciometru. Dělič napětí vypočítáme tak, aby jeho výstupní napětí bylo 2,5V při požadovaném vstupním napětí a zdroj nám poté bude tuto hodnotu udržovat. Avšak hodnota požadovaného napětí nemůže být menší než napětí z děliče referenčního napětí a zároveň nesmí přesáhnout napětí, na které je

nastavena ochrana zdroje (obvykle 13,5V). Z tohoto důvodu nepoužijeme pouze potenciometr, ale i několik odporů pro nastavení napěťových mezí. V našem případě půjde napětí regulovat v mezích od 3,5V do 13,3V.

### 2.2.3 Potřebný materiál

- PC zdroj typu AT nebo ATX
- Potenciometr 22k lineární
- Rezistory: 5k6, 2k2, 1k
- LED Dioda
- 2x Vypínač
- Terminály
- Deska plošného spoje
- Nástroje pro pájení

### 2.2.4 Schéma modulu



Obrázek 2.1 Schéma modulu pro změnu zpětné vazby

Tento modul se skládá z napěťového děliče, který je doladován potenciometrem R3. Jeho meze jsou určeny rezistorem R1 a R2.

### 2.2.5 Popis postupu modifikace

PC zdroj otevřeme a ujistíme se, že je osazen řídicím obvodem KA7500 nebo TL494, případně jejich ekvivalenty. Odšroubujeme 4 šrouby, které drží desku plošného spoje, a odstraníme všechny rezistory připojené na vstup číslo 1 řídicího obvodu. Tímto jsme odstranili zpětnou vazbu. Vytvoříme dělič napětí dle přiloženého schématu, a jeho výstup připojíme na tento vstup číslo 1. Připojíme několik žlutých +12V vodičů a černých zemnicích vodičů do výstupního terminálu, který bude jako výstup zdroje. Tyto vodiče přivedeme zároveň i do modulu děliče, na připravené pájecí plošky. Potenciometr připevníme do vhodného místa, kde se nebude dotýkat žádné součástky zdroje. Signalizační diodu chodu zdroje připojíme přes sériově zapojený 1k odpor na PG šedivý vodič a zem. Tímto zajistíme, že dioda bude svítit jen tehdy, když je napájecí napětí v pořádku a zdroj běží. Vypínač sekundární části zdroje připevníme na obal zdroje, jeho středové kontakty připojíme na zemnicí černý vodič a druhý z kontaktů na zelený vodič, který zajišťuje odblokování sekundární části zdroje. Při této modifikaci musíme připojit ventilátor z +12V větve, která je nyní regulovatelná v napětích 3,5V až 13,3V, na stabilní 5vSB, které je na fialovém vodiči. Takto připojený ventilátor se zapne po dobu připojení zdroje do sítě. Proto přidáme ještě

vypínač na síťové napětí do zadní části krytu. Ujistíme se, že se žádná z našich přidaných součástí nedotýká žádné části zdroje a všechny vodiče jsou zaizolované.

Pro zdroje typu AT ještě přidáme alespoň minimální předzátěž, zdroje typu ATX již předzátěž obsahují.

Takto upravený zdroj bude po zapnutí napájecího napětí a následném odblokování řídicího obvodu vypínačem regulovat výstupní napětí +12V větve dle nastavení potenciometru a signalizační dioda se rozsvítí.

Překontrolujeme výstupní napětí voltmetrem a měníme nastavení potenciometru. Pokud zdroj při snižování nebo zvyšování napětí vypne, aktivovala se ochrana a je potřeba změnit hodnoty odporů R1 a R2 pro nastavení adekvátních napěťových mezí pro tento typ zdroje.

### 2.2.6 Výhody a nevýhody

Mezi hlavní výhody patří možnost regulace napětí v dobře využitelném rozsahu a jednoduchá realizace celé modifikace. Oproti předchozí modifikaci dosáhneme také lepší účinnosti, protože nepotřebujeme zatěžovací odpory pro správnou funkci.

Nevýhoda regulace zpětné vazby je, že u některých zdrojů jsou citlivější obvody ochrany a zdroj nám dovolí menší rozsah pracovního napětí. Jako další nevýhoda je, že mechanický potenciometr nemůžeme nahradit digitálním potenciometrem, z důvodu, že digitální potenciometry nesmí mít na žádném vstupu větší napětí než napájecí, které je většinou 5V a méně. Proto tento typ modifikace nemůžeme ovládat digitálně pomocí mikroprocesoru.

### 2.3 Regulace referenčního napětí a zisku přístrojového zesilovače

Touto modifikací vytvoříme zdroj napětí 0V až 13.5V a zdroj proudu 0A až 20A. U zdroje napětí můžeme zároveň nastavovat proudové omezení a u zdroje proudu můžeme zároveň nastavovat napěťové omezení. Tato modifikace je navržena pro zdroje typu ATX s nejběžnějším řídicím obvodem KA7500 nebo TL494 a jejich ekvivalenty. Napětí a proud je řízeno mikroprocesorem ATMEL AVR Atmega8 s připojenými periferními obvody.

Regulace napětí spočívá ve změně přivedeného napětí na zesilovač odchylky řídicího obvodu. Regulace proudu se provádí změnou zisku přístrojového zesilovače, který měří úbytek napětí na měřicím rezistoru, a následném přivedení zesíleného úbytku na druhý zesilovač odchylky na řídicím obvodu, který se porovnává s referenčním napětím.

Tato modifikace je nejsložitější, ale nabízí úpravu PC zdroje na digitální zdroj napětí a proudu s velkým rozsahem použitelnosti, přesným nastavením požadovaných výstupních hodnot a vysokým výstupním výkonem.

Tato modifikace je podrobně popsána v další části této bakalářské práce.

## 3 Konstrukce zvolené modifikace

Jako nejvhodnější ze všech modifikací, které se mohou realizovat na spínaném počítačovém zdroji, jsem zvolil mnou navrženou úpravu. Hlavním cílem bylo navrhnout modul, který umožní bez velké znalosti spínaných zdrojů zkonstruovat výkonný zdroj napětí a proudu, realizovaný jako zásuvný prvek do funkčního ATX zdroje bez nutnosti zásahu do stávajícího zapojení obvodů ATX zdroje.

### 3.1 Hardware

V této části práce jsou popsány použité součástky a integrované obvody potřebné pro navrženou modifikaci, včetně podrobného popisu a vysvětlení funkce.

#### 3.1.1 MCU ATMEL ATmega8

Jako řídicí mikroprocesor celého modulu pro digitální ovládání spínaného PC zdroje jsem zvolil mikroprocesor ATMEL Atmega8, především pro jeho jednoduché naprogramování bez nutnosti drahých programátorů, a cenové dostupnosti. Díky použití mikroprocesoru získáme možnost uživatelsky příjemného ovládání a možnost korekce při nastavování hodnot. Zároveň můžeme díky použití mikroprocesoru připojit LCD display, který bude zobrazovat nastavené hodnoty a zvýší přehlednost námi aktuálně nastavených výstupních parametrů.

Mikroprocesor ATmega8 disponuje 8kB Flash pamětí, která dostačuje k vytvoření komplexního ovládacího programu, jenž bude ovládat veškeré periferní obvody a zároveň zobrazovat na LCD display.

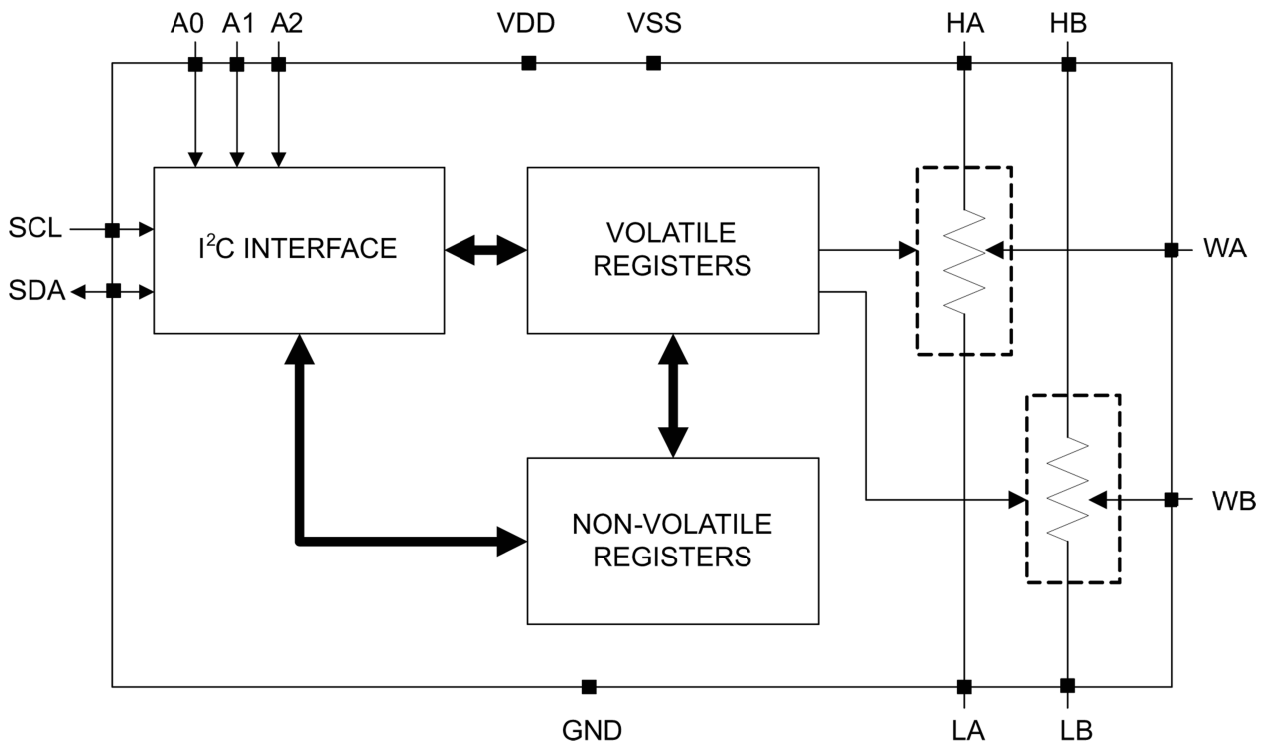
Napájení mikroprocesoru je řešeno připojením na stabilní +5vSB větev, která se zapne po připojení zdroje do sítě, proto mikroprocesor může nastavit požadované hodnoty ještě před odblokováním sekundární části zdroje. Tímto zamezíme nežádoucím nedefinovaným hodnotám výstupního napětí po spuštění zdroje.

#### 3.1.2 Digitální potenciometry

V této modifikaci jsou použity digitální potenciometry, jejich použití přináší řadu výhod. Mezi největší výhody patří možnost nastavení děliče a nastavení zisku přístrojového zesilovače pomocí mikroprocesoru. Jako další výhoda použití digitálních potenciometrů oproti klasickým potenciometrům je, že digitální neovlivňuje prach, vibrace a také není problém s oxidací jezdců a jiným mechanickým poškozením.

Tyto digitální potenciometry jsou založeny na principu spínání CMOS tranzistorů a tím převodu digitální hodnoty na analogovou. Řízeny jsou pomocí sériové sběrnice I2C. Rozlišení možného nastavení hodnoty potenciometru je dáno počtem kroků, přičemž jeden takový krok

je označován jako TAP. Použité potenciometry v této modifikaci jsou TPL0102 256TAP 100kΩ které mají 256 kroků, což je zároveň největší možný počet kroků, který se pro I2C sběrnici používá. Pro zjemnění nastavení potenciometru bychom museli zvolit 1024TAP potenciometry, které komunikují pomocí SPI sběrnice.



Vývody A0, A1, A2 slouží pro nastavení adresy pro komunikační protokol I2C. Jejich konfigurace se provádí spojením potřebných vývodů na zem nebo napájecí napětí.

Napájecí vývody GND a VSS připojíme na zem, protože budeme používat tento obvod pro napětí +5V. VDD připojíme na +5vSB, které používáme i pro napájení mikroprocesoru. Vývody SCL a SDA jsou obousměrné a používáme je pro I2C sběrnici. Pro jejich správnou funkci musí být připojeny rezistory mezi těmito vývody a napájením. Tyto rezistory jsou implementovány již na modulu s mikroprocesorem. Vývody LA, LB, HA, HB jsou krajní vývody potenciometru, WA a WB jsou jezdcy potenciometru.

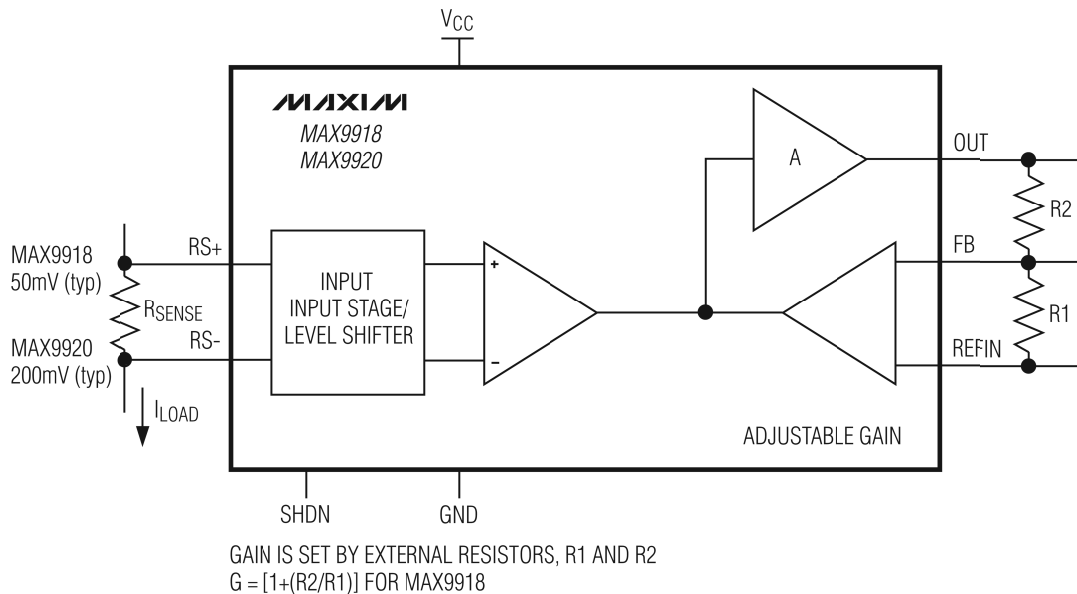
Data přenesená pomocí I2C sběrnice se uloží do registrů a následně se nastaví požadovaná hodnota odporu správnou kombinací sepnutých tranzistorů uvnitř tohoto obvodu.

Jeden z potenciometrů používáme jako dělič napětí, kterým nastavujeme požadované napětí vydělené z referenčního +5V napětí, a následně jej přivádíme na záporný vstup zesilovače odchyly. Tato hodnota se porovnává s výstupním napětím před dělením pevně nastaveným děličem a jejich rozdíl je zesilovačem odchyly zesílen. Následně se řídicí obvod

KA7500 nebo TL494 postará o takovou změnu napětí výstupu, aby rozdíl na svorkách zesilovače odchylky byl nulový.

### 3.1.3 Proudový snímač

V této modifikaci je použito zapojení High-Side Current sense. Neboli snímač proudu připojený na stranu vyššího napětí. Jeho funkce je jednoduchá, zesiluje úbytek napětí na rezistoru. Jeho zesílení je nastavitelné pomocí změny odporu zpětné vazby.



Obrázek 3.2 Blokové schéma proudového snímače [8]

Mezi vstupy RS+ a RS- zapojíme měřicí odpor. V této modifikaci jsem použil výkonovou sponu OARS1 - R005FI, která má  $0,005\Omega$  a maximální ztrátový výkon 1W při  $85^\circ\text{C}$ , při  $20^\circ\text{C}$  2W. Jednoduchým použitím Ohmova zákona zjistíme, že při 14A bude úbytek napětí na tomto odporu 0,07V. To znamená, že ztráty na tomto měřicím odporu budou 0,98W.

$$U = R \cdot I = 0,005 \cdot 14 = 0,07V \quad (3.1)$$

$$P = U \cdot I = 0,07 \cdot 14 = 0,98W \quad (3.2)$$

Tímto jsme si ověřili, že pro tento měřicí odpor můžeme zdroj použít do 14A výstupního proudu. Například pro nastavení zesílení úbytku na výstupní napětí 2,5V při 14A použijeme vztah 3.3 a 3.4

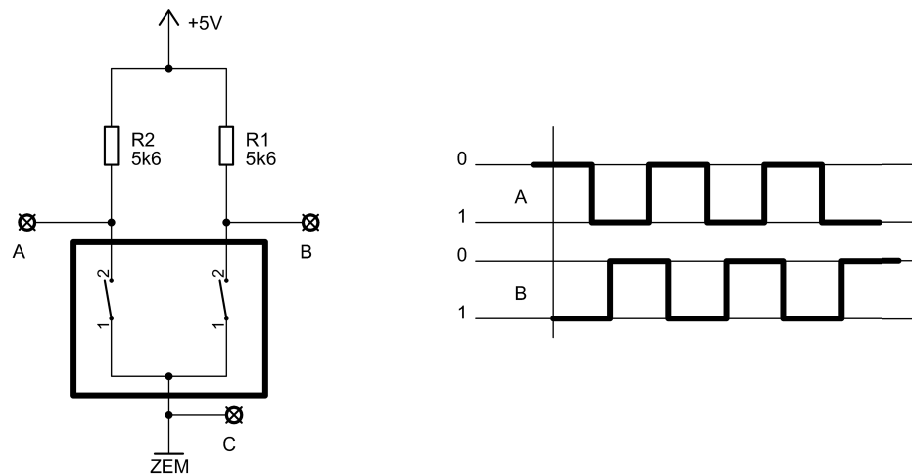
$$G = 1 + \frac{R2}{R1} \quad (3.3)$$

$$U_{out} = \frac{U_{sense}}{G} \quad (3.4)$$

Po dosažení do vztahů zjistíme, že zesílení musí být  $G=33$  a pro takové zesílení musíme digitální potenciometr v módu reostatu R2 nastavit na krok 1, na kterém má hodnotu  $390\Omega$  za předpokladu, že odpor R1 má hodnotu  $12\Omega$ .

Při tomto nastavení zdroj okamžitě zareaguje a zvýší napětí na hodnotu, aby výstupní proud způsobil úbytek na měřícím odporu takový, že jeho hodnota vynásobená 33 bude stejná jako napětí na druhém vstupu zesilovače odchylky. Výstupní napětí zdroje však nepřesáhne nastavenou maximální hodnotu napěťového omezení.

### 3.1.4 Inkrementální spínač



Obrázek 3.3 Zapojení a výstupní průběh inkrementálního spínače

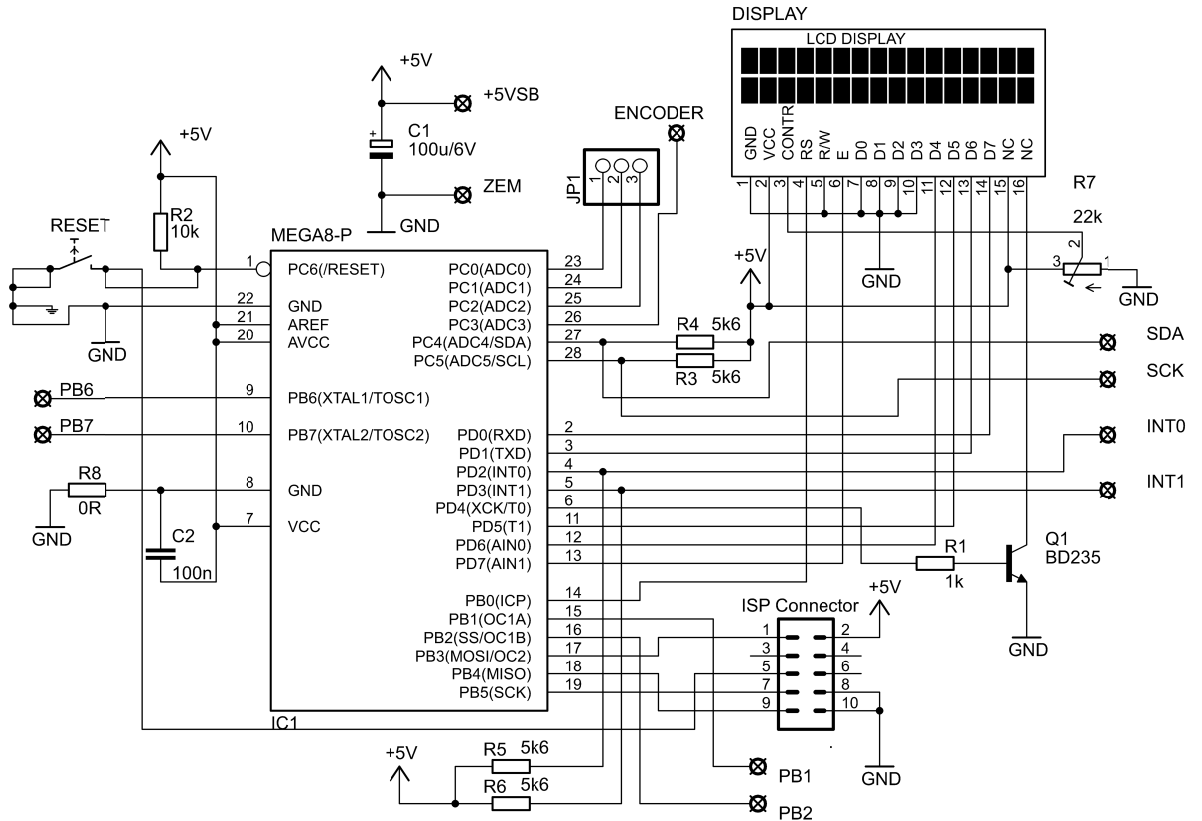
Pro ovládání a nastavování hodnot je zvolen inkrementační spínač neboli rotační enkodér. Je založen na jednoduchém principu vzájemně posunutých pulzů, které se poté dají rutinou v mikroprocesoru zpracovat a identifikovat, kterým směrem byl spínač otočen. Následným počítáním impulzů se zjišťuje, o kolik se hodnota má zvýšit nebo snížit.

Při otočení se sepne jeden ze spínačů podle směru otočení, poté se sepne druhý, tímto vygenerují časově posunuté sigly. Při sepnutí jednoho spínače je vždy na příslušném sepnutém spínači propojen rezistor na zem, a na výstupu tohoto spínače je hodnota napětí  $0V$ . Naopak při rozepnutém spínači je na příslušném výstupu hodnota napětí  $5V$ . (Předpokládáme, že do mikroprocesoru z důvodu vysokých vstupních impedancí neteče proud.) Při takto sepnutém spínači přes kontakt teče proud, který musí být omezen dostatečně velkým odporem, podle proudového omezení daného výrobcem.

Z důvodu, že se jedná o mechanický prvek, vznikají zde překmity, které jsou potřeba eliminovat. Tyto překmity trvají přibližně  $5ms$  a dají se odstranit programově nebo pomocí kondenzátoru, který je i v této modifikaci použit. Další možností jak odstranit překmity, je

použití optického enkodéru. Tyto prvky jsou však několikanásobně dražší, a proto jsem zvolil dostupnější variantu.

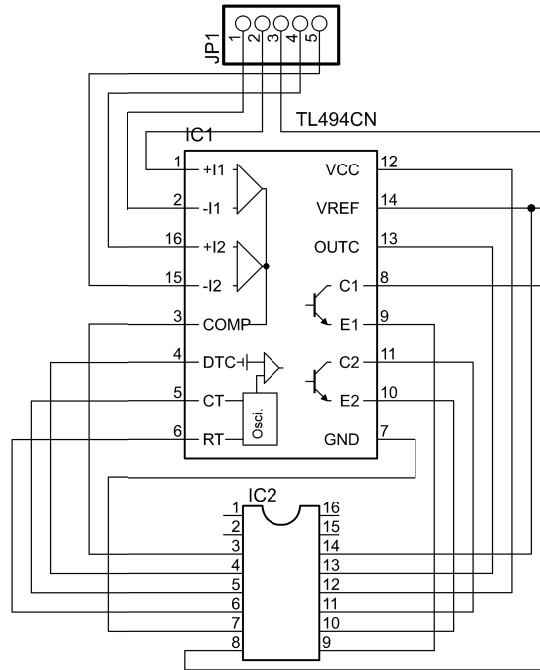
### 3.1.5 Schéma modulů této modifikace



Obrázek 3.4 Schéma hlavního modulu s mikroprocesorem

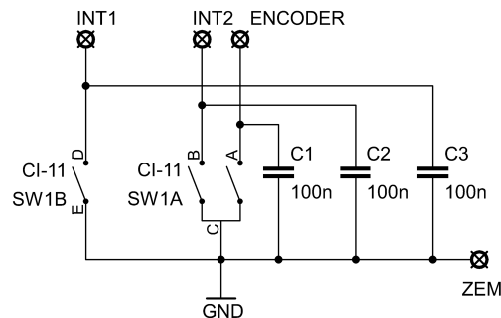
Schéma obsahuje mikroprocesor ATMEL ATmega8, který má vyvedeny vodiče pro standardní ISP konektor pro sériové programování. Dále je připojen LCD Displej s 4x20 znaků ovládaný 4bitově z důvodu úspory počtu výstupů. Sběrnice I2C pro připojení periferního modulu má vyvedeny pájecí plošky a již na tomto modulu připojené pull-up rezistory R4 a R3. Tranzistor BD235 je zde pro spínání podsvícení LCD displeje. Modul obsahuje rovněž pull-up rezistory R5 a R6 pro rotační dekodér na ovládání zdroje. Potenciometr R7 slouží pro nastavení kontrastu LCD. Filtrační a blokovací kondenzátory jsou použity pro vyhlazení napájení mikroprocesoru.





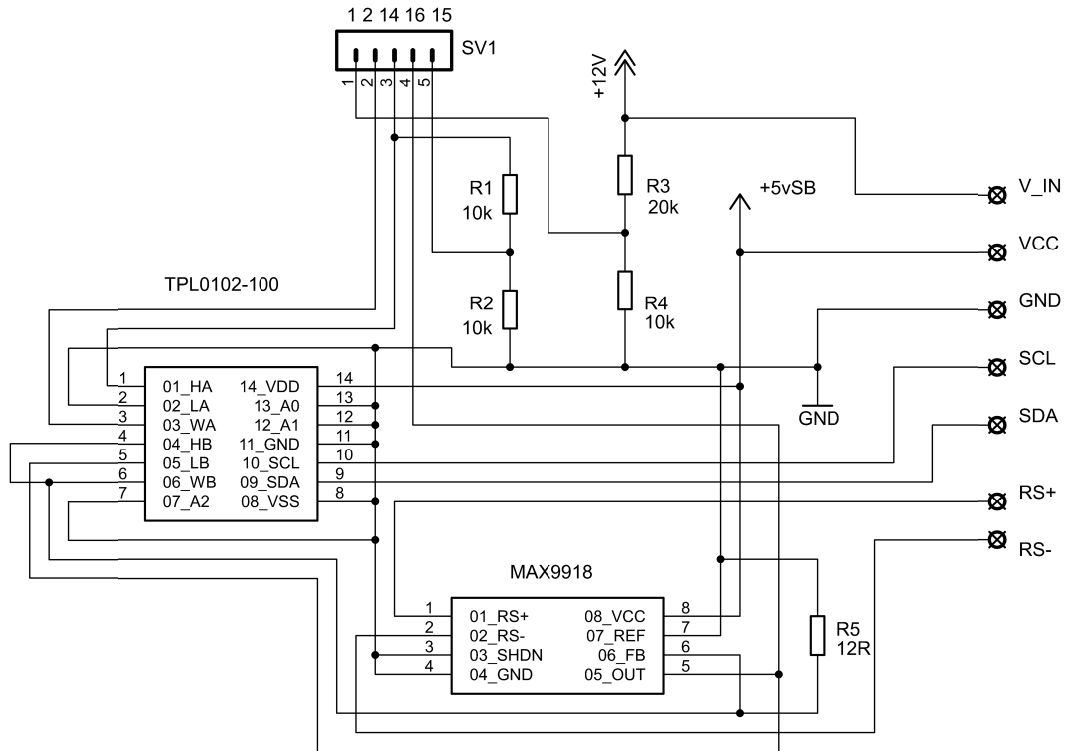
Obrázek 3.5 Schéma modulu pro řídicí obvod

Toto schéma znázorňuje, jak jsou vyvedeny potřebné vstupy zesilovačů odchylky do řídicího obvodu a referenční +5V napětí. Pomocí konektoru JP1 připojujeme další modul, který slouží pro nastavení proudového omezení a napětí. Tento modul nám usnadní modifikaci, protože nemusíme trasovat žádné součástky a pouze původní řídicí obvod zapojíme do patice na tomto modulu a celý modul připojíme na původní místo řídicího obvodu.



Obrázek 3.6 Schéma modulu inkrementálního spínače

Na tomto schématu je inkrementální spínač, a filtrační kondenzátory C1, C2 a C3. Vývody z tohoto modulu se připojují na hlavní modul do stejnojmenných zdírek.



Obrázek 3.7 Schéma modulu s digitálními potenciometry a snímačem proudu

Toto schéma obsahuje dvojitý digitální potenciometr od společnosti Texas Instruments TPL102, který je zapojen jako nastavitelný dělič napětí a reostat pro nastavení zisku snímače proudu. Dále toto schéma obsahuje snímač proudu a rezistory R1-R4 jako děliče napětí pro správné napěťové úrovně. Na schématu jsou vyvedeny přípojné body pro připojení I2C sběrnice na hlavní modul, RS+ a RS- pro připojení měřícího odporu, V\_IN pro připojení výstupního napětí na svorkách zdroje, VCC pro přivedení +5vSB stabilizovaného napětí a GND pro připojení zemnicího vodiče.

## 3.2 Software

V této části práce je popsáno programové řešení ovládání této úpravy.

### 3.2.1 Firmware

Program pro mikroprocesor je psán v jazyce C, pomocí vývojového prostředí AVR Studio.

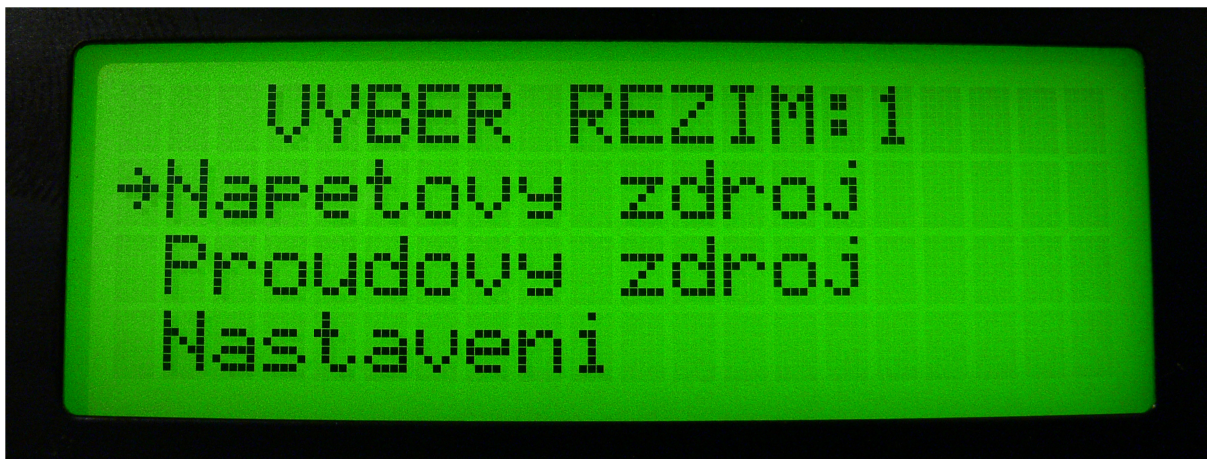
Po přivedení napájení je provedena základní inicializace mikroprocesoru. Nastavení portů, povolení přerušování, deklarace proměnných, nastavení sériové periferie I2C, odeslání výchozích hodnot pro digitální potenciometry a inicializace LCD displeje pro komunikaci ve 4bitovém režimu.

V hlavní smyčce programu se nachází řada smyček pro jednotlivé funkce zdroje. Například pro úvodní menu, zdroj proudu a zdroj napětí. Mezi těmito smyčkami je přeskakováno dle volby uživatele.

Ve funkci zdroje napětí program převádí požadovanou hodnotu napětí, zadanou uživatelem, pomocí korekční křivky na hodnotu pro nastavení digitálního potenciometru na správnou hodnotu. Korekce byla přidána z důvodu linearizace výstupního napětí zdroje při regulaci.

Ve funkci zdroje proudu se převádí nastavená hodnota požadovaného proudu, zvolená uživatelem, na hodnotu nastavení digitálního potenciometru v režimu reostatu. Tato hodnota se přepočítává pomocí vzorců pro zesílení úbytku napětí na měřicím odporu, tak aby napěťový výstup ze snímače proudu byl 2,5V pro požadovaný proud.

### 3.2.2 Navigace v menu



Obrázek 3.8 Hlavní menu

V hlavním menu, které se zobrazí po spuštění zdroje, máme na výběr z několika možností. Napěťový zdroj, Proudový zdroj, a menu nastavení. Mezi jednotlivými řádky vybíráme otáčením ovládacího prvku, potvrzení výběru provádíme stiskem ovládacího prvku.



Obrázek 3.9 volba zdroj napětí

Při zvolení zdroje napětí, ovládacím prvkem volíme hodnotu napětí. Na LCD displeji se zobrazuje hodnota výstupního napětí zdroje, Proudové omezení a grafické znázornění výstupní hodnoty. Proudové omezení nastavíme ve zdroji proudu. Pro návrat do hlavní nabídky stiskneme ovládací prvek.



Obrázek 3.10 volba zdroj proudu

V menu vybereme volbu proudový zdroj, poté se zobrazí aktuální nastavená hodnota proudu, omezení výstupního napětí a grafické znázornění výstupního proudu. Nastavení hodnoty výstupního proudu provádíme opět otáčením ovládacího prvku. Omezení maximálního napětí zůstává dle nastavení výstupního napětí v menu napětěového zdroje. Hodnota nastaveného proudu zůstane uložena jako maximální proud i pro zdroj napětí. Do hlavního menu se vrátíme stiskem ovládacího prvku.





Obrázek 3.11 volba nastavení

Při zvolení volby nastavení v hlavním menu, se zobrazí možnost změny jazyku. V mikroprocesoru jsou naprogramovány dvě jazykové verze, česká a anglická. Přepnutí mezi jazyky potvrdíme stiskem ovládacího prvku. Dále v tomto menu nastavení můžeme zapnout nebo vypnout podsvícení LCD. Tato volba se opět provede stisknutím ovládacího prvku. Pro návrat zvolíme volbu „návrat“ a potvrdíme.

### 3.3 Oživení modifikovaného zdroje

Pro oživení tohoto modifikovaného zdroje jsou veškeré potřebné motivy tištěných spojů na příloženém CD. Pomocí motivů vyrobíme desky plošných spojů a osadíme. Hlavní modul připojíme k LCD pomocí 14. pinové patice, dále do tohoto modulu připojíme +5vSB (fialový vodič) ze zdroje a zemnicí vodič (černý vodič). Dále propojíme s modulem digitálních potenciometrů a snímačem proudu pomocí vodičů SDA, SCK, +5vSB a zemnicího vodiče. Modul pro řídicí obvod osadíme původním řídicím obvodem zdroje, a celý modul pomocí deseti propojovacích kolíků připojíme na původní místo řídicího obvodu, avšak bez připojení pinů 1, 2, 15 a 16. Do 5 pinového konektoru modulu řídicího obvodu připojíme modul obsahující digitální potenciometry a snímač proudu. K obvodu snímače proudu připojíme měřicí odpor, který bude zapojen sériově k výstupu +12V, vývodem RS+ k žlutému vodiči a vývodem RS- k vodiči vedoucímu na kladný výstupní terminál zdroje. Na tento vodič vedoucí ke kladnému terminálu připojíme snímací vodič zpětné vazby s označením V\_IN. Druhý výstupní terminál zapojíme na zemnicí vodiče zdroje. Dále připojíme ventilátor na větev +5vSB. Tlačítkový vypínač připojíme na PS-ON vodič zelené barvy a zemnicí vodič. Signalizační diodu připojíme sériově k 1k $\Omega$  rezistoru na vodič PG šedivé barvy. Modul s inkrementačním spínačem propojíme s hlavním modulem. Všechny tyto moduly a zařízení

umístíme na vhodné místo dle možností zdroje, tak abychom zamezili vzájemnému kontaktu součástek.

Po dokončení propojení a umístění všech součástí modifikace nahrajeme pomocí ISP programátoru (například USB-ASP) přiložený program z CD do mikroprocesoru. Obvod je nyní napájen z ISP konektoru, proto zdroj nepřipojujeme do sítě. Při úspěšném zapojení a nahrání programu do mikroprocesoru se zobrazí hlavní nabídka na LCD. Následně ověříme funkci digitálních potenciometrů. V menu zvolíme režim zdroje napětí a měříme odpor na výstupech digitálního potenciometru, a současně měníme nastavení ovládacím prvkem. V případě že se odpor mění, je obvod v pořádku. Můžeme odpojit ISP programátor a na zdroj vrátit ochranný kryt.

Přepneme vypínač PS-ON kontaktu do stavu vypnuto a zdroj připojíme do sítě. Nyní se na LCD zobrazilo hlavní menu, vybereme režim napěťového zdroje a po nastavení požadované hodnoty zapneme vypínač PS-ON. V případě že je vše v pořádku rozsvítí se signalizační dioda, a na výstupu naměříme zvolené napětí.

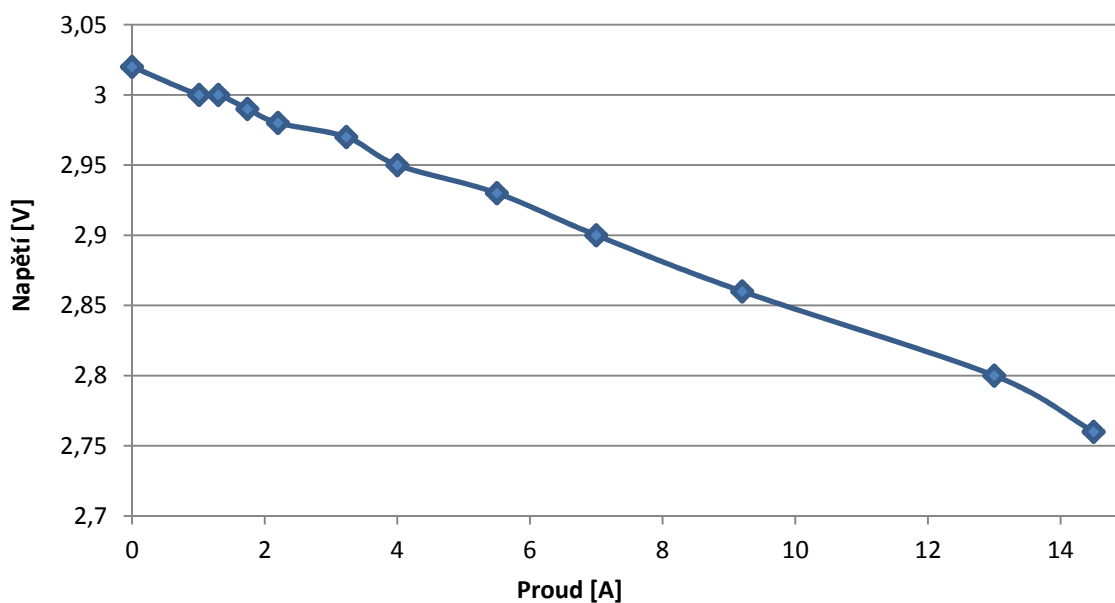
## 4 Měření parametrů zvolené modifikace

Následující kapitola se zabývá měřením zatěžovacích charakteristik při různých provozních stavech na zvolené modifikaci.

### 4.1 Měření zatěžovací charakteristiky pro napětí 3V

Tabulka 4.1 Zatěžovací charakteristika pro napětí 3V

$U$ [V]	$I$ [A]	$\Delta U$ [V]
3,02	0,00	0,00
3,00	1,01	-0,02
3,00	1,30	-0,02
2,99	1,74	-0,03
2,98	2,20	-0,04
2,97	3,23	-0,05
2,95	4,00	-0,07
2,93	5,50	-0,09
2,90	7,00	-0,12
2,86	9,20	-0,16
2,80	13,00	-0,22
2,76	14,50	-0,26

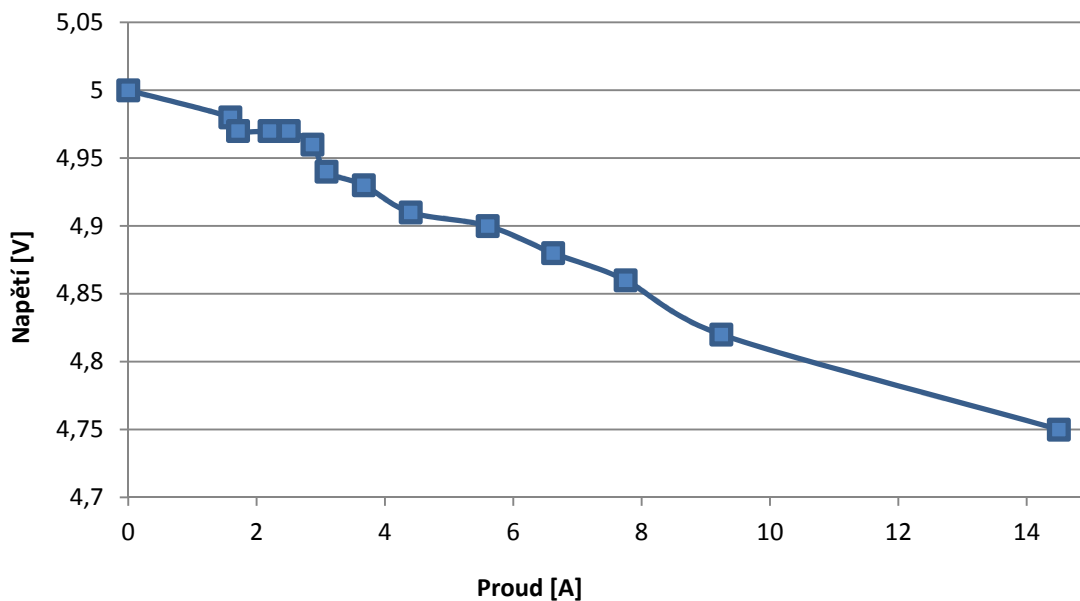


Obrázek 4.1 Zatěžovací charakteristika pro napětí 3V

## 4.2 Měření zatěžovací charakteristiky pro napětí 5V

Tabulka 4.2 Zatěžovací charakteristika pro napětí 5V

U[V]	I[A]	$\Delta U$ [V]
5,00	0,00	0,00
4,98	1,59	-0,02
4,97	1,71	-0,03
4,97	2,20	-0,03
4,97	2,50	-0,03
4,96	2,87	-0,04
4,94	3,09	-0,06
4,93	3,67	-0,07
4,91	4,40	-0,09
4,90	5,60	-0,10
4,88	6,62	-0,12
4,86	7,75	-0,14
4,82	9,24	-0,18
4,75	14,50	-0,25



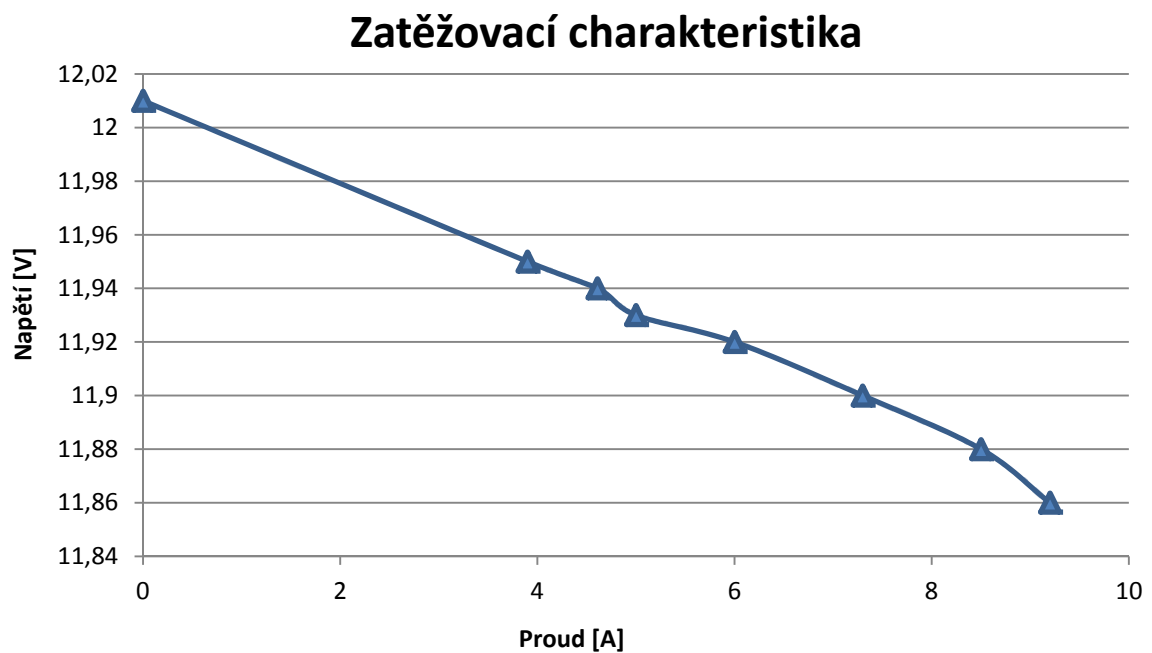
Obrázek 4.2 Zatěžovací charakteristika pro napětí 5V



### 4.3 Měření zatěžovací charakteristiky pro napětí 12V

Tabulka 4.3 Zatěžovací charakteristika pro napětí 12V

U[V]	I[A]	$\Delta U$ [V]
12,01	0,00	0,00
11,95	3,90	-0,06
11,94	4,61	-0,07
11,93	5,00	-0,08
11,92	6,00	-0,09
11,9	7,30	-0,11
11,88	8,50	-0,13
11,86	9,20	-0,15

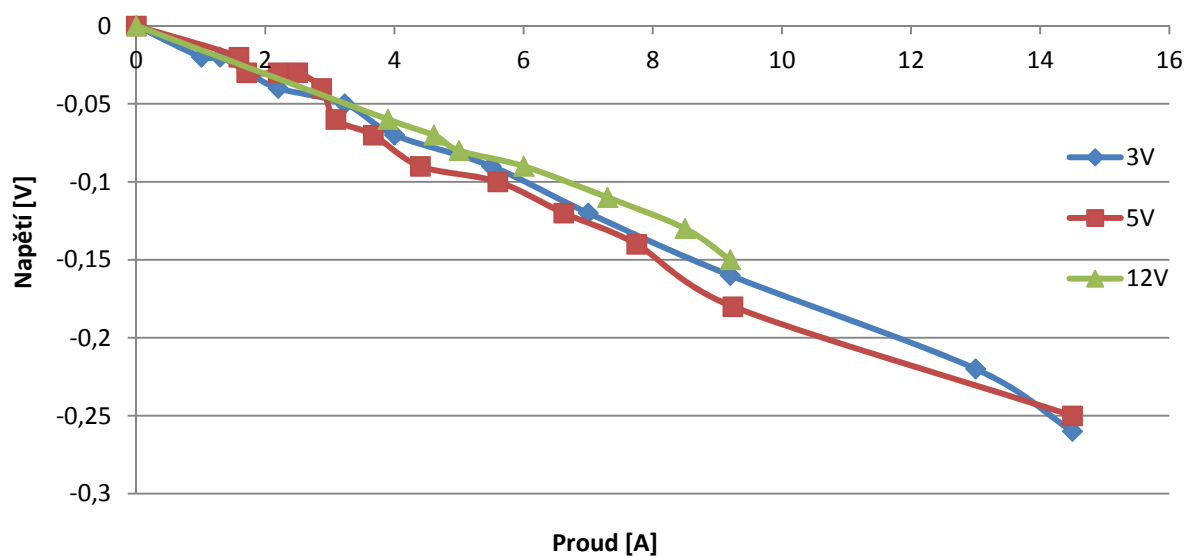


Obrázek 4.3 Zatěžovací charakteristika pro napětí 12V

#### 4.4 Pokles napětí při zatížení

Tabulka 4.4 Pokles napětí v závislosti na zatížení při 3V, 5V a 12V

Napětí 3V		Napětí 5V		Napětí 12V	
I[A]	$\Delta U[V]$	I[A]	$\Delta U[V]$	I[A]	$\Delta U[V]$
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,01	-0,02	1,59	-0,02	3,9	-0,06
1,30	-0,02	1,71	-0,03	4,61	-0,07
1,74	-0,03	2,20	-0,03	5,00	-0,08
2,20	-0,04	2,50	-0,03	6,00	-0,09
3,23	-0,05	2,87	-0,04	7,30	-0,11
4,00	-0,07	3,09	-0,06	8,50	-0,13
5,50	-0,09	3,67	-0,07	9,20	-0,15
7,00	-0,12	4,40	-0,09		
9,20	-0,16	5,60	-0,10		
13,00	-0,22	6,62	-0,12		
14,50	-0,26	7,75	-0,14		
		9,24	-0,18		
		14,5	-0,25		



Obrázek 4.4 Pokles napětí v závislosti na zatížení

## Závěr

Cílem práce bylo prozkoumat možnosti modifikace běžně dostupných spínaných počítačových zdrojů, následně zvolenou modifikaci realizovat a provést měření při různých provozních stavech. Byla zvolena modifikace změnou referenčního napětí, při které je možno nastavovat výstupní hodnoty napětí již od 0V až do maximálního napětí 13,5V. Díky použití snímače proudu s nastavitelným ziskem, který snímá úbytek napětí na měřícím rezistoru, můžeme plynule regulovat výstupní proudy. Tento snímač je použit pro realizaci proudového omezení v režimu zdroje napětí a zároveň pro možnost plynulého nastavení výstupního proudu v režimu zdroje proudu.

Možný další vývoj této modifikace spočívá v použití digitálních potenciometrů s větším počtem kroků, tím by bylo docíleno ještě jemnějšího nastavení výstupního napětí a proudu. Vzhledem k možnosti současné regulace napětí a proudů by v další verzi mohl být přidán parametr nastavení maximálního výkonu dodaného zdrojem do zařízení.

Z výsledku měření vyplývá, že se při této modifikaci podařilo vytvořit velmi tvrdý zdroj stabilizovaného napětí s vysokým výstupním proudem při přijatelných nákladech na realizaci.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C*. 6. vyd. České Budějovice: Kopp, 2009, 271, viii s. ISBN 978-80-7232-383-8.
- [2] ATMEL. *Datasheet ATmega8(L) Complete* [PDF]. 2/2011 [cit. 2012-06-06]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2486.pdf>
- [3] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I: Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*. 2. vyd. Praha: BEN, 1997, 341 s. ISBN 80-860-5602-3;
- [4] KREJČÍŘÍK, A. *Napájecí zdroje II.díl: Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*. 2. vyd. Praha: BEN, 1997, 350 s. ISBN 80-860-5603-1.
- [5] KREJČÍŘÍK, A. *Napájecí zdroje III.díl: Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*. 2. vyd. Praha: BEN, 1999, 350 s. ISBN 80-860-5656-2.
- [6] HAMMERBAUER, Jiří. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory: Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 1998, 181 s. ISBN 80-708-2411-5.
- [7] TEXAS INSTRUMENTS. *TL494* [PDF]. JANUARY 1983 [cit. 2012-06-07]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/gpn/tl494>
- [8] MAXIM. *MAX9918/MAX9919/MAX9920* [PDF]. Rev 4. 10/09, 7/11 [cit. 2012-06-07]. Dostupné z: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX9918-MAX9920.pdf>
- [9] TEXAS INSTRUMENTS. *256 TAPS DUAL CHANNEL DIGITAL POTENTIOMETER* [PDF]. Rev B. 09 Aug 2011 [cit. 2012-06-07]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/gpn/tpl0102-100>