



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

LABORATORNÍ ZDROJ ŘÍZENÝ MCU

VOLTAGE SOURCE CONTROLLED BY MCU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MAREK POŽÁR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN FRIEDL

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Marek Požár

ID: 100287

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Laboratorní zdroj řízený MCU

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s možnostmi řešení řízených napájecích zdrojů. Dále prostudujte možnosti jejich řízení pomocí mikrokontroléru.

Navrhněte zapojení laboratorního zdroje včetně řízení pomocí mikrokontroléru. Výstup zdroje: 0 V až 30 V, proud dodávaný do zátěže 0 A až 3 A. Plynulá regulace napětí i proudu pomocí N - kodérů. Měřené hodnoty U a I zobrazeny na zobrazovači LCD.

Realizujte navržený laboratorní zdroj, změřte jeho parametry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KREJČIŘÍK, A. Napájecí zdroje 1. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 1996. 352 s. ISBN 80-86056-02-3.

[2] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 320 s. ISBN 80-7300-174-8.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Martin Friedl

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Laboratorní zdroj je základní a téměř nezbytnou součástí každé moderní laboratoře elektrotechniky. Bez kvalitního laboratorního zdroje se při vývoji elektronických zařízení neobejdeme. Jeho hlavní funkce spočívá v dodání stejnosměrného stabilizovaného napětí a proudu. Nachází se v základních verzích bez plynulé regulace napětí a proudu, pouze s přepínáním předem daných napětí. Ovšem jsou tu i náročnější aplikace, kde je stabilizované napětí plynně regulováno a zobrazováno např. na LCD. Tato diplomová práce se zabývá návrhem propojení mikroprocesoru s obvody, které stabilizují a regulují výstupního napětí a výstupní proud laboratorního zdroje. Mikroprocesor ovládá pomocí D/A převodníku výkonové prvky, které zajišťují stabilizované napětí na výstupu s potřebným výkonem.

Klíčová slova: Mikroprocesor, Stabilizované napětí, Výkonové prvky, Regulace

Abstract

Laboratory source is basic and necessary part of almost every modern electronics laboratories. Development cannot be done without good laboratory resources. Its main function is supply stabilized DC voltage and current. It appears in a simpler version without the continuous regulation of voltage and current, with only predetermined switching voltage. Of course there are also more demanding applications, where stable voltage adjustable fluently and where is continuous of stable voltage for example LCD applications. This term project deals with a connection of microprocessor and stabilizing and regulating circuits for voltage and current of laboratory sources output. That microprocessor controls performance features by DA converter, which provide a stable output voltage which required power.

Keywords: Microprocessor, Stabilized Voltage, Power features, Regulation

POŽÁR, M. Laboratorní zdroj řízený MCU. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Friedl.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma LABORATORNÍ ZDROJ ŘÍZENÝ MCU jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 18. května 2011

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Friedlovi za účinnou, metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 18. května 2011

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	1
1 Napájecí zdroje	2
1.1 Rozdělení napájecích zdrojů	2
1.2 Zdroje spojitě.....	3
1.2.1 Parametrické stabilizátory	4
1.2.2 Lineární integrované stabilizátory.....	4
1.2.3 Lineární nastavitelné stabilizátory	5
1.3 Zdroje spínané	6
1.3.1 Základní rozdělení spínaných zdrojů	6
1.3.2 Princip spínaného zdroje	7
1.3.3 Požadavky a vlastnosti součástek pro spínané zdroje	7
1.3.4 Jednočinný propustný měnič.....	8
1.3.5 Jednočinný blokující měnič.....	8
2 Mikroprocesory	9
2.1 Rozbor vlastností AVR	9
2.2 Mikroprocesor ATmega128	10
2.2.1 Paměti mikroprocesoru	11
2.2.2 Zdroje hodinového signálu.....	12
2.2.3 Důležité části mikroprocesoru.....	13
3 Návrh zapojení laboratorního zdroje	15
3.1 Základní popis a blokové schéma	15
3.2 Simulace v programu P-SPICE	17
3.2.1 Výsledky simulace	18
3.3 Volba součástek.....	20
3.3.1 Výkonový NPN Darlingtonův tranzistor MJ11016	20
3.3.2 N – kódér P-RE30S	21
3.3.3 D/A převodník AD5627	22
3.3.4 LCD display MC2004B-SBL/H.....	23
3.4 Detailní řešení laboratorního zdroje.....	24
3.4.1 Chladič pro výkonový prvek.....	24
3.4.2 Síťový transformátor	26
3.4.3 Ovládání výstupního napětí a proudu.....	28
3.4.4 Usměrňovací můstek a filtrační členy.....	30

4	Realizace laboratorního zdroje	31
4.1	Hardwarová část	31
4.1.1	LCD modul.....	31
4.1.2	Ovládací část	32
4.1.3	Výkonová část.....	34
4.2	Softwarová část	36
4.2.1	Vývojový diagram.....	36
4.2.2	Inicializace	37
4.2.3	Testování spínače a tlačítek.....	37
4.2.4	Přepínání sekundárních odboček.....	37
4.2.5	Regulace napětí a proudové omezení.....	38
4.2.6	Zobrazení na LCD	38
4.2.7	Obsluha inkrementálních čidel.....	39
4.2.8	Měření napětí a proudu	40
4.3	Ovládání laboratorního zdroje.....	41
5	Výsledky měření	42
5.1	Zatěžovací charakteristika.....	42
5.2	Zvlnění výstupního napětí.....	44
6	Shrnutí parametrů laboratorního zdroje.....	46
7	Závěr.....	47
	Literatura.....	48
	Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	50
	Seznam příloh	51

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Funkce elektronického systému.....	2
Obr. 2: Blokové schéma spojitého stabilizovaného zdroje.....	3
Obr. 3: Zapojení stabilizátoru se ZD.....	4
Obr. 4: Zapojení integrovaného stabilizátoru napětí, stabilizátor 7805.....	4
Obr. 5: Principiální schéma lineárního nastavitelného stabilizátoru.....	5
Obr. 6: Blokové schéma spínaného zdroje.....	6
Obr. 7: Jednočinný propustný měnič [4].....	8
Obr. 8: Jednočinný blokující měnič [4].....	8
Obr. 9: Označení pinů procesoru ATmega128 [6].....	10
Obr. 10: Zapojení krystalu [6].....	12
Obr. 11: USART vysílání synchronní režim [6].....	14
Obr. 12: Bitová perioda [5].....	14
Obr. 13: Struktura asynchronního rámce [5].....	14
Obr. 14: Blokové schéma laboratorního zdroje.....	15
Obr. 15: Zapojení obvodu pro simulaci v P-SPICE.....	17
Obr. 16: Závislost výstupního napětí na výstupním proudu.....	18
Obr. 17: Závislost zvlnění na filtr. kondenzátoru, při změně výstupního proudu.....	19
Obr. 18: Závislost výstupního napětí na napětí z D/A převodníku.....	19
Obr. 19: Vnitřní zapojení a pouzdro tranzistoru MJ11016 [7].....	20
Obr. 20: Zapojení a výstupní průběhy inkrementálního rotačního čidla [8].....	21
Obr. 21: Vnitřní zapojení a pouzdro D/A převodníku AD5627 [9].....	22
Obr. 22: Příkazový a datový byte pro komunikaci mezi MCU a D/A převodníkem [9].....	22
Obr. 23: Blokový diagram zapojení LCD displeje [21].....	23
Obr. 24: Principiální schéma pro výpočet ztrátového výkonu.....	24
Obr. 25: Náhr. schéma tep. okruhu pro ustálený stav, profil chladiče CH29[11].....	25
Obr. 26: Síťový transformátor [13].....	26
Obr. 27: Principiální schéma pro výpočet sekundárního napětí transformátoru.....	26
Obr. 28: Zapojení pro řízení výstupního napětí.....	28
Obr. 29: Zapojení pro výpočet filtračního kondenzátoru.....	30
Obr. 30: Schéma LCD modulu.....	31
Obr. 31: Schéma ovládací části laboratorního zdroje.....	32
Obr. 32: Schéma výkonové části laboratorního zdroje.....	34
Obr. 33: Uspořádání výkonové a ovládací části v přístrojové krabici lab. zdroje.....	35
Obr. 34: Vývojový diagram ovládacího programu.....	36

Obr. 35: Základní zobrazení laboratorního zdroje	41
Obr. 36: Ovládací panel laboratorního zdroje	41
Obr. 37: Závislost výstupního napětí na výstupním proudu laboratorního zdroje.....	43
Obr. 38: Závislost výst. napětí na výst. proudu simulovaná v programu P-SPICE	43
Obr. 39: Závislost zvlnění výst. napětí na výst. proudu lab. zdroje	44
Obr. 40: Zvlnění výstupního napětí při výstupním proudu 200 mA.....	45
Obr. 41: Zvlnění výstupního napětí při výstupním proudu 2,5 A.....	45
Obr. 42: Popis registrů obvodu AD5627 [9].....	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Porovnání spojitých a spínaných zdrojů [2].....	6
Tab. 2: Srovnání 4 typů mikroprocesorů AVR.	9
Tab. 3: Registry a paměťová místa SRAM.	11
Tab. 4: Frekvence RC oscilátoru v závislosti na hodnotě registru OSCCAL.....	12
Tab. 5: Zhodnocení mikroprocesoru ATmega128.	16
Tab. 6: Zhodnocení mikroprocesoru ATtiny13.....	16
Tab. 7: Parametry tranzistoru MJ11016.	20
Tab. 8: Vypočtené hodnoty sekundárních vinutí transformátoru.....	27
Tab. 9: Použité přístroje při měření parametrů laboratorního zdroje.....	42
Tab. 10: Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky lab. zdroje.....	42
Tab. 11: Hodnoty zvlnění výstupní napětí při výstupním proudu.....	44
Tab. 12: Parametry laboratorního zdroje.....	46

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací kompletního laboratorního zdroje. Dnešní cena laboratorních zdrojů (i těch nejjednodušších) je pro některé zájemce o elektroniku příliš vysoká. Všeobecně vyšší cena laboratorních přístrojů se tak stává jedním z problémů pro mladé, kteří se chtějí věnovat tomuto koníčku. Právě laboratorní zdroj (nastavitelný napájecí zdroj) je nepochybně tím nejpodstatnějším zařízením a je doporučováno s ním (tedy s jeho stavbou) začít. Diplomová práce je zaměřena na konstrukci jednoduchého laboratorního zdroje, který je ovšem řízen mikroprocesorem AVR, díky tomu disponuje řadou výhod. Jednou z nich je i nízká cena celého zařízení. Při vybírání mikroprocesoru bylo zohledněno několik hledisek. Jednoduchost, funkčnost, velikost, dostupnost a také cena. Jako mikroprocesor byl vybrán ATmega128, který se díky jeho vlastnostem jevil jako nejlepší. Jednak pro řízení regulace napětí, tak i pro zobrazení důležitých hodnot. Jedná se o napětí, proud a jiné důležité funkce.

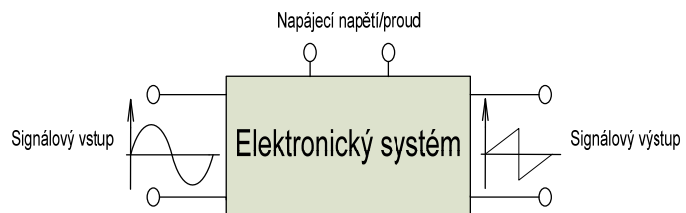
Cílem této práce je navrhnout a vyrobit laboratorní napájecí zdroj, který bude řízen pomocí mikroprocesoru. Nastavení velikosti požadovaného stabilizovaného napětí a maximálního dovoleného odebíraného proudu bude realizováno n-kodéry. Dále bude nutné vybrat vhodné zobrazovací zařízení, které bude udávat hlavně stabilizované napětí a odebíraný proud. Zde máme na výběr z celé řady možností od klasických diskrétních součástek až po digitální integrované obvody, které již zcela nahrazují analogovou techniku. V neposlední řadě bude nutné vyřešit vhodné chlazení výkonového prvku a s tím spojený návrh sekundárních vinutí transformátoru.

1 NAPÁJECÍ ZDROJE

Každé elektronické zařízení potřebuje ke své vlastní činnosti určitý zdroj elektrické energie. Ve velké míře pak ve formě stejnosměrného výkonu. Prudký rozvoj elektronických zařízení však předběhl vývoj zdrojů natolik, že rozdíly začaly být neúměrné. Právě z tohoto důvodu se od začátku sedmdesátých let začal výrazně rozvíjet i obor napájecích zdrojů. V současnosti představuje tato část moderní radioelektroniky samostatný obor [1].

1.1 Rozdělení napájecích zdrojů

Napájecím zdrojem rozumíme zařízení, které je schopné dodat elektronickému systému napětí a proud potřebný k jeho činnosti v dané toleranci a daného průběhu.



Obr. 1: Funkce elektronického systému.

Dnes můžeme napájecí zdroje elektrické energie rozdělit do několika částí:

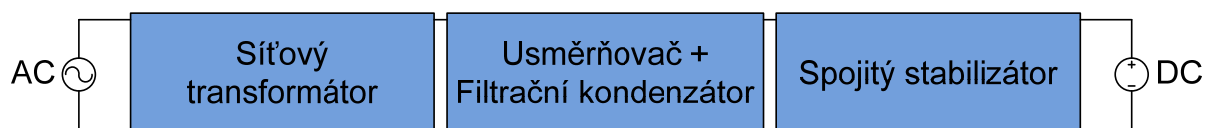
- 1) Podle primárního zdroje elektrické energie
 - Autonomní napájecí zdroje (elektrochemické zdroje, solární články).
 - Využívající elektrickou energii jiného primárního zdroje.
- 2) Podle typu dodávaného výkonu
 - Zdroje stejnosměrných napětí a proudů.
 - Zdroje střídavých napětí a proudů.
- 3) Podle základního fyzikálního principu činnosti
 - Elektrochemické (primární a sekundární suché články).
 - Elektromechanické (generátory, agregáty, dynamo, alternátory).
 - Zdroje, využívající elektrickou rozvodnou síť (elektronické napájecí zdroje).
 - Ostatní (solární články apod.).
- 4) Podle povahy vnitřních dějů
 - Zdroje neregulované.
 - Zdroje regulované (se spojitou či nespojitou regulací).
- 5) Podle způsobu regulace výstupního napětí a proudu
 - Zdroje Spojité.
 - Zdroje Spínané.

1.2 Zdroje spojité

K základním typům stabilizačních obvodů napětí v mnoha elektronických zařízeních patří lineární (spojité) stabilizátory napětí. Ke stabilizátorům lze obecně zařadit všechny obvody, které umožňují stabilizovat výstupní napětí nebo proud. Stabilizátor je elektronická součástka, která se snaží udržovat stabilní výstupní napětí nebo proud a to při změnách:

- a) Výstupního proudu
- b) Vstupního napětí
- c) Teploty okolí

Obvykle výstupní napětí na jiných veličinách nezávisí. Ovšem pokud ano, je potřeba sledovat i takové vlivy. Jedná se např. o stárnutí součástek. Stabilizátor kromě stabilizačních účinků snižuje také střídavou složku výstupního napětí tzv. zvlnění a pracuje jako filtr [2].



Obr. 2: Blokové schéma spojitého stabilizovaného zdroje.

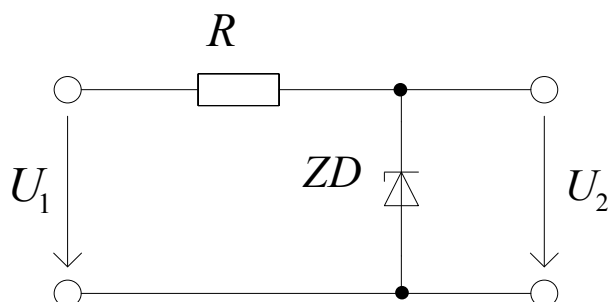
Usměřňovač přemění střídavé napětí na napětí blízké se ideálně stejnosměrnému. Spojitý stabilizátor se snaží udržovat konstantní napětí na výstupu a to i přesto, že se mění velikost zátěže na výstupu a tím i výstupní proud.

Rozdělení stabilizátorů:

- 1) Podle zapojení regulačního prvku
 - Sériové.
 - Paralelní.
- 2) Podle řízení regulačního prvku
 - Parametrické (bez zpětné vazby).
 - Degenerativní (se smyčkou zpětné vazby).
- 3) Podle stabilizované veličiny
 - Stabilizátory napětí.
 - Stabilizátory proudu.
- 4) Podle polarity stabilizovaného napětí
 - Kladné.
 - Záporné.

1.2.1 Parametrické stabilizátory

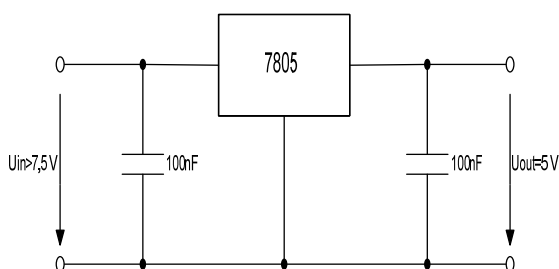
Parametrické stabilizátory napětí fungují na principu určitého možného rozdílu mezi stejnosměrným a dynamickým odporem stabilizačního prvku v pracovním bodě. Využívají ke stabilizaci tvaru velmi strmého průběhu VA charakteristiky nelineárního (polovodičového) prvku. Nejčastěji se jedná o Zenerovu diodu nebo lavinovou diodu v závěrném směru. Velkou nevýhodou použití Zenerovy diody k přesnější stabilizaci je, že jí musí protékat poměrně velký proud a tímto se snižuje účinnost η . Výhodou tohoto zapojení je jeho jednoduchost a nízká cena [3].



Obr. 3: Zapojení stabilizátoru se ZD.

1.2.2 Lineární integrované stabilizátory

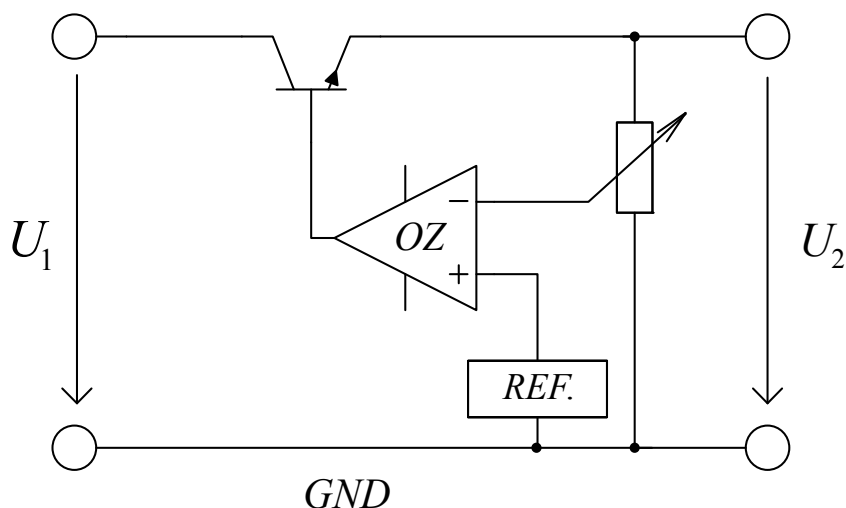
Lineární integrované stabilizátory reagují na změnu výstupního napětí a proudu. Na obr. 5 je nakresleno základní blokové schéma integrovaného stabilizátoru napětí. Obsahuje stabilní referenční napětí U_{ref} . Dále obsahuje zesilovač regulační odchylky s vysokým zesílením. Výstupní napětí stabilizátoru může nabývat hodnot U_{ref} nebo jeho násobku (podílu). Stabilizátor se snaží udržovat výstupní napětí U_o konstantní a to při každých změnách hodnoty U_o k jeho navrácení do původní hodnoty. Ideální stabilizátor se vlastně chová jako ideální zdroj napětí s konstantním výstupním napětím. Výstupní napětí reálného stabilizátoru není konstantní, ale souvisí se zatížením napěťového zdroje. Takto je popsán integrovaný stabilizátor napětí s konstantním napětím na výstupu. Běžné pod označením 78XX (kladné stabilizované napětí) nebo 79XX (záporné stabilizované napětí) [3].



Obr. 4: Zapojení integrovaného stabilizátoru napětí, stabilizátor 7805.

1.2.3 Lineární nastavitelné stabilizátory

Základní principiální schéma nastavitelného lineárního stabilizátoru je uvedeno na obr. 5. Pomocí snímače výstupního napětí (v tomto případě potenciometru) je nastavována námi požadovaná hodnota výstupního napětí.



Obr. 5: Principiální schéma lineárního nastavitelného stabilizátoru.

Jako zdroj referenčního napětí se využívá nejčastěji TL431. Rozdílový zesilovač zesiluje odchylku mezi požadovaným výstupním a referenčním napětím. Výkonový regulační člen zajišťuje korekci výstupního napětí podle regulační odchylky. Regulace tedy probíhá spojitě (spojité regulovatelné stabilizátory).

Obvody obsahují potřebnou zpětnou vazbu, proto jsou nazývány jako zpětnovazební stabilizátory. Lze na ně nahlížet také jako na kaskádní spojení zdroje referenčního napětí a výkonového zesilovače s velmi silnou napěťovou zápornou zpětnou vazbou. Záporná zpětná vazba zajišťuje velkou stabilitu parametrů, ale také malý vstupní odpor. Na výkonový regulační člen jsou kladeny velké požadavky a to s ohledem na výstupní proud, tepelné ztráty a proudové zesílení. Při velkých výstupních proudech se používá Darlingtonovo zapojení, to ovšem vykazuje větší teplotní závislost proudového zesílení.

Další důležitou podmínkou správné činnosti stabilizátoru je velmi kvalitní blokování. Stabilizátor totiž představuje zpětnovazební systém, u kterého může docházet ke kmitání. V praxi se to řeší nejčastěji zapojením vhodných kondenzátorů mezi vstupní svorku a zem a také mezi výstupní svorku a zem.

Lineární nastavitelné stabilizátory se již v tak velké míře nepoužívají. Začaly je vytlačovat populárnější spínané zdroje, které mají oproti lineárním stabilizátorům několik výhod viz. Tab. 1. Ovšem velká výhoda lineárního stabilizátoru je v jejich jednoduchosti, malém zvlnění výstupního napětí a také v nižší ceně součástí [3].

1.3 Zdroje spínané

V dnešní době patří spínané zdroje již neodmyslitelně do převažující skupiny zdrojů, které se na trhu nejvíce prodávají. Návrh spínaných zdrojů je mnohem složitější než u zdrojů lineárních, ovšem spínané zdroje se konstruují pro svoji vysokou účinnost, dále pro malou hmotnost a rozměry. Spínané zdroje oproti klasickému spojitému stabilizovanému zdroji mají asi desetkrát menší hmotnost, třikrát menší objem a větší účinnost kolem (85%). Pokud je zapotřebí zmenšit rozměry a hmotnost zdroje, je nutné zvýšit pracovní kmitočet transf. [2].

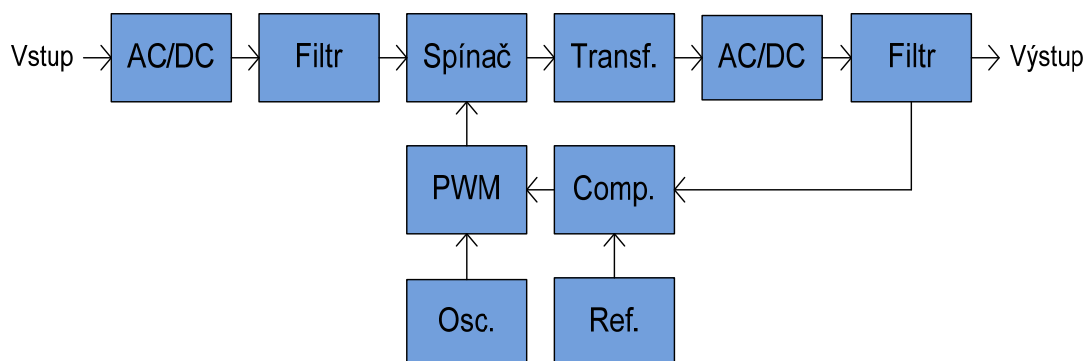
Parametr	Spínaný zdroj	Spojití lineární zdroj
Účinnost	75 [%]	30 [%]
Hmotnost	100 [W/kg]	20 [W/kg]
Objem	0,2 [W/cm ³]	0,05 [W/cm ³]
Šumové napětí	200 [mV]	50 [mV]
Výstupní zvlnění	50 [mV]	5 [mV]
Odezva na skok	1 [ms]	20 [us]
Doba náběhu	20 [ms]	2 [ms]
Cena	Přibližně stejná	S výkonem roste

Tab. 1: Porovnání spojitých a spínaných zdrojů [2].

Z tab. 1 je patrné, že největší výhodou spínaných zdrojů je jejich vysoká účinnost, mnohonásobně menší hmotnost a objem. Jako největší nevýhodu bych zde zohlednil jejich vysokou pracovní frekvenci a cenu součástek, které musí na takto vysoké frekvenci spolehlivě pracovat. S vyšší frekvencí se zvětšuje rušení, které vzniká při spínání tranzistorů.

1.3.1 Základní rozdělení spínaných zdrojů

Spínaný zdroj obsahuje několik částí, které můžeme vidět na obr. 6. Nemusí vždy obsahovat všechny části. Pro správnou činnost spínaného zdroje musí být vstupní napětí stejnosměrné a také musí obsahovat co nejmenší střídavou složkou.



Obr. 6: Blokové schéma spínaného zdroje.

Rozdělujeme je na:

- Propustné (jednočinné nebo dvojčinné).
- Blokující (jednočinné).

Záleží na tom, jestli v okamžiku sepnutí spínače prochází proud ze vstupu na výstup. Jestli ano, jedná se o propustný zdroj, jestli ne, jedná se o blokující.

1.3.2 Princip spínaného zdroje

Na vstupu stabilizátoru je větší napětí než na výstupu. U spojitého stabilizátoru se tento rozdíl napětí s protékajícím proudem přemění v teplo. Tranzistor funguje jako proměnný odpor. U spínaného zdroje funguje tranzistor jako spínač a výstupní napětí se řídí poměrem doby zapnutí a doby vypnutí. Na zátěži, pokud má setrvačný charakter např. žárovka, motor apod. dochází ke zprůměrnování hodnoty napětí. Pokud nemá: TV, zesilovač musí být navíc použit filtr, který toto zprůměrnování provede. Tranzistor zde pracuje ve spínacím režimu. To znamená, že je na něm napětí a není proud, nebo teče proud a není napětí. Nevzniká téměř žádný ztrátový výkon [4].

1.3.3 Požadavky a vlastnosti součástek pro spínané zdroje

1) Spínací tranzistor

- Nejdůležitější požadavek je krátká doba sepnutí a vypnutí.
- V okamžiku spínání/rozpínání je pak na tranzistoru ztrátový výkon, max. doba by neměla přesáhnout 1% periody.
- Tranzistor musí mít malé U_{sat} a malý zbytkový proud.
- Tyto požadavky splňují tranzistory řízené polem.

2) Dioda

- Musí být velice rychlá, krátká zotavovací doba.
- Měla by to být nízko úbytková dioda.

3) Cívka

- Musí mít co nejmenší sériový odpor (větší průměr vodiče).
- Skinefekt (při vysokých kmitočtech teče proud pouze na povrchu vodiče, proto se používají páskové vodiče).
- Jádru z feritu, v železe vznikají velké ztráty a není na vysoké frekvence.

4) Kondenzátor

- Používají se tantalové kondenzátory.
- Nebo je možno použít několik elektrolytů zapojených paralelně.

1.3.4 Jednočinný propustný měnič

Tento zdroj je nejméně rozšířen. Používá se v některých PC zdrojích v miniaturních verzích.

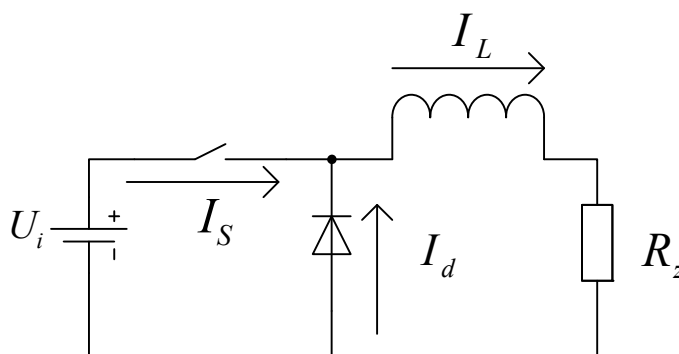
- 1) Doba zapnutí: Proud prochází přes spínač a cívku do zátěže, jeho velikost lineárně narůstá. Dioda je v závěrném směru.
- 2) Doba vypnutí: Cívka se snaží udržet velikost a směr proudu, otvírá se dioda, magnetické pole v cívce se mění na proud.

Výhody:

- Výstupní proud teče i v době T_{zap} .
- Větší výkon, malé zvlnění.

Nevýhody:

- Nutnost použití dvou transformátorů.



Obr. 7: Jednočinný propustný měnič [4].

1.3.5 Jednočinný blokující měnič

Protože proud nikdy neteče přímo ze zdroje do zátěže, nazýváme ho měnič blokující.

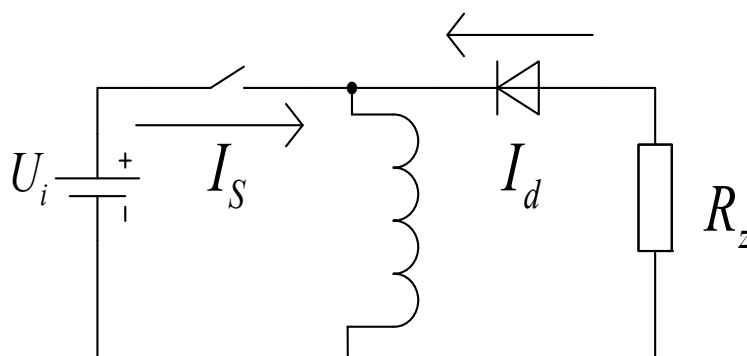
- 1) Doba zapnutí: Proud prochází pouze přes cívku, dioda se nachází v závěrném směru, potom vzniká magnetické pole.
- 2) Doba vypnutí: Na cívce se změní polarita proudu, dioda je v propustném směru, proud prochází do zátěže.

Výhody:

- Jednoduchý, zvláště v síťovém provedení.
- Pouze trafo do 100W.

Nevýhody:

- Malý výkon, velké zvlnění.
- Výstupní proud teče pouze v době T_{zap} .



Obr. 8: Jednočinný blokující měnič [4].

2 MIKROPROCESORY

Mikroprocesory AVR jsou polovodičové programovatelné součástky (jednočipové mikropočítače). Jsou založeny na Harvardské architektuře (paměť dat i programu jsou odděleny). Používají se v mnoha kontrolních a řídicích úlohách v průmyslových oborech.

2.1 Rozbor vlastností AVR

Mikroprocesory AVR jsou vyráběny firmou Atmel. Mezi jejich základní vlastnosti patří:

- 8 bitová RISC architektura
- 130 instrukcí (120 pro ATtiny), většina jedno taktových
- rozsah frekvencí od 32 kHz do 20 MHz
- oddělená programová a datová paměť
- programová paměť flash, přeprogramovatelná za běhu, 10 000 mazacích/zápisových cyklů
- operační paměť SRAM, dvoutaktový přístup
- integrovaná EEPROM, 100 000 mazacích/zápisových cyklu
- 32 pracovních registru
- napájení 1,8 - 5,5V, nízká spotřeba, režim spánku
- množství digitálních i analogových periferií
- jednoduché programování, software zdarma

AVR mikroprocesory jsou škálovatelné, je tedy možné pořídit typy s redukováným jádrem a omezeným počtem I/O funkcí (ATtiny) nebo plným jádrem a množstvím I/O (ATmega) či dokonce i s možností připojit externí RAM. Mezi nejmenší typy patří ATtiny15, 12, mezi nejobsáhlejší ATmega2561. Mikroprocesor ATmega128, který je v této diplomové práci použit, patří mezi tzv. “střední třídu”. Instrukční sada AVR procesoru obsahuje většinou instrukce, které trvají jeden hodinový takt. Přístupy do SRAM a skoky trvají dva takty. Přehled možných mikroprocesorů pro regulaci laboratorního zdroje je v Tab. 2.

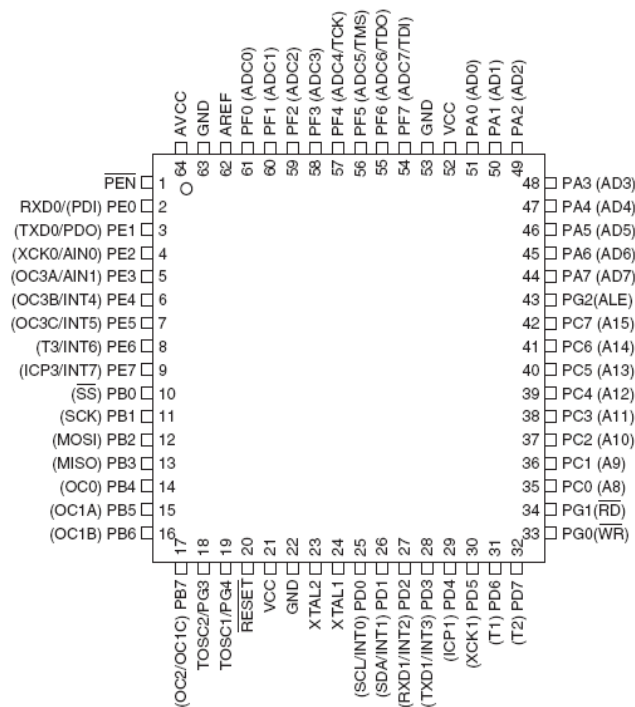
	ATtiny2313	ATmega16	ATmega128	AT90USB1287
f_{\max}	20MHz	16MHz	16MHz	16MHz
Flash	2kB	16kB	128kB	128kB
SRAM	128B	1024B	4096B	8192 B
EEPROM	128B	512B	4096B	4096B
Pouzdro	DIL 20	TQFP44, DIL40	TQFP64	TQFP64,QFN64
Hodiny	Ext.vstup, RC osc.krystal	Ext.vstup, RC osc. krystal	Ext.vstup, RC osc. krystal	Ext.vstup, RC osc. krystal

Tab. 2: Srovnání 4 typů mikroprocesorů AVR.

2.2 Mikroprocesor ATmega128

Pro účel diplomové práce byl vybrán mikroprocesor ATmega128 od firmy Atmel. ATmega128, je 8 bitový mikroprocesor založený na architektuře RISC (omezená instrukční sada, rychlé vykonávání instrukcí). ALU (aritmeticky logická jednotka) provádí většinu instrukcí ve spojení s 32, 8 - bitovými registry uloženými v paměti SRAM. Je zde ještě obsažen registrový pár Z (r31-r30) pro nepřímé adresování. Paměť programu se ukládá do paměti typu flash o velikosti 128 kB. Paměť SRAM pro ukládání aktuálních dat má kapacitu 4kB. Paměť dat EEPROM má kapacitu 4 kB a slouží pro ukládání dat, které budeme potřebovat i po odpojení napájení. Bude zde zmíněn velmi důležitý registr SREG. Stavový registr obsahuje informace o posledních aritmetických operacích. Podle těchto výsledků, které jsou obsaženy v příznakových bitech, je možno pomocí podmíněných skoků větvit nadále program. S okolím komunikuje mikroprocesor pomocí 53 I/O linek, u kterých je možno jednotlivě volit vstupní a výstupní režim. Všechny tyto linky mají ještě další funkce – analogový komparátor, A/D převodník, sériový kanál USART nebo UART, 5x vstupy a výstupy čítačů/časovačů a 8x vnější přerušeni. Některé I/O linky mají i více funkcí.

Mikroprocesor nabízí 2. osmibitové a 1. šestnáctibitový čítač/časovač s výstupy PWM a velkým množstvím režimů, z nichž jeden je čítání v reálném čase i při režimu snížené spotřeby. Režimů snížené spotřeby je celkem 6. Časování může probíhat z vnitřního nebo vnějšího krystalu. Reset můžou vyvolat čtyři zdroje – vnější resetovací vstup, watchdog timer, power-on (připojení napájení) a Brown-out (pokles napětí pod nastavenou úroveň. Napájecí napětí je $1,8 \div 5,5V$. Frekvence krystalu je max. 16 MHz [6].



Obr. 9: Označení pinů procesoru ATmega128 [6].

Na obr. 9, je vidět jednotlivé označení pinů. Součástka je zobrazena v pouzdře SMD (TQFP). Na vývody XTAL2 a XTAL1 se připojuje krystal o frekvenci max. 16MHz. Samozřejmě je zapojení napájecího napětí 5V a zemního potenciálu GND. Ještě je zde vnější resetování, vstup RESET, na který pokud se přivede externě zemnicí potenciál, se procesor „zresetuje“ a začne běžet znovu od začátku programu. O dalších funkcích a významech jednotlivých pinů bude s většími detaily poukázáno v dalších kapitolách.

2.2.1 Paměti mikroprocesoru

Mikroprocesory lze podle organizace paměťových adresných prostorů rozdělit na dvě základní části:

- Mikroprocesory s lineárním uspořádáním adresného prostoru (paměť programu i dat spojena). Tento způsob organizace paměti se nazývá Von - Neumannova architektura.
- Mikroprocesory s odděleným adresným prostorem pro paměť programu a paměť dat. Tento způsob organizace paměti se nazývá Harvardská koncepce.

Kapacita paměti různých typů mikroprocesoru se pohybuje řádově od 1 kB do 256 kB pro paměť programu a od 32 bytů do 16 kB pro paměť dat [5].

1) Registry a paměťová místa SRAM:

Paměťová místa jsou číslována od nuly, i když paměťové místo 0 leží na adrese 96. Stejně tak I/O registry jsou číslovány od nuly. Toto je umožněno tím, že pro přesuny z nebo do jednotlivých třech částí SRAM se používají jiné instrukce.

	Pozice v SRAM	Význam
1.	0-31	32 registrů
2.	32-95	64 standardních (I/O reg.)
3.	96-255	160 rozšířených (I/O reg.)
4.	256-8191	7935 paměťových míst

Tab. 3: Registry a paměťová místa SRAM.

2) Zásobník:

V paměti SRAM je uložen zásobník. Je to paměť typu LIFO, to znamená, že se bude využívat ke krátkodobému zálohování dat, kde musí platit, že data, která si zálohujeme jako poslední, budeme potřebovat jako první. Ukládaná hodnota se kopíruje na adresu, na kterou ukazuje SP (tzv. Stack Pointer „ukazatel zásobníku“) a poté se SP dekrementuje, aby neustále ukazoval na první volné místo. To je využíváno hlavně při ukládání návratových adres a důležitých registrů při skocích do podprogramů. Při návratech z podprogramů se tato data znovu v opačném pořadí obnoví.

3) Paměť dat EEPROM:

S pamětí dat EEPROM (4 kB) komunikujeme pomocí registru EEDR. Adresu bytu, se kterým chceme komunikovat, zapíšeme do registrů EARL (8bitů), EARH (1bit). Pro přesun dat je nutné nastavit některé bity v registru EEER.

2.2.2 Zdroje hodinového signálu

Časovací obvody mikroprocesoru řídí rychlost všech důležitých částí. Zdroje frekvence pro časování je možno rozdělit do dvou částí:

- Vnitřní kalibrovaný oscilátor
- Oscilátor řízený vnějším krystalem

1) Vnitřní kalibrovaný oscilátor

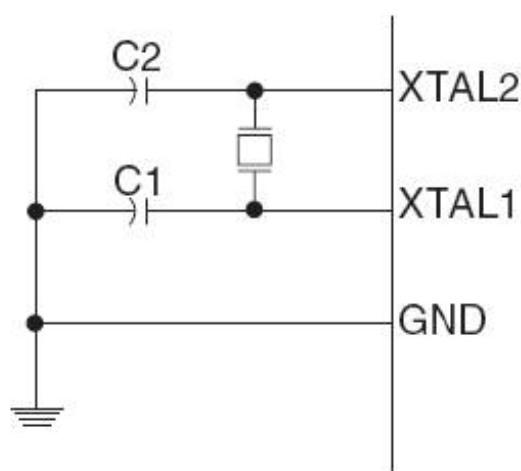
Kvůli minimalizaci počtu externích součástek nabízejí AVR mikroprocesory možnost generovat hodinový signál vestaveným laditelným RC oscilátorem. Protože oscilátor není kalibrovaný, ale pouze laditelný, je nutné provést přesné měření frekvence. Program pro měření musí umět měnit hodnotu registru OSCCAL na základě stisku tlačítek. Jeho výstupem pak bude periodický signál o přesně dlouhém počtu taktů, který může na svém konci sériově vypsat hodnotu registru OSCCAL a jinak vypisovat střídající se nuly a jedničky. Takový signál pak lze zaznamenat kalibrovaným osciloskopem a pomocí kurzoru určit periodu signálu. Vydělením periody počtem taktu získáme trvání jednoho taktu.

OSCCAL	Perioda [us]	taktů	f OSC. [MHz]	Odch.od 12MHz
121	193,593	2306	11,9159	-0,70%
122	190,811	2306	12,0852	+0,71%
123	186,226	2306	12,38	+3,17%

Tab. 4: Frekvence RC oscilátoru v závislosti na hodnotě registru OSCCAL.

2) Oscilátor řízený vnějším krystalem

Krystal poskytuje přesné časování obvodu s přibližnou tolerancí 30ppm. Jedná se o symetrickou součástku, která v zapojení s invertorem a dvěma kondenzátory obr. 10. C1 a C2 (od 12 pF do 22 pF) tvoří zpětnovazební filtr se jmenovitou rezonanční frekvencí. Krystaly se běžně dodávají ve dvou pouzdrech - HC49U (vysoké) a HC49U/S (nízké). Frekvence krystalu se používá obvykle 12 MHz.



Obr. 10: Zapojení krystalu [6].

2.2.3 Důležité části mikroprocesoru

Každý mikroprocesor používá různý počet předem daných periférií. Nejčastěji je vyráběn jeden typ mikroprocesoru v mnoha různých variantách, které se liší právě těmito periferními obvody. Jednotlivé varianty mikroprocesoru jsou potom používány pro konkrétní třídu aplikací. Jedná se třeba o ovládání komunikačního zařízení, sběr externích dat nebo řízení elektronických přístrojů.

1) Resetování systému mikroprocesoru

Dojde-li k resetu mikroprocesoru, všechny SFR registry budou nastaveny na danou inicializační hodnotu a program se přesune na adresu 0x00.

- Power-on reset – k resetu dojde tehdy, když je připojeno napájecí napětí k mikroprocesoru.
- Externí reset - k resetu dojde tehdy, když na resetovacím vstupu je log. 0.
- Watchdog reset – je-li spuštěn watchdog timer, musí program pravidelně do nastavené doby (16ms÷2,1s) provést instrukci WDR (watchdog reset). Pokud se program zacyklí a tato instrukce se neprovede, dojde k resetu.
- Brown-out reset – je-li aktivován, dojde k resetu při poklesu napájecího napětí pod nastavenou úroveň Brown-out reset. Tato úroveň může být nastavena v rozsahu 1,7÷4,3V. K resetu nedojde, je-li pokles kratší než 2μs.

2) Čítač/Časovač

Mikroprocesor obsahuje dva osmibitové čítače/časovače (TIMER0, TIMER1) a dva šestnáctibitové čítače/časovače (TIMER2, TIMER3). Tyto čtyři časovače nabízí 8 zdrojů přerušení – přetečení časovačů, shodu s porovnávacími registry, dále umožňují ovládat 4 PWM kanály, generování frekvence na výstupních bitech a mohou čítat vnější impulsy. Všechny časovače mohou pracovat v různých režimech, z nichž nejjednodušší je CTC mód, který inkrementuje časovač od hodnoty 0 do hodnoty uložené v porovnávacím registru, kdy vyvolá přerušení a vynuluje časovač. Je vhodný pro generování časového intervalu (při 8 MHz krystalu až 8 s) [6].

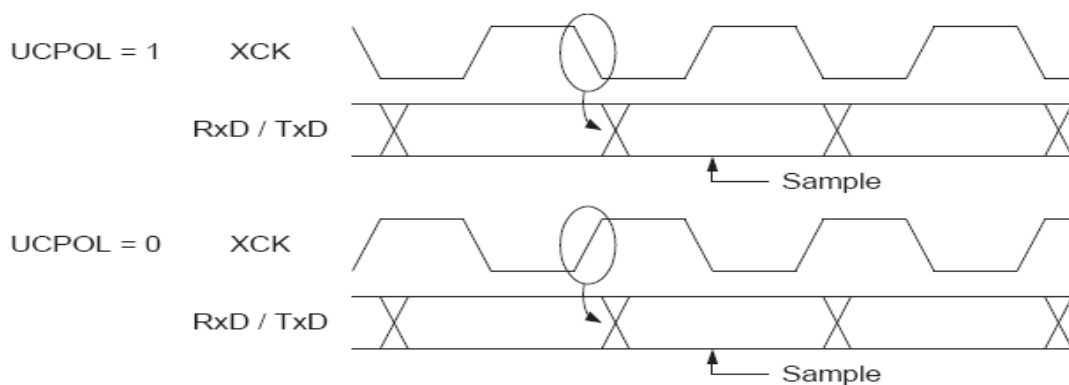
3) A/D převodník

- Převádí velikost analogového vstupního napětí na n - bitovou digitální hodnotu.
- Obsahuje 8 kanálový převodník (piny PA0 až PA7).
- Vstupní úroveň je brána vůči zemi nebo lze případně brát diferenční hodnotu dvou vstupních kanálů a to včetně nastavitelného zesílení.
- Výsledek A/D převodu je reprezentován 10 bity v registrech ADCH a ADCL (ve formě dvojkového doplňku). Výsledek může být totiž i záporný.

4) Sériový kanál USART

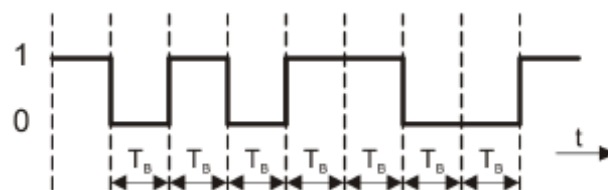
Mikroprocesor obsahuje kanál plně duplexní sériové komunikace USART. Tento kanál může pracovat ve dvou pracovních režimech [5].

Synchronní režim: Synchronní režim nastavíme bitem UMSEL1 do log1. Využívá I/O bity RxD – přijímací bit, TxD – vysílací bit a XCK synchronizační hodinový signál. Hodinový signál může pracovat ve dvou režimech nastavením bitu UC POL. Synchronní režim (master nebo slave) – bit TxD – vysílací bit, RxD – přijímací bit a XCK (hodiny) master režim vysílá hodiny, slave režim přijímá hodiny



Obr. 11: USART vysílání synchronní režim [6].

Asynchronní režim: Asynchronní režim umožňuje vysílat start bit, 5, 6, 7, 8 nebo 9 bitů dat, žádnou, sudou nebo lichou paritu, jeden nebo dva stop bity. Počet datových bitů určuje nastavení bitů UCSZ2, při vysílání méně než osmi bitů jsou ostatní bity ignorovány a při přijímání jsou v log 0. Paritu určují bity UPM1,0 a počet stop bitů bit USBS. Asynchronní režim – bit TxD – vysílací bit, RxD – přijímací bit



Obr. 12: Bitová perioda [5].



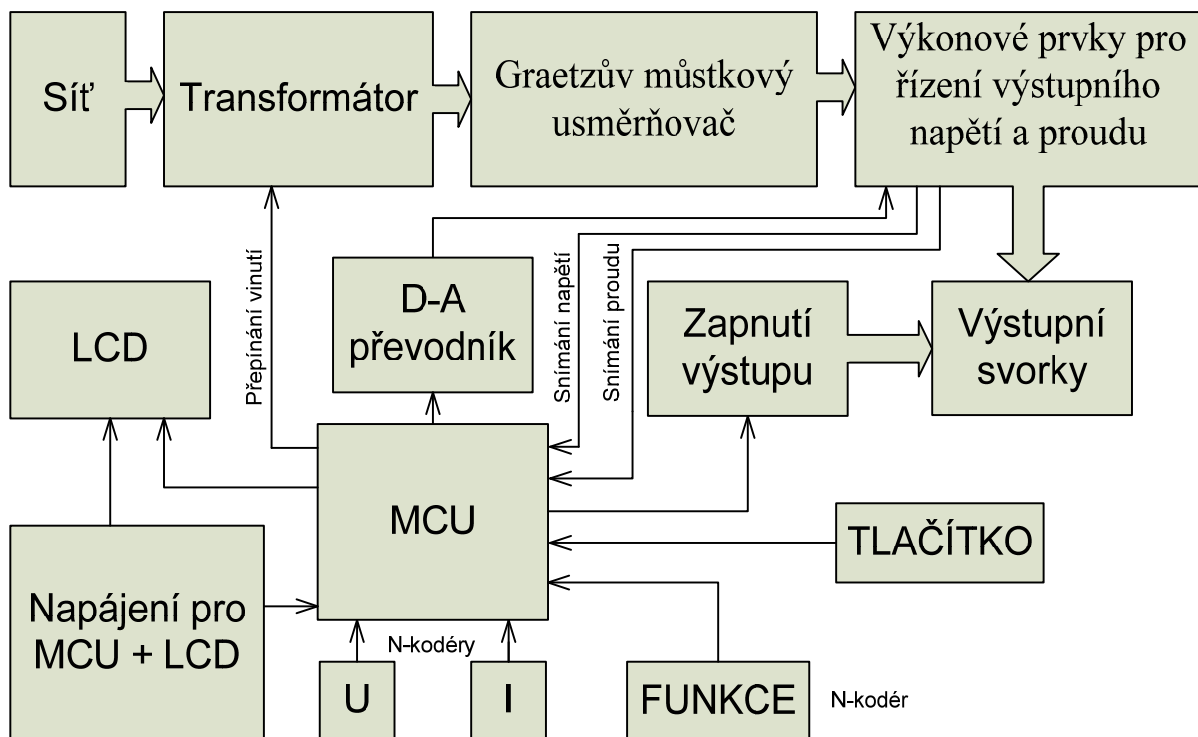
Obr. 13: Struktura asynchronního rámce [5].

3 NÁVRH ZAPOJENÍ LABORATORNÍHO ZDROJE

Při návrhu elektronického zařízení musí být stanoveno, k čemu toto zařízení bude používáno. Stejně je tomu i u laboratorního zdroje. Účel daného elektronického zařízení je spojen s jeho návrhem a také s jeho vlastnostmi. Hodně věcí, které jsou vyrobeny, se dají pořídit ve stejné, ne-li ve vyšší kvalitě.

3.1 Základní popis a blokové schéma

Síťové napětí 230V je přivedeno do primárního vinutí transformátoru. K sekundárnímu vinutí je připojen Graetzův můstkový usměrňovač. Kvůli ztrátovému výkonu na výkonovém tranzistoru je nutné použít transformátor se sekundárními. Bylo na výběr ze dvou možností. Jestli použít transformátor se čtyřmi sekundárními odbočkami, nebo použít 4 na sobě navzájem nezávislé transformátory. Byla vybrána první možnost, použití transformátoru s více sekundárními odbočkami. Čtyři transformátory zaberou více místa a celý zdroj by měl také větší hmotnost. Přepínání sekundárních odboček ovládá mikroprocesor pomocí tranzistorů, které ovládají jednotlivá relátka. Mikroprocesor pomocí vnitřního A/D převodníku snímá přes dělič výstupní napětí. Díky této zpětné vazbě děliče komunikuje s obvody, které výkonově ovládají výstupní výkon pomocí D/A převodníku. Jako výkonové prvky jsou zde zastoupeny tranzistory. Pomocí nich se ovládá výstupní napětí můstkového usměrňovače. LCD zobrazuje výstupní napětí, odebíraný proud, nastavení proudové ochrany, odebíraný výkon, informaci o zapnutí výstupních svorek a další funkce potřebné k ovládání laboratorního zdroje.



Obr. 14: Blokové schéma laboratorního zdroje.

Je nutno také vybrat vhodný mikroprocesor, který bude celý laboratorní zdroj ovládat. Zde je uveden přehled výhod a nevýhod jednotlivých druhů mikroprocesorů pro funkční realizaci celého zařízení.

Výhody	Nevýhody
Větší počet pinů	Vyšší cena
Vše v jednom pouzdře	Větší rozměry pouzdra
Velké paměť programu	Pouze pouzdro TQFP, QFM
Více externích přerušení	

Tab. 5: Zhodnocení mikroprocesoru ATmega128.

Výhody	Nevýhody
Menší rozměry pouzdra	Menší instrukční sada
Nižší cena	Menší počet pinů
Pouzdro DIL (možnost vložení do patice)	Menší programová paměť

Tab. 6: Zhodnocení mikroprocesoru ATtiny13.

Byly zohledněny hlavní tři oblasti, na které se práce zaměřuje a poskytne možnost regulace výstupního napětí a proudu. Je zde zohledněno několik hledisek, včetně těch finančních a relativně spolehlivějších. Možnosti, ze kterých bylo vybíráno, jsou uvedeny níže i s vysvětlením jejich funkcí. Hlavní kritérium spočívalo ve výběru regulace, pomocí které, bude celý laboratorní zdroj ovládán jednočipovým 8 – bitovým mikroprocesorem. Regulace musí být také dostatečně rychlá pro změnu výstupního napětí a proudu např. při setrvačné zátěži nebo při zkratování výstupních svorek.

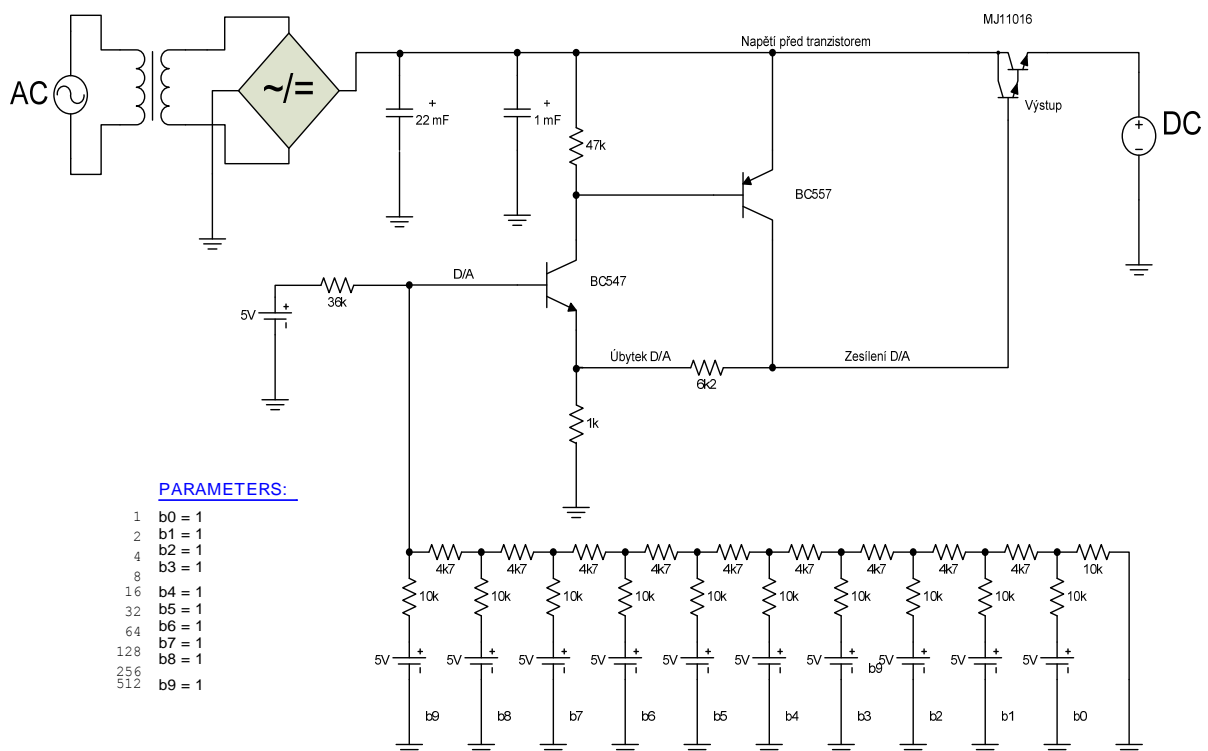
- Laboratorní zdroj řízený OZ, který má v prvním diferenčním vstupu napětí zpětné vazby a v druhém diferenčním vstupu potenciometr, který řídí stabilizaci.
- Laboratorní zdroj řízený pomocí mikroprocesoru, který ovládá výkonové tranzistory pomocí pulzně šířkové modulace (PWM).
- Laboratorní zdroj řízený pomocí mikroprocesoru, který ovládá výkonové tranzistory pomocí D/A převodníku

Byla vybrána třetí možnost a to z toho důvodu, že veškerá regulace v laboratorním zdroji probíhá pomocí mikroprocesoru, který ovládá výkonové tranzistory pomocí D/A převodníku AD5627. Jedná se o 16 bitový D/A převodník. Poskytuje až 65536 různých hodnot výstupního napětí. Což je dostačující přesnost regulace výstupního napětí. Se zvyšujícím se výstupním proudem klesá výstupní napětí. Řádově od stovky miliampér, může napětí klesnout o několik voltů. Výstupní napětí se dá do určitého výstupního proudu vrátit do původní hodnoty a to právě softwarově pomocí AD5627. V dalších kapitolách je funkce celého zařízení popsána podrobněji.

3.2 Simulace v programu P-SPICE

Simulační programy pro návrh elektronických zařízení se dnes využívají zcela běžně. Ovšem neexistuje program, který vždy vypočítá a zaručí správný výsledek. Při analýze musí být znám model prvku a také jeho omezení pro reálnou funkci. Začátkem každého návrhu je specifikace zařízení. Pro jaké účely bude používáno, kolik bude jeho celková cena apod. Poté přichází samotný návrh a na tento návrh navazuje simulace. Simulace řekne velmi mnoho. Podle ní se rozhodne, jestli dané zařízení vyhovuje. Jestli vyhovuje, realizuje se a potom se testuje fyzicky např. ve specializované laboratoři.

Tento laboratorní zdroj je simulovaný v programu OrCAD P-SPICE. Jako D/A převodník je použit „R-2R“ žebřík. Jde vlastně o síť odporů. Porty mikroprocesoru jsou nahrazeny VDC zdroji. Jestliže je nějaký VDC zdroj aktivován přispívá k celkovému proud, který otevírá tranzistor BC 547. Samostatný zdroj VDC s odporem 36 k Ω nastavuje pracovní bod tranzistoru BC547. Parametr b0 - b9 slouží k nastavení výstupního napětí pomocí 10bitového slova. Na každém tranzistoru vzniká úbytek, který z celkového možného výstupního napětí D/A převodníku 5 V, klesne za tranzistorem zhruba o 0,6 V na 4,4 V. Proto musí být nastaven zesilovací činitel napětí na 7x pomocí odporů 6,2 k Ω a 1 k Ω . Pro maximální výstupní napětí 30V je to nutné. Takto zesílené napětí otevře Darlingtonův tranzistor. Na výstupu dostáváme námi nastavené napětí pomocí D/A. Toto zapojení slouží pouze k simulaci celého zařízení. Jedná se o tzv. „teoretické hodnoty výsledků“, které se budou od reálných výsledků v určitém intervalu lišit.

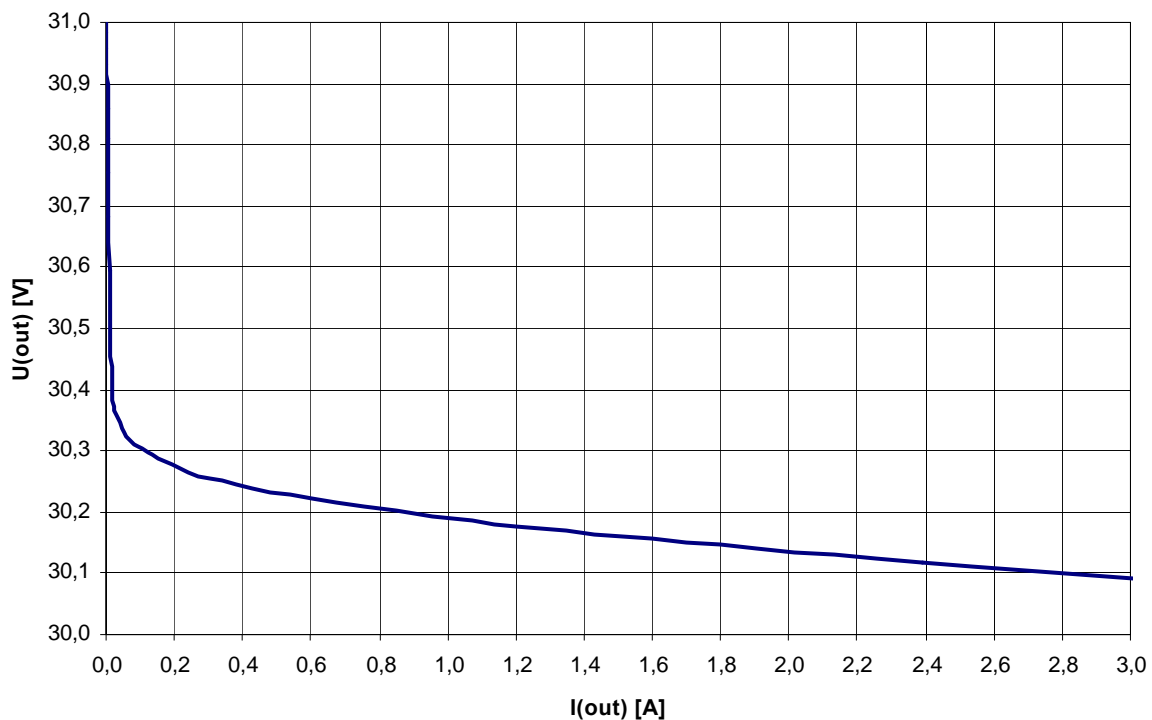


Obr. 15: Zapojení obvodu pro simulaci v P-SPICE.

3.2.1 Výsledky simulace

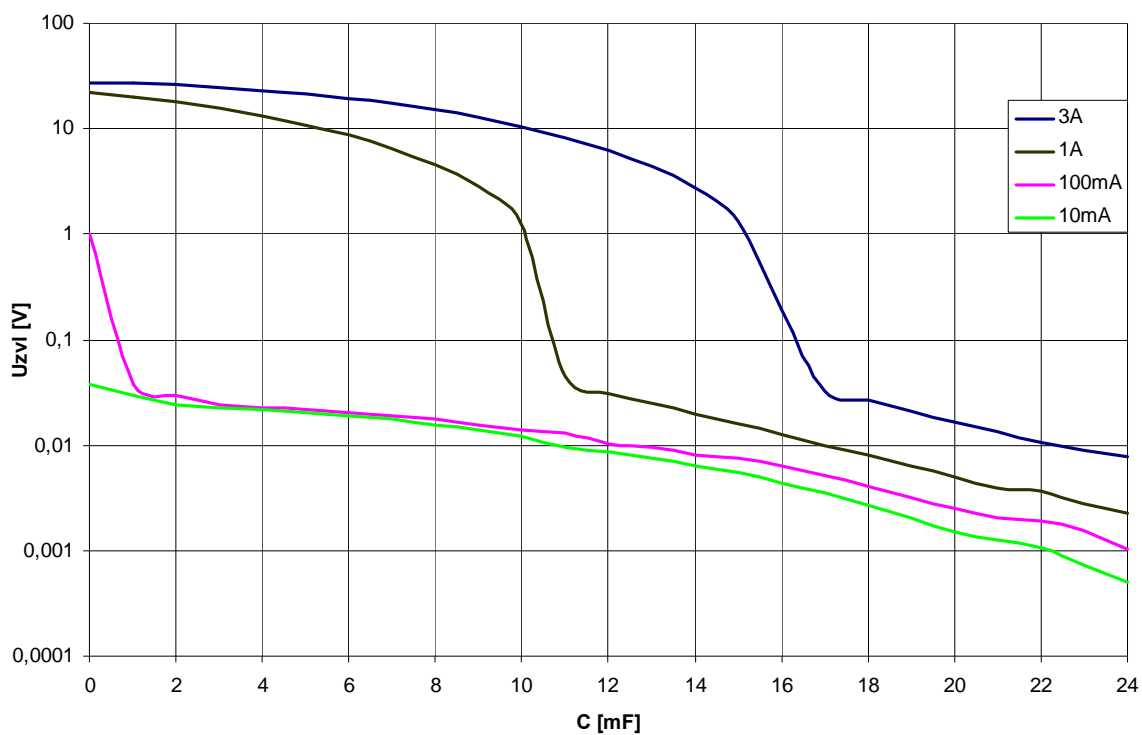
Téměř u každé elektronického zařízení si můžeme změřit vstupní, přenosové, impedanční, výstupní a další charakteristiky. Podle těchto charakteristik si ověříme, jestli dané zařízení správně funguje a nevykazuje určité námi nechtěné vlastnosti.

Mezi základní vlastnosti každého napájecího zdroje se řadí zatěžovací charakteristika výstupního napětí na výstupním proudu. Při zvyšujícím se výstupním proudu klesá výstupní napětí řádově ve stovkách mV. Pokles výstupního napětí závisí na výkonu transformátoru, můstkovém usměrňovači, filtračním prvku, tranzistoru a nejvíce na zatěžovacím rezistoru (impedanci). Graf na obr. 16 je ideální z programu PSpice. V reálném případě může zatěžovací charakteristika lineárního laboratorního zdroje dosahovat jiného průběhu závislosti výstupního napětí na výstupním proudu díky fyzikálním vlastnostem součástek.

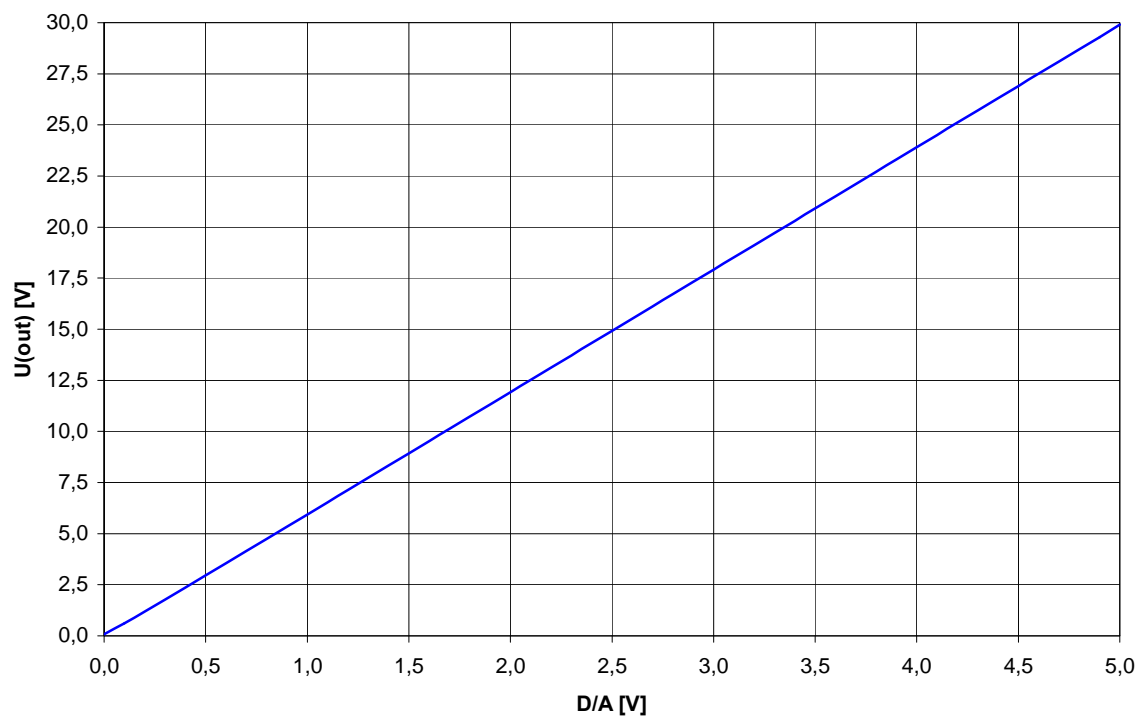


Obr. 16: Závislost výstupního napětí na výstupním proudu.

Usměrnění střídavého napětí na napětí stejnosměrné není ideální. Za usměrňovacím prvkem vzniká střídavá složka, která je superponována na stejnosměrné napětí. Tato střídavá složka je nazvána „zvlnění výstupního napětí“. Pro zmenšení zvlnění se používá za usměrňovacím prvkem vždy filtr. Obr. 17 ukazuje vliv filtračního kondenzátoru a výstupního proudu na kvalitu zvlnění výstupní napětí. Jedná se ovšem o „ideální případ“ vytvořený pomocí programu PSpice. Na obr. 18 je zobrazena převodní charakteristika $U_{D/A}$ na U_{Out} . Napětí z D/A převodníku reguluje výstupní napětí.



Obr. 17: Závislost zvlnění na filtr. kondenzátoru, při změně výstupního proudu.



Obr. 18: Závislost výstupního napětí na napětí z D/A převodníku.

3.3 Volba součástek

Pro všechna elektronická zařízení je nutná správná volba součástek. Součástky by měly mít malé rušení, odběr proudu, rozměry, hmotnost a také z ekonomického hlediska co nejmenší cenu. Dnes hraje cena velmi zásadní roli, která je při návrhu vždy vnímána jako stěžejní. Tím nejsou myšleny rezistory, kondenzátory, cívky, běžné diody, tranzistory apod. Jedná se především o integrované obvody, jako jsou mikroprocesory, operační zesilovače a paměti. Další součástky, jako komponenty bezdrátové techniky, LCD displeje, snímače elektrických i neelektrických veličin.

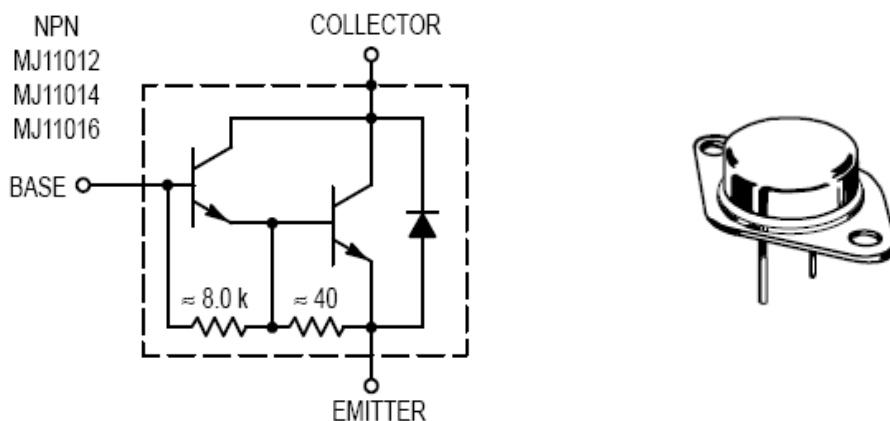
3.3.1 Výkonový NPN Darlingtonův tranzistor MJ11016

Důležitá součástka pro funkci celého laboratorního zdroje je právě výkonový prvek. Důležité parametry výkonového tranzistoru jsou maximální proud kolektoru, napětí mezi kolektorem a emitorem, maximální výkon, zesilovací činitel a také např. maximální teplota čipu tranzistoru. Tyto parametry jsou uvedeny v tab. 7.

Parametry	Hodnota
Proud kolektoru I_c	30 A
Napětí kolektor – emitor	120 V
Max. výkon P_d	200 W
Zesilovací činitel h_{21}	200 - 4500
Max. teplota čipu	+200 °C
Pouzdro	TO3

Tab. 7: Parametry tranzistoru MJ11016.

Na tranzistoru vzniká úbytek mezi kolektorem a emitorem $U_{ce} = 3 V$. Darlingtonův tranzistor potřebuje také větší napětí báze – emitor ($U_{be} = 1,4 V$) aby se otevřel a správně pracoval. Ovšem to má za následek také větší úbytek $U_{be} = 1,4 V$.



Obr. 19: Vniřní zapojení a pouzdro tranzistoru MJ11016 [7].

3.3.2 N – kodér P-RE30S

Inkrementální mechanická čidla polohy (N-kodéry) se používají pro ovládání elektronických zařízení. Jedná se např. o mikrovlnné trouby, autorádia, hi-fi soustavy, měřicí přístroje a mnohá jiná zařízení. Inkrementální čidlo je jakýsi digitální potenciometr, který nemá koncové polohy tzn. „můžeme s ním točit kolem dokola“.

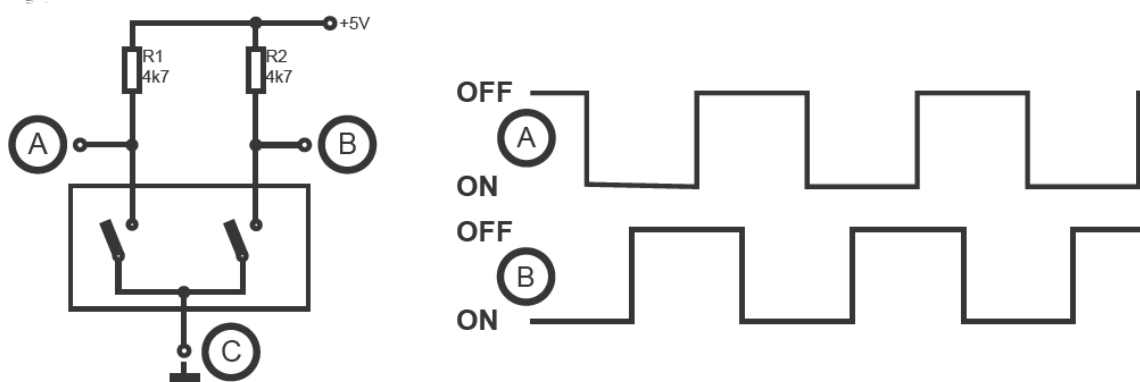
P-RE30S lze snadno připojit k mikroprocesoru. Obsahuje dva výstupy pro polohy otočení a jedno axiální „potvrzovací“ tlačítko. Generuje digitální signály, které mikroprocesor snadno vyhodnotí. P-RE30S neobsahuje žádné polovodiče a vše je řešeno mechanicky. Když otočíme o jeden krok, vygeneruje dva signály obdélníkového průběhu vzájemně fázově posunuté o 90°. Krok je jedna perioda. Mikroprocesor vyhodnocuje jaká je log. hodnota např. signálu A při sestupné nebo nástupné hraně log. signálu B. Čidlo v klidu má na obou výstupech log. 1.

1) Vlastnosti inkrementálního čidla

- Kvalita
- Mechanická odolnost
- Široký rozsah pracovních teplot
- Dlouhodobá stálost parametrů
- Nízká cena
- Axiální „potvrzovací“ spínací kontakt

2) Parametry inkrementálního čidla

- Proud kontakty max. 10 mA a min. 1 mA
- 30 kroků na 360° (jedno otočení)
- Životnost 15000 otočení
- Doba zákmitu kontaktu 5 ms

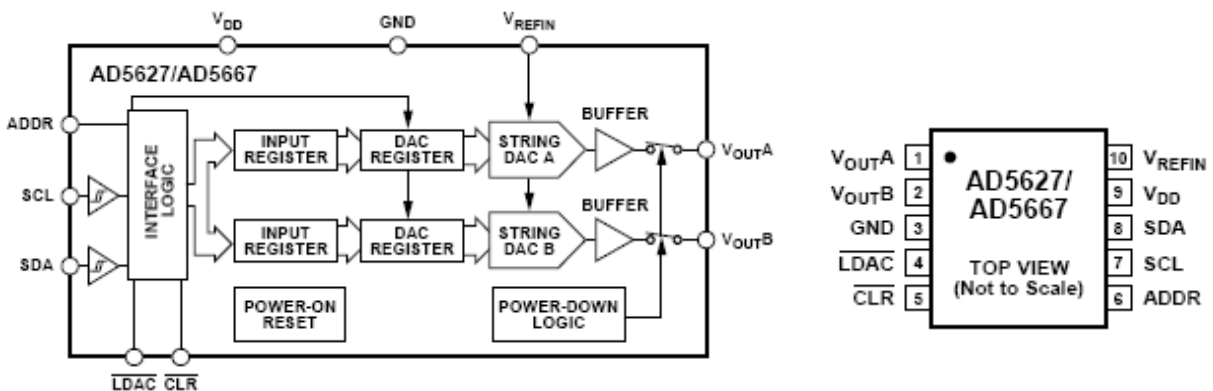


Obr. 20: Zapojení a výstupní průběhy inkrementálního rotačního čidla [8].

3.3.3 D/A převodník AD5627

Digitálně analogový převodník je elektronická součástka, která převádí digitální signál reprezentovaný posloupností binárních čísel na analogový signál. Nejčastěji se jedná o rekonstrukci původního spojitého analogového signálu, který se převedl do digitální formy z důvodu záznamu, zpracování a různých výpočtů přenosu.

Existuje mnoho druhů D/A převodníků. Pro účel laboratorního napájecího zdroje je zapotřebí hlavně velmi rychlý D/A převodník. Byl vybrán AD5627, který je navíc i velmi levný, jednoduchý a jednoduše připojitelný k mikroprocesoru. D/A převodník AD5627 se ovládá pomocí sběrnice I2C. K mikroprocesoru je připojen pomocí dvou pinů, po kterých probíhá veškerá komunikace. Převodník nabízí výběr mezi 12., 14. až 16. bitovým krokem. Výstupní napětí D/A převodníku je proto velmi přesné. V této práci byl využit D/A převodník s 12. bitovým krokem.



Obr. 21: Vniřní zapojení a pouzdro D/A převodníku AD5627 [9].

K převodníku je nutné připojit referenční napětí, napájecí napětí, a také k jeho výstupu připojit zařízení, které bude D/A převodník ovládat. Před vlastním ovládáním výstupního napětí je potřeba D/A převodník nastavit na správnou komunikaci, jako je výběr módu, výběr výstupu a také adresa zařízení. Mikroprocesor posílá po sběrnici I2C hodnoty reprezentující dekadický ekvivalent. Pro 12. bitový převodník jsou to hodnoty (0 – 4095). Tyto hodnoty jsou podle vzorce (4.1) reprezentovány jako výstupní napětí.

$$U_{Out} = U_{REFIN} \cdot \left(\frac{D}{2^N}\right) \quad (4.1)$$

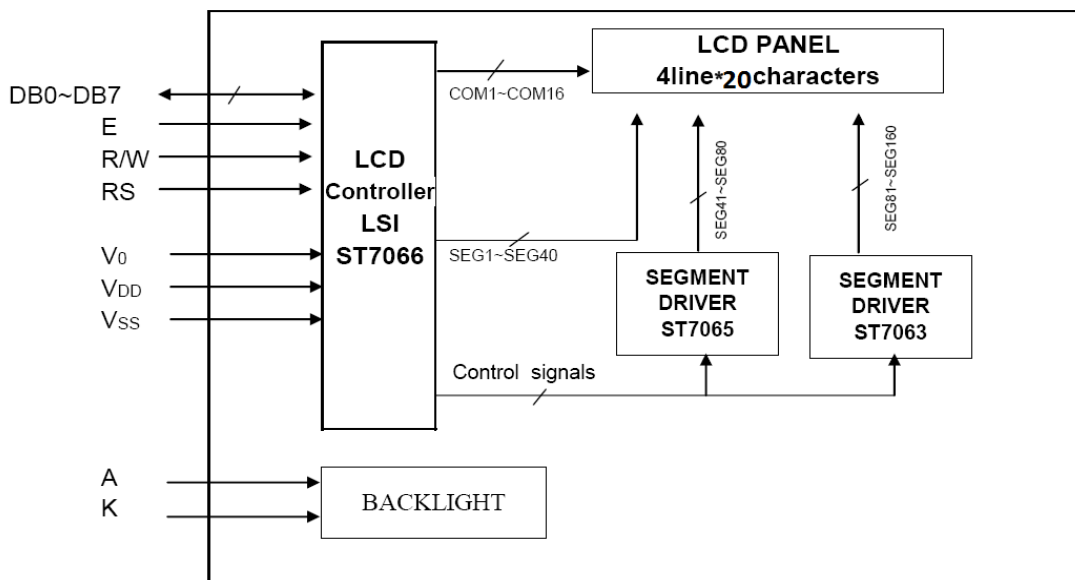
DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
R	S	C2	C1	C0	A2	A1	A0	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X	X	X	X
RESERVED	BYTE SELECTION	COMMAND			DAC ADDRESS			DAC DATA						DAC DATA									
COMMAND BYTE							DATA HIGH BYTE							DATA LOW BYTE									

Obr. 22: Příkazový a datový byte pro komunikaci mezi MCU a D/A převodníkem [9].

3.3.4 LCD display MC2004B-SBL/H

Zobrazovače jsou důležitou částí elektronických zařízení. Slouží pro zobrazení různých elektronických údajů. Nabídka zobrazovačů sahá od jednoduchých numerických, alfanumerických, LCD až po grafické zobrazovače. Vyžaduje se od nich dobrá čitelnost a to z různých úhlů a také vzdáleností. Samozřejmě také spolehlivost a možnost připojení na různé sběrnice a komunikační systémy.

V diplomové práci je použit MC2004B-SBL/H (modrý). Jedná se o znakový zobrazovač. Pokud je potřeba zobrazovat pouze jednoduché údaje obsahující text, číslice nebo jednoduché symboly, je zbytečné a drahé používat grafické displeje. Pro zobrazující znaky jsou pevně určena místa zobrazení. Jeden znak v tomto displeji je zobrazen v matici 5x8 bodů. Je možno vedle sebe zobrazit dvacet znaků ve čtyřech řádcích.



Obr. 23: Blokový diagram zapojení LCD displeje [21].

LCD se vyrábí ve formě modulu, ve kterém je již obsažen integrovaný obvod řadiče. Jako řadič se nejčastěji používá HITACHI HD44780. Dekóduje znaky a dynamicky obnovuje zobrazované informace LCD. Řadič obsahuje paměť RAM, do které se zapisují ASCII znaky, které se mají zobrazit. Pomocí paralelního rozhraní jsou posílány znaky do řadiče[10].

Řídící a datové signály displeje: Řadič obsahuje paměť pro všechna zobrazovaná místa a dekodér zobrazovaných znaků obsahuje tyto vstupy:

- R/W(Read/Write): určuje, zda se jedná o čtení (R/W = 1) zápis (R/W = 0)
- E: určuje platnost dat na sběrnici
- RS(Register Select): určuje, zda se jedná o data (RS = 1) nebo o instrukci (RS = 0)
- D0-D7: datová sběrnice
- VSS: zemní potenciál, VDD: napájení řadiče, VEE: podsvícení

3.4 Detailní řešení laboratorního zdroje

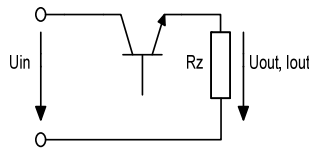
Detailní návrh obsahuje veškeré postupy, výpočty, odvození a také hlubší zamyšlení nad danou problematikou. Zahrnuje možnosti nejlepšího řešení, jak z hlediska volby součástek, výkonových ztrát, miniaturizace, tak i z ekonomických důvodů.

3.4.1 Chladič pro výkonový prvek

Při přenosu a transformaci energie dochází ke ztrátám, protože část energie se mění na tepelnou energii. S tepelnou energií stoupá teplota, se změnou teploty se tedy mění parametry součástky. Překročením určité meze se zvyšuje možnost poškození samotné součástky. Křemíkové tranzistory mají max. teplotu polovodiče 125 °C – 200 °C. Hodnota bývá uvedena v katalogu součástky. Nežádoucí tepelnou energii je nutné odvést do okolí. K odvodu tepelné energie do okolí slouží chladiče.

Maximální ztrátový výkon P_z laboratorního zdroje bude v extrémním případě 105 W. Tento případ, nastane, když bude výstupní napětí 0 V (zkrat) a výstupní proud 3 A.

$$P_z = (U_{in} - U_{out}) \cdot I_{out} = (35 - 0) \cdot 3 = 105 \text{ W} \quad (4.3)$$



Obr. 24: Principiální schéma pro výpočet ztrátového výkonu.

Bezpečnostní předpisy uvádí, že části přístupné dotyku nemají přesáhnout teplotu 60 °C. Normální podmínky v mírném pásmu počítají s teplotou okolí maximálně $\vartheta_o = 35$ °C. Teplota ovšem platí pro chladiče umístěné na vnější (většinou zadní) stěně přístroje. Chladiče umístěné uvnitř přístroje pracují s větší teplotou okolí 40 – 45 °C. Při výpočtu se vychází s max. teploty chladiče $\vartheta_{ch} = 60$ °C a max. teploty čipu polovodiče 200 °C.

$$\vartheta_{ch} = \vartheta_o + R_{\vartheta_{ch}} \cdot P_z \quad (4.4)$$

$$R_{\vartheta_{ch}} = \frac{\vartheta_{ch} - \vartheta_o}{P_z} = \frac{60 - 35}{105} = 0,24 \text{ K/W} \quad (4.5)$$

Tepelný odpor chladiče $R_{\vartheta_{ch}}$, vychází značně malý. Chladič nelze prakticky realizovat, jeho rozměry, váha a cena by při realizaci takového chladiče byly značně vysoké.

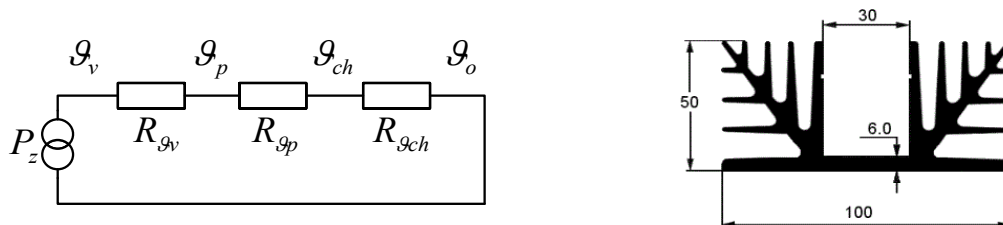
Při realizace musíme změnit některý z parametrů rovnice (4.5). Jako jediný parametr, který můžeme změnit je ztrátový výkon. Teplotu okolí ani dovolenou teplotu chladiče změnit nelze. Tepelný odpor chladiče $R_{\mathcal{G}_{ch}}$ závisí na ztrátovém výkonu P_z nepřímo úměrně. Snížením ztrátového výkonu výkonového prvku se zvýší tepelný odpor chladiče. Od výrobce chladičů [12] byl použit chladič CH 29/125 z důvodu jeho přijatelné ceny, přijatelných rozměru, hmotnosti a dostačujícího tepelného odporu. Chladič má udávaný tepelný odpor $R_{\mathcal{G}_{ch}}=0,7$ K/W. Příпустný ztrátový výkon P_z je vypočítán podle rovnice (4.6).

$$P_z = \frac{\mathcal{G}_{ch} - \mathcal{G}_o}{R_{\mathcal{G}_{ch}}} = \frac{60 - 35}{0,7} = 35,7 \text{ W} \quad (4.6)$$

Jako výkonový prvek byl použit NPN Darlingtonův tranzistor MJ11016. Maximální ztrátový výkon tranzistoru je 200 W a vnitřní tepelný odpor $R_{\mathcal{G}_v} = 0,87$ K/W. Celkový tepelný odpor $R_{\mathcal{G}_c}$ se vypočítá podle rovnice (4.7) a ověříme, jestli vyhovuje chladič CH 29/125. Celkový tepelný odpor je složen z několika dílčích tepelných odporů.

- $R_{\mathcal{G}_v}$ (polovodič – pouzdro), pro MJ11016 $R_{\mathcal{G}_v} = 0,87$ K/W
- $R_{\mathcal{G}_p}$ (pouzdro – chladič), pro izolační slídivou podložku s pastou $R_{\mathcal{G}_p} = 0,6$ K/W
- $R_{\mathcal{G}_{ch}}$ (chladič – okolí), vybraný typ CH 29/125 $R_{\mathcal{G}_{ch}} = 0,7$ K/W

$$R_{\mathcal{G}_c} = R_{\mathcal{G}_v} + R_{\mathcal{G}_p} + R_{\mathcal{G}_{ch}} \quad (4.7)$$



Obr. 25: Náhr. schéma tep. okruhu pro ustálený stav, profil chladiče CH29[11].

$$R_{\mathcal{G}_c} = \frac{\mathcal{G}_v - \mathcal{G}_o}{P_z} = \frac{200 - 35}{35,7} = 4,62 \text{ K/W}$$

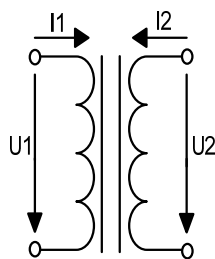
$$R_{\mathcal{G}_{ch}} = R_{\mathcal{G}_c} - R_{\mathcal{G}_p} - R_{\mathcal{G}_v} = 4,62 - 0,87 - 0,6 = 3,15 \text{ K/W}$$

Zvolený chladič CH 29/125 vyhovuje všem potřebným parametrům s dostatečnou rezervou. Teplota chladiče nepřekročí 60 °C a při ztrátovém výkonu 35,7 W na tranzistoru, chladič ztrátový výkon uchladí. Celkový tepelný odpor se sníží ze 4,62 K/W na 2,17 K/W při použití chladiče CH 29/125. Pro snížení ztrátového výkonu byl použit transformátor se sekundárními odbočkami, které se podle požadovaného výstupního napětí přepínají.

3.4.2 Síťový transformátor

Transformátor je základní elektrický netočivý stroj, který přenáší elektrickou energii z obvodu do jiného obvodu pomocí elektromagnetické indukce. Používá se k přeměně střídavého napětí, přitom však dochází i ke změně velikosti proudu. Jeho využití spočívá i pro galvanické oddělení obvodů.

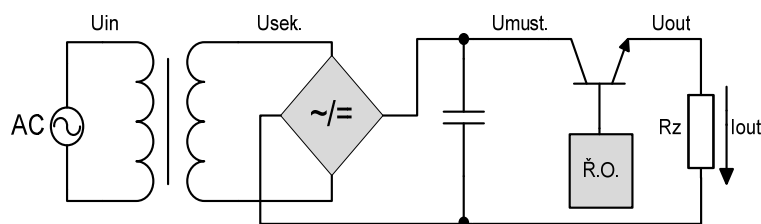
K návrhu síťového transformátoru jsou zapotřebí vstupní parametry. Hodnota síťového kmitočtu (50 Hz) a maximální hodnota magnetické indukce, která je povolena pro daný typ magnetického obvodu. Podle tvaru transformátorových plechů a uspořádání cívek rozdělujeme transformátory na jádrové, plášťové a speciální. Základem jsou dvě cívky (primární a sekundární) na uzavřeném železném jádře. Na primární vynutí je připojen zdroj střídavého napětí. Na sekundární vynutí je připojen spotřebič.



Obr. 26: Síťový transformátor [13].

Transformátor byl navržen s více sekundárními vinutími, kvůli menšímu ztrátovému výkonu regulačním prvku (tranzistoru). Laboratorní zdroj musí poskytovat napětí 30 V a proud do zátěže 3 A. Extrémní případ, který se bere v úvahu je, že na výstupu bude napětí 0 V (zkrat) a odebíraný proud bude 3 A. Při napětí 35 V na regulačním prvku, bude ztrátový výkon $P_z = 105 \text{ W}$ podle rovnice (4.3). Ztrátový výkon je regulován pomocí přepínání sekundárních vinutí. Napětí každého sekundárního vinutí je navrženo tak, že maximální ztrátový výkon na tranzistoru je $P_z = 35,7 \text{ W}$ podle rovnice (4.6).

- $U_{Out} = 0 - 30 \text{ V}$
- $I_{Out} = 0 - 3 \text{ A}$



Obr. 27: Principiální schéma pro výpočet sekundárního napětí transformátoru.

Návrh sekundárního napětí se řídí podle zadaných parametrů výstupního napětí a výstupního proudu. Saturační napětí výkonového tranzistoru je zhruba $U_{CE} = 3 \text{ V}$. Je zde uvažována rezerva $U_{Rez.} = 2 \text{ V}$, kvůli dynamické změně saturačního napětí tranzistoru U_{CE} při větším výstupním proudu I_{Out} a také je v této rezervě uvažované zvlnění výstupního napětí. Úbytek napětí na můstkovém usměrňovači uvažujeme při maximálním zatěžovacím proudu zhruba $U_{\Delta Must} = 2 \text{ V}$.

$$U_{SEK(ef.)} = \frac{U_{Out} + U_{CE} + U_{Rez.} + U_{\Delta Must}}{\sqrt{2}} = \frac{30 + 3 + 2 + 2}{\sqrt{2}} = 26,2 \text{ V} \quad (4.8)$$

Vypočítané sekundární napětí je pro maximální výstupní napětí $U_{Out} = 32 \text{ V}$. Kvůli menšímu ztrátovému výkonu je třeba vypočítat zbývající sekundární napětí $U_{SEK(Ef.)}$ podle vzorce (4.8). Maximální ztrátový výkon může být $P_z = 35,7 \text{ W}$.

$$P_z = (U_{Must.} - U_{Out}) \cdot I_{Out} \Rightarrow (U_{Must.} - U_{Out}) = \frac{P_z}{I_{Out}} = \frac{35,7}{3} = 11,9 \text{ V}$$

Rozdíl napětí $(U_{Must.} - U_{Out})$ podle obr. 27 může být maximálně 11,9 V. Napětí, bylo zvoleno s dostatečnou rezervou $(U_{Must.} - U_{Out}) = 11 \text{ V}$. Max. ztrátový výkon bude $P_z = 33 \text{ W}$.

Max. napětí $U_{Must.}$ [V]	Rozsah napětí U_{Out} [V]	Sek. napětí $U_{SEK(Ef.)}$ [V]
11	(0-8)	9,2
19	(8-16)	14,9
27	(16-24)	20,5
35	(24-32)	26,2

Tab. 8: Vypočtené hodnoty sekundárních vinutí transformátoru.

Sekundární napětí jednotlivých vinutí, byly spočítány podle vzorce (4.8). Maximální napětí na výstupu bude $U_{Out} = 32 \text{ V}$. Sekundární napětí se zvyšují s krokem 5,7 V. Při změně rozsahu napětí, dojde k přepnutí mezi sekundárními vinutími. Důležitý parametr transformátoru je také primární příkon. Počítá se sekundární odbočka s největším napětím.

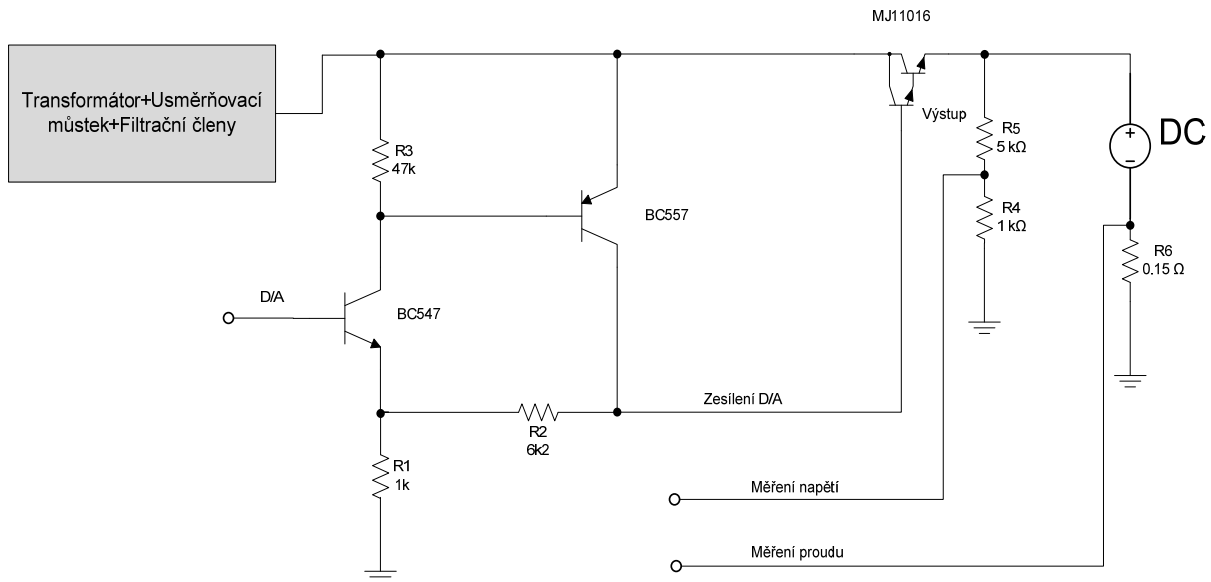
$$P_{výst.} = U_{Výst1} \cdot I_{výst1} + U_{Výst2} \cdot I_{výst2} + \dots + U_{Výstn} \cdot I_{výstn} = 26,2 \cdot 3 = 78,6 \text{ VA}$$

$$P_{Vst} = \frac{P_{výst.}}{\eta} = \frac{78,6}{0,8} = 98,25 \text{ VA}$$

Primární příkon byl zvolen 100 VA s určitou rezervou, kde účinnost η byla zvolena 0,8.

3.4.3 Ovládání výstupního napětí a proudu

Řídit výstupní napětí a proud přímo mikroprocesorem není možné. Mikroprocesor nedokáže dát potřebný proud a dostatečně velké napětí na řízení výkonového tranzistoru. D/A převodník, který je připojený k mikroprocesoru poskytuje napětí max. 5 V. Napětí, je nutné zesílit na max. hodnotu 30 V. Výkonový tranzistor, musí být schopen dodat do zátěže 0 - 3 A.



Obr. 28: Zapojení pro řízení výstupního napětí.

Tranzistor MJ11016 disponuje proudovým zesilovacím činitelem $h_{21} = 1000$, při výstupním proudu 20 A. Pro výstupní proud $I_c = 3 A$ je do báze tranzistoru MJ11016 potřeba dodat max. proud $I_b = 3 mA$ podle rovnice (4.9).

$$I_b = \frac{I_c}{h_{21}} = \frac{3}{1000} = 3 mA \quad (4.9)$$

Tranzistory BC557, BC547 jsou bez problému schopny dodat do báze tranzistoru MJ11016 potřebný proud $I_b = 3 mA$. Rezistor R3 spojuje bázi tranzistoru BC557 s jeho emitorem, díky tomu zůstává tranzistor BC557 bezpečně zavřený. Rezistory R1 a R2 jsou spojeny přes GND k bázi tranzistoru MJ11016, drží ho uzavřený. Tranzistor MJ11016 se neotevře, pokud se neotevře tranzistor BC557. Tímto jsou potlačeny nežádoucí jevy jako oscilace nebo napěťové špičky při zapnutí přístroje. Přivedením napětí s D/A převodníku se začne otvírat NPN tranzistor BC547. Zvětšující se napětí D/A převodníku otvírá více tranzistor BC547, kde je na kolektor toho tranzistoru připojena báze PNP tranzistoru BC557. Otevřený tranzistor BC547 zmenšuje napětí na bázi tranzistoru BC557 vůči emitoru a tím tento tranzistor více otvírá a přivádí proud do báze tranzistoru MJ11016. K zesílení napětí slouží rezistory R1 a R2 jako napěťový zesilovací činitel podle vzorce (4.10).

$$NZ\check{C} = \frac{R1 + R2}{R1} = \frac{1k + 6k2}{1k} = 7,2 \quad x \quad (4.10)$$

Napět'ový zesilovací činitel (NZČ) je důležitý element celého řídicího bloku. Udává, jakou hodnotou musí být zesílené napětí D/A převodníku. NZČ se chová jako dělič napětí, podle kterého se řídí zesílení napětí z D/A převodníku. Výstupní napětí závisí na napětí D/A převodníku, NZČ a úbytku napětí mezi $\Delta U_{BE_{MJ11016}}$ tranzistoru MJ11016 a úbytku napětí $\Delta U_{BE_{BC547}}$ BC547 podle rovnice (4.11).

$$U_{Out} = (U_{D/A} - \Delta U_{BE_{BC547}}) \cdot NZ\check{C} - \Delta U_{BE_{MJ11016}} \quad (4.11)$$

$$U_{Out} = (5 - 0,6) \cdot 7,2 - 1,2 = 30,48 \text{ V}$$

Pro max. hodnotu výstupního napětí se počítá s napětím D/A převodníku 5 V. Úbytek napětí $\Delta U_{BE_{BC547}}$ tranzistoru je asi 0,6 V. Úbytek napětí $\Delta U_{BE_{MJ11016}}$ Darlingtonova tranzistoru je asi 1,2 V. Výsledné maximální výstupní napětí je $U_{Out} = 30,48 \text{ V}$. Výstupní napětí se měří přes odporový dělič. Hodnoty rezistoru v děliči jsou zvoleny, aby jejich dělicí poměr (DP) byl nastaven na 6x menší hodnotu než je výstupní napětí, kvůli schopnosti mikroprocesoru změřit maximální napětí 5 V. Hodnoty jsou zvoleny podle rovnice (4.12).

$$DP = \frac{R4 + R5}{R4} = \frac{5k + 1k}{1k} = 6x \quad (4.12)$$

Mikroprocesor vyhodnocuje aktuální hodnotu napětí a proud. Jestliže se nastavené napětí liší od aktuálního změřeného, dojde ke snížení nebo zvýšení hodnoty napětí D/A převodníku. Dělič napětí funguje jako zpětná vazba pro zjištění aktuálního výstupního napětí a výstupního proudu [14].

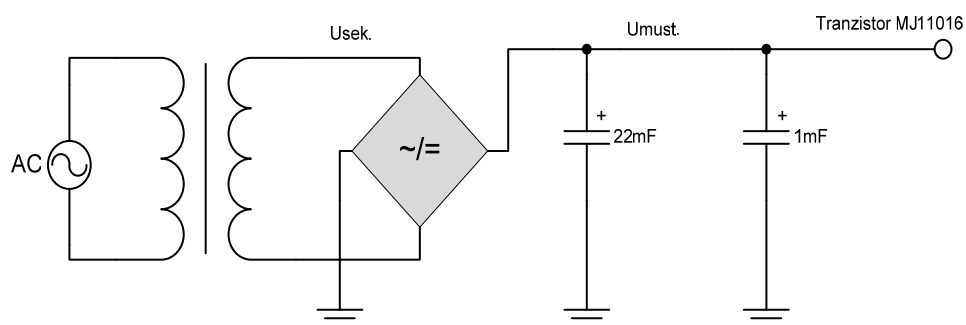
Výstupní proud se měří jako úbytek malého napětí na malém rezistoru R6, který je připojen na výstupu. Podle úbytku napětí se nastaví proudové omezení. Jestliže proud překročí nastavenou mez, sníží se napětí D/A převodníku a tím i výstupní proud. Hodnota rezistoru $R6 = 0,15 \Omega$. Je to ideální případ pro snadný převod výstupního proudu na malé napětí. Výstupní proud se spočítá podle rovnice (4.13).

$$I_{Out} = \frac{\Delta U_{R6}}{R6} = \frac{0,5}{0,15} = 3 \text{ A} \quad (4.13)$$

Rezistor R6 musí být ovšem výkonový, protože na něm vzniká velký ztrátový výkon. Při max. výstupním proudu bude $\Delta U_{R6} = 0,45 \text{ V}$. Mikroprocesor toto napětí snadno zpracuje.

3.4.4 Usměrňovací můstek a filtrační členy

K přeměně střídavého síťového napětí na napětí stejnosměrné slouží Graetzův usměrňovací můstek. Na výstupu můstku se vyskytuje stejnosměrné pulzující napětí (zvlnění). Připojením filtračního kondenzátoru se zvlnění výrazně omezí. Větší kondenzátor sníží zvlnění stejnosměrného napětí, ale zvýší proudový náraz Graetzovým můstkem při zapnutí.



Obr. 29: Zapojení pro výpočet filtračního kondenzátoru.

Sekundární napětí je dáno vinutími transformátoru, která jsou spočítána, aby byl co nejmenší ztrátový výkon na výkonovém prvku. Graetzův můstkový usměrňovač byl zvolen s ohledem na výstupní proud a výstupní napětí. Jako vhodný můstek byl zvolen B250C10000DR s výstupní napětím 250 V, výstupním proudem 10 A a maximálním špičkovým napětím 600 V, při teplotě 50 °C. Úbytek napětí na můstku je max. 2 V [15].

Usměrněné napětí při použití kondenzátoru připojeného paralelně k zátěži může vykazovat větší hodnotu zvlnění, než je požadováno na výstupu lineárního stabilizovaného zdroje. Pro posouzení zvlnění je zaveden tzv. činitel zvlnění φ_{zv} , který je definovaný podle rovnice (4.14) a je uváděn v procentech [%].

$$\varphi_{zv} = \frac{U_{zv}}{U_{ss}} \cdot 100 = \frac{1,25}{30} \cdot 100 = 4,16 \text{ \%} \quad (4.14)$$

$$C = \frac{I \cdot t}{U_{zv}} = \frac{3 \cdot 0,01}{1,25} = 24 \text{ mF} \quad (4.15)$$

Kondenzátor se vypočítá podle rovnice (4.15). U_{zv} bylo zvoleno na 1,25 V, aby hodnota kondenzátoru nevyšla příliš vysoká. Hodnota U_{zv} byla počítána s ohledem na maximální proud 3 A a čas $t = 0,01$ s pro můstkové usměrnění. Činitel zvlnění udává, kolik procent ze získaného stejnosměrného napětí činí amplituda zbytkového střídavého napětí. Výkonový tranzistor MJ11016 dokáže potlačit výstupní zvlnění U_{zv} . Se zvlněním U_{zv} se mění vnitřní odpor tranzistoru a tím i jeho úbytek. Na výstupu je podstatně menší zvlnění U_{zv} .

4 REALIZACE LABORATORNÍHO ZDROJE

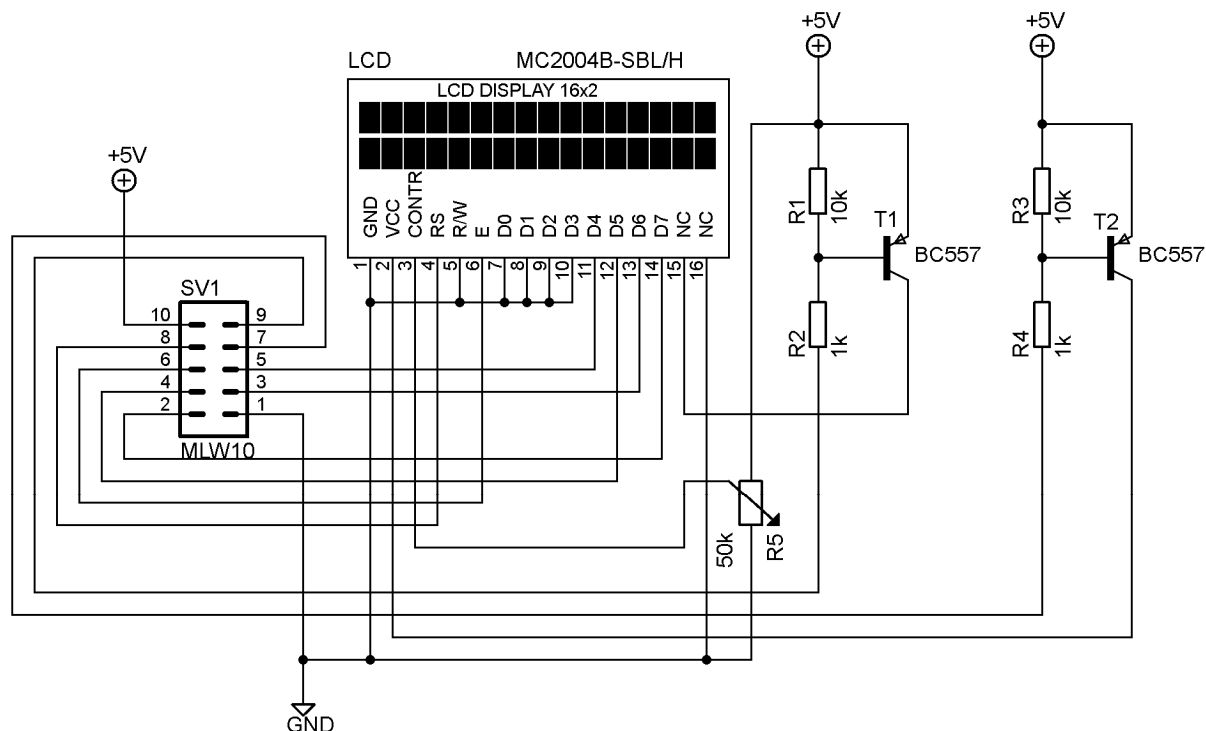
Konstrukce laboratorního zdroje se skládá ze tří částí. Ovládací část obsahuje mikroprocesor, který je řídicí jednotkou zařízení. Zajišťuje kompletní regulaci výstupního napětí a proudu, ovládá LCD display a ten zobrazuje požadované hodnoty. Inkrementálními čidly, která jsou připojena k mikroprocesoru, jsou nastaveny požadované hodnoty. Výkonová část zajišťuje usměrnění a filtraci napětí ze sekundárních odboček transformátoru. Dodává dostatečné napěťové a proudové zesílení k ovládní výkonového prvku a tímto i k ovládní výstupního napětí a proudu. Poslední částí je tzv. LCD modul, který zobrazuje požadované hodnoty potřebné ke komunikaci mezi uživatelem a laboratorním zdrojem.

4.1 Hardwarová část

Návrh této části je velmi důležitý pro správnou funkci zařízení. Obsahuje součástky, které jsou dostatečně proudově a napěťově dimenzovány. Druh součástek a jejich hodnoty jsou zvoleny, aby propojením ovládací a výkonové části vzniklo kompletní zařízení, které je schopné ovládat výstupní napětí a proud.

4.1.1 LCD modul

Displej je připojen k mikroprocesoru pomocí čtyřbitové sběrnice a tří řídicích vodičů. Potenciometr R5 slouží k nastavení kontrastu. Tranzistory T1 a T2 slouží pro ovládní napájení displeje a jeho podsvícení. LCD modul je propojen s ovládací částí pomocí MLW10.



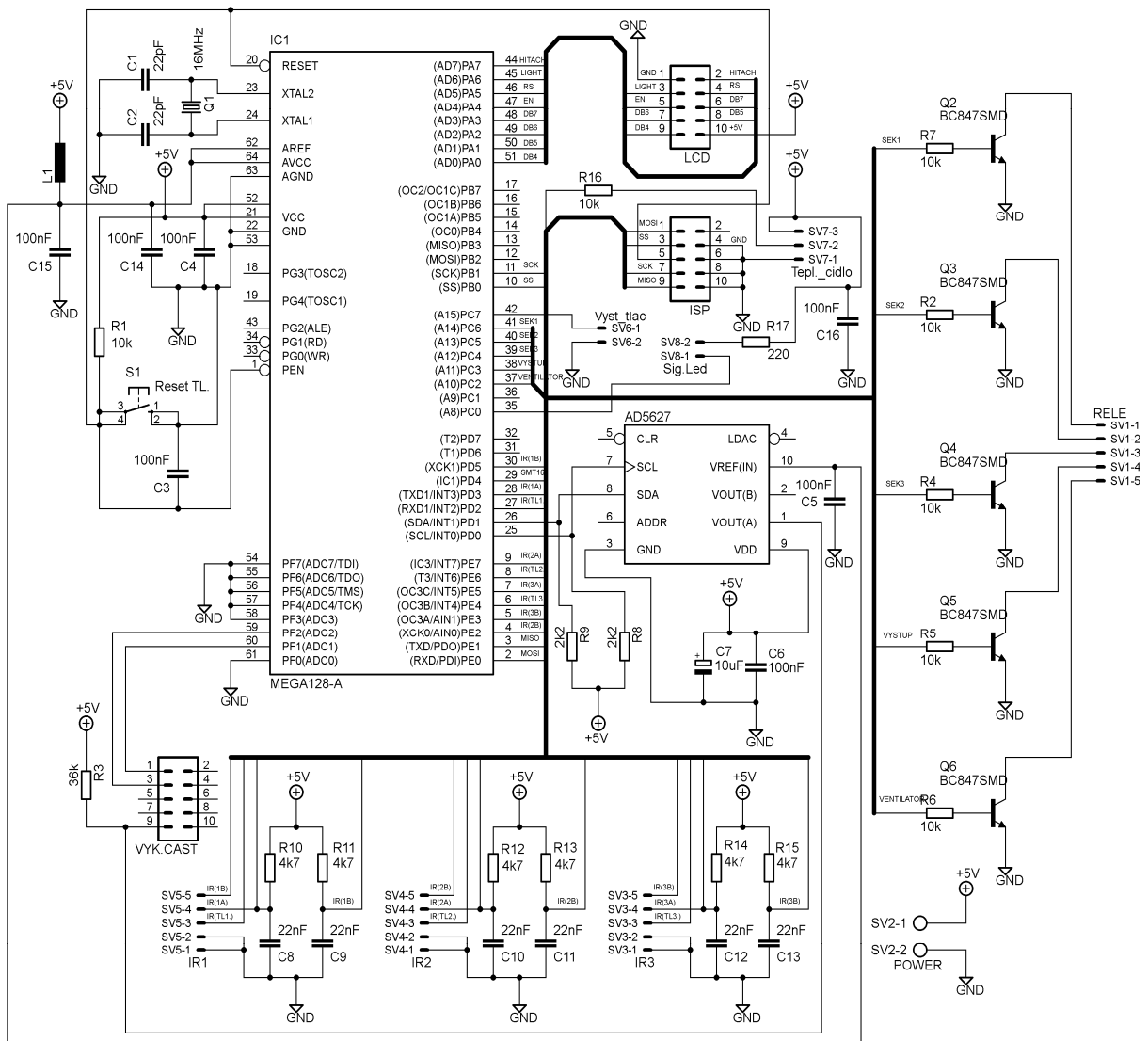
Obr. 30: Schéma LCD modulu.

4.1.2 Ovládací část

K mikroprocesoru ATMEGA 128 je připojen vnější krystal Q1 o hodnotě 16 MHz. Ke krystalu jsou připojeny kondenzátory C1 a C2. Mikroprocesor je napájen pomocí stabilizátoru L4940V05. Stabilizátor poskytuje napětí + 5V. Napětí je přivedeno z výkonové části do ovládací části pomocí dvoužilového vodiče přes konektor ARK500/2. Napájení mikroprocesoru je blokováno kondenzátorem C4.

Referenční napětí a napájení AD převodníku mikroprocesoru je přivedeno přes tlumivku L1 ze stabilizátoru L4940V05. Napětí pro referenci a napájení převodníku je blokováno pomocí kondenzátoru C14 a C15.

Resetovací vstup je připojen přes rezistor R1. K resetovacímu vstupu je také připojeno tlačítko S1. Při stisknutí tlačítka je přivedena nízká úroveň na resetovací vstup a tímto dojde k resetu celého mikroprocesoru.



Obr. 31: Schéma ovládací části laboratorního zdroje.

Programovací vodiče jsou vyvedeny na konektor MLW10 (ISP). ATMEGA 128 má ovšem jiné připojení SPI vodičů při ISP programování. Piny MISO a MOSI ISP programátoru se nepřipojují na piny MISO a MOSI mikroprocesoru, ale na piny TxD a RxD mikroprocesoru ATMEGA 128. Pin SCK je připojen stejně jak u nižších řad mikroprocesorů.

LCD displej je připojen k mikroprocesoru portu A již zmíněným konektorem MLW10. Vodiče pro přenos dat nebo instrukcí jsou připojeny k pinům PA0 – PA3. Mají označení DB4 – DB7. Povolení komunikace pin enable „E“ je připojen na pin PA4. Pin registr select „RS“ vybírá, jestli se přenáší po vodičích DB4 – DB7 instrukce nebo data pro LCD modul. Pin RS je připojen na pin PA5 mikroprocesoru. Piny PA6 a PA7 mikroprocesoru ovládají podsvícení a napájení řadiče LCD modulu.

Inkrementální čidla, P-RE30S jsou připojena na porty D a E mikroprocesoru. Výstup „A“ inkrementálního čidla „funkce“ „IR1“ je připojen na externí přerušeni INT3. Výstup „B“ je připojen na pin PD5. Výstup „C“ je připojen na zemnicí potenciál GND. Tlačítko inkrementálního čidla je připojeno na pin PD2 a zemnicí potenciál GND. Na výstupy „A“ a „B“ jsou připojeny pull-up rezistory R10 a R11. Zákmity výstupu „A“ a „B“ jsou hardwarově ošetřeny kondenzátory C8 a C9. Výstup „A“ inkrementálního čidla na ovládání výstupního napětí „IR2“ je připojeno na externí přerušeni INT7. Výstup „B“ je připojen na pin PE2. Výstup „C“ je připojen na zemnicí potenciál GND. Tlačítko inkrementálního čidla je připojeno na pin PE6 a zemnicí potenciál GND. Na výstupy „A“ a „B“ jsou připojeny pull-up rezistory R12 a R13. Zákmity výstupu „A“ a „B“ jsou hardwarově ošetřeny kondenzátory C10 a C11. Výstup „A“ inkrementálního čidla na ovládání výstupního proudu „IR3“ je připojen na externí přerušeni INT5. Výstup „B“ je připojen na pin PE3. Výstup „C“ je připojen na zemnicí potenciál GND. Tlačítko inkrementálního čidla je připojeno na pin PE4 a zemnicí potenciál GND. Na výstupy „A“ a „B“ jsou připojeny pull-up rezistory R14 a R15. Zákmity výstupu „A“ a „B“ jsou hardwarově ošetřeny kondenzátory C12 a C13.

D/A převodník AD5627 je připojen k mikroprocesoru pomocí dvou vodičů. Komunikace probíhá pomocí sběrnice I2C. Mikroprocesor má zabudované piny přímo na I2C komunikaci. Jedná se o piny portu D SDA(PD1) a SCL(PD0). K vodičům jsou připojeny jako pull-up rezistory R9 a R8. Převodník je napájen ze stabilizátoru L4940V05 přes tlumivku L1. Napětí je blokováno kondenzátorem C7 a C6. Na referenční vstup převodníku je přivedeno napětí ze stabilizátoru L4940V05 přes tlumivku L1 a blokováno kondenzátorem C5. Výstup převodníku „A“ je připojen na konektor MLW10, který spojuje výkonovou část s ovládací.

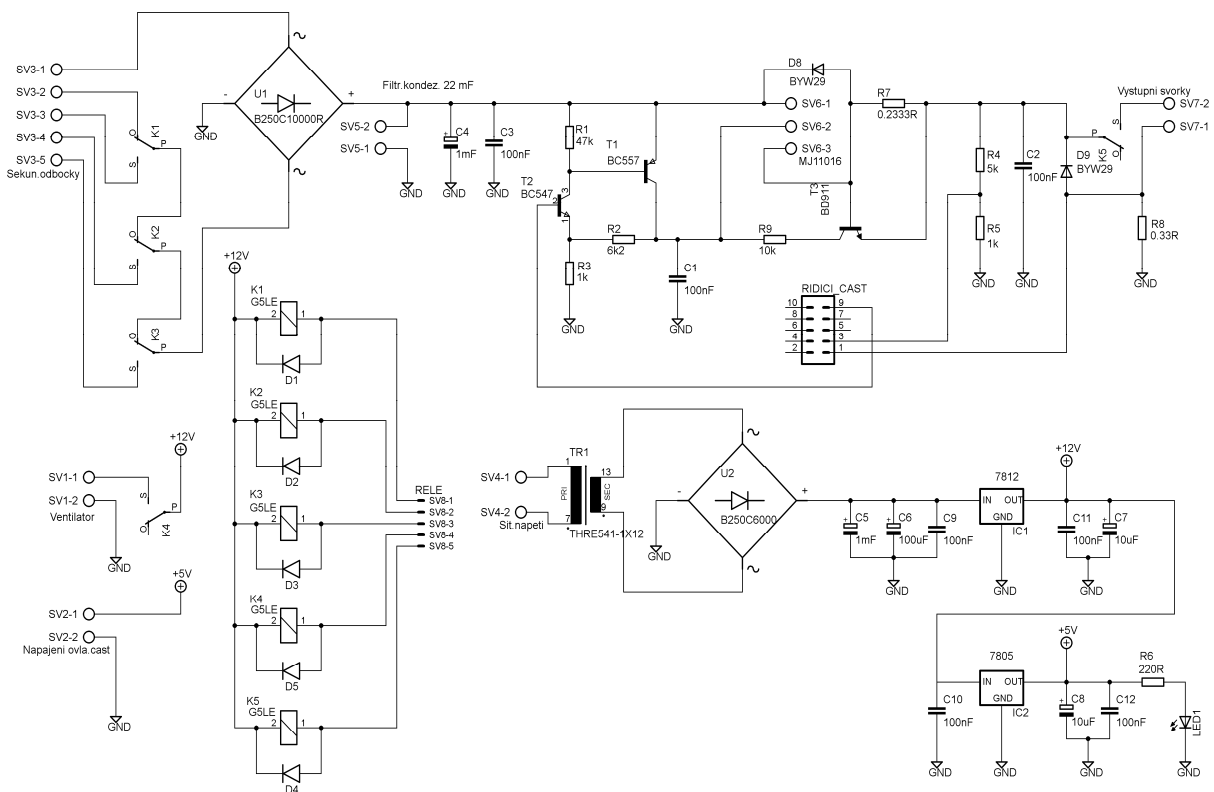
K portu C jsou přes rezistory R2, R4-R7 připojeny tranzistory BC847, které slouží k ovládání relátek. Relátka ovládají, sekundární odbočky transformátoru a výstupní svorky napětí. K propojení ovládací a výkonové části slouží konektor PSH02-05PG. Tlačítko na ovládání výstupních svorek je připojeno pomocí konektoru PSH02-02PG. LED Dioda signalizující připojený výstupních svorek je připojena k +5 V pomocí rezistoru R17. Pin PC0 ovládá zemnicím potenciálem GND LED diodu přes konektor PSH02-02PG.

4.1.3 Výkonová část

Sekundární odbočky transformátoru jsou přivedeny na konektory ARK500/2 a ARK500/3. Transformátor poskytuje čtyři sekundární odbočky, které přepínají tři relátka RELEG5LE-12. Spínání relátek provádí tranzistory BC847 na ovládací části, které jsou s výkonovou částí spojeny konektorem PSH02-05PG. Relátka jsou napájena napětím +12 V ze stabilizátoru 7812. Ovládání pomocí tranzistorů BC847 probíhá tak, že tranzistory uzemní jeden vývod ovládací cívky relátka a na druhý vývod je permanentně přivedeno napětí +12 V. K ovládacím vývodům relátek jsou připojeny diody D1-D5, kvůli omezení špiček napětí při rozepnutí ovládací cívky relátka.

K sekundárním odbočkám toroidního transformátoru je připojen usměrňovací můstek B250C10000DR. Filtrační elektrolytický kondenzátor WX22000/63 je připojen k výstupu usměrňovacího můstku pomocí konektoru ARK500/2. K filtračnímu kondenzátoru jsou paralelně připojeny kondenzátory C4 a C3.

Výkonový prvek tranzistor MJ11016 je připojen k výkonové části pomocí svorky ARK500/3. Mezi kolektorem, a emitorem výkonového tranzistoru je umístěna dioda D8 kvůli nechtěnému přehození emitoru a kolektoru tranzistoru. Ovládání výkonového tranzistoru provádí dvojice tranzistorů BC547 a BC557. Tranzistory R2 a R1 nastavují napěťové zesílení. R1 slouží ke spojení báze a emitoru tranzistoru BC557 a omezí proud tranzistorem BC547. Kondenzátor C1 slouží jako blokovací.



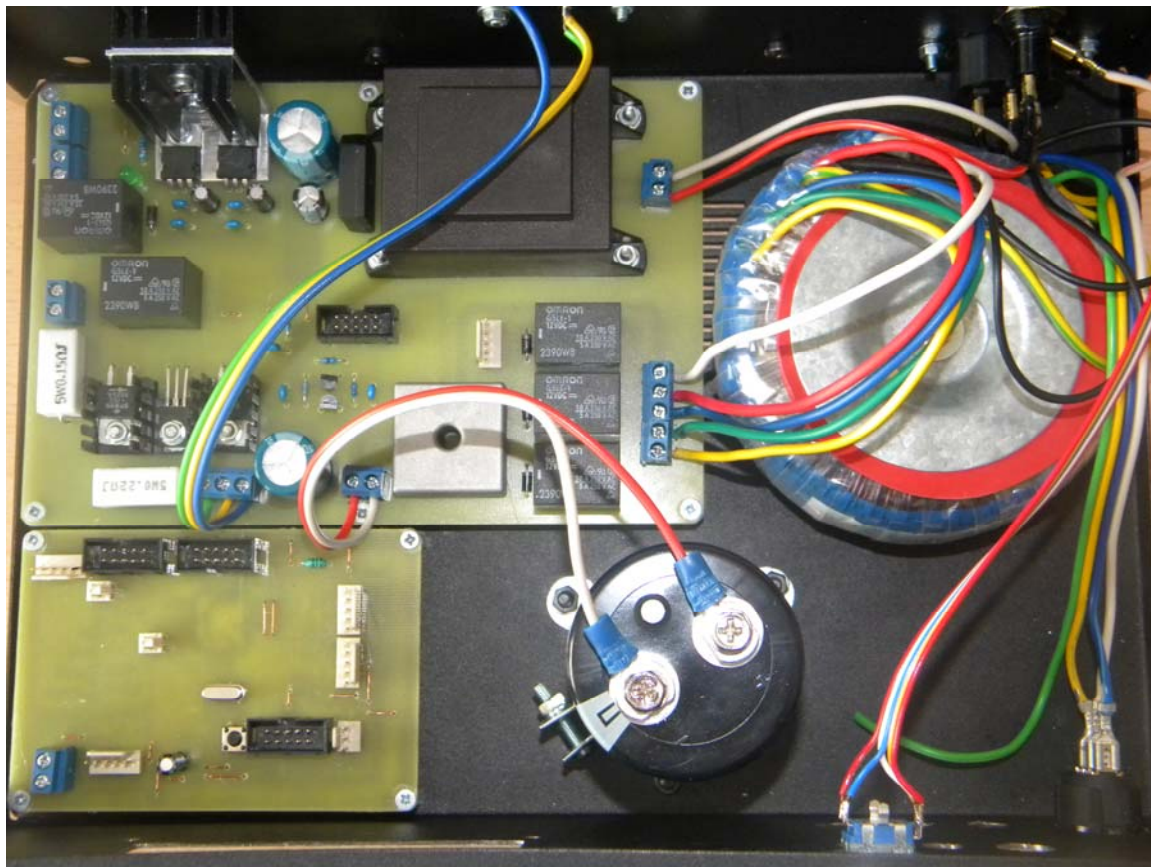
Obr. 32: Schéma výkonové části laboratorního zdroje.

Tranzistor BD911 slouží jako elektronická pojistka. Rezistor pro správnou funkci elektronické pojistky se spočítá podle rovnice (5.1).

$$R7 = \frac{\Delta U_{R7}}{I_{\max}} = \frac{0,7}{3} = 0,233 \Omega \quad (5.1)$$

Napěťový dělič z rezistorů R4 a R5 slouží k měření výstupního napětí, které je zpracováno mikroprocesorem v ovládací části. Rezistor R8 slouží k měření výstupního proudu. Proud tekoucí zátěží vytváří na rezistoru úbytek napětí, které je zpracováno mikroprocesorem v ovládací části. Napětí pro měření výstupního napětí a napětí pro měření výstupního proudu je spojeno s ovládací částí pomocí konektor MLW10. Z konektoru MLW10 je také přivedeno napětí z D/A převodníku k ovládnání tranzistoru BC547. Dioda D9 slouží na výstupu kvůli omezení špiček, které způsobí např. indukční zátěže.

Napětí +12 V a +5 V poskytují stabilizátory 7812 a L4940V05. K transformátoru TR1 je připojen usměrňovací můstek B250C6000. K usměrňovacímu můstku je připojen filtrační kondenzátor C5. Kondenzátory C6 a C9 slouží jako blokovací ke vstupu stabilizátoru 7812. Kondenzátor C11 slouží jako blokování výstupu. Kondenzátory C7 a C10 slouží jako blokování vstupu stabilizátoru L4940V05. Kondenzátory C8 a C12 slouží jako blokování výstupu. LED dioda slouží k signalizaci napájení.

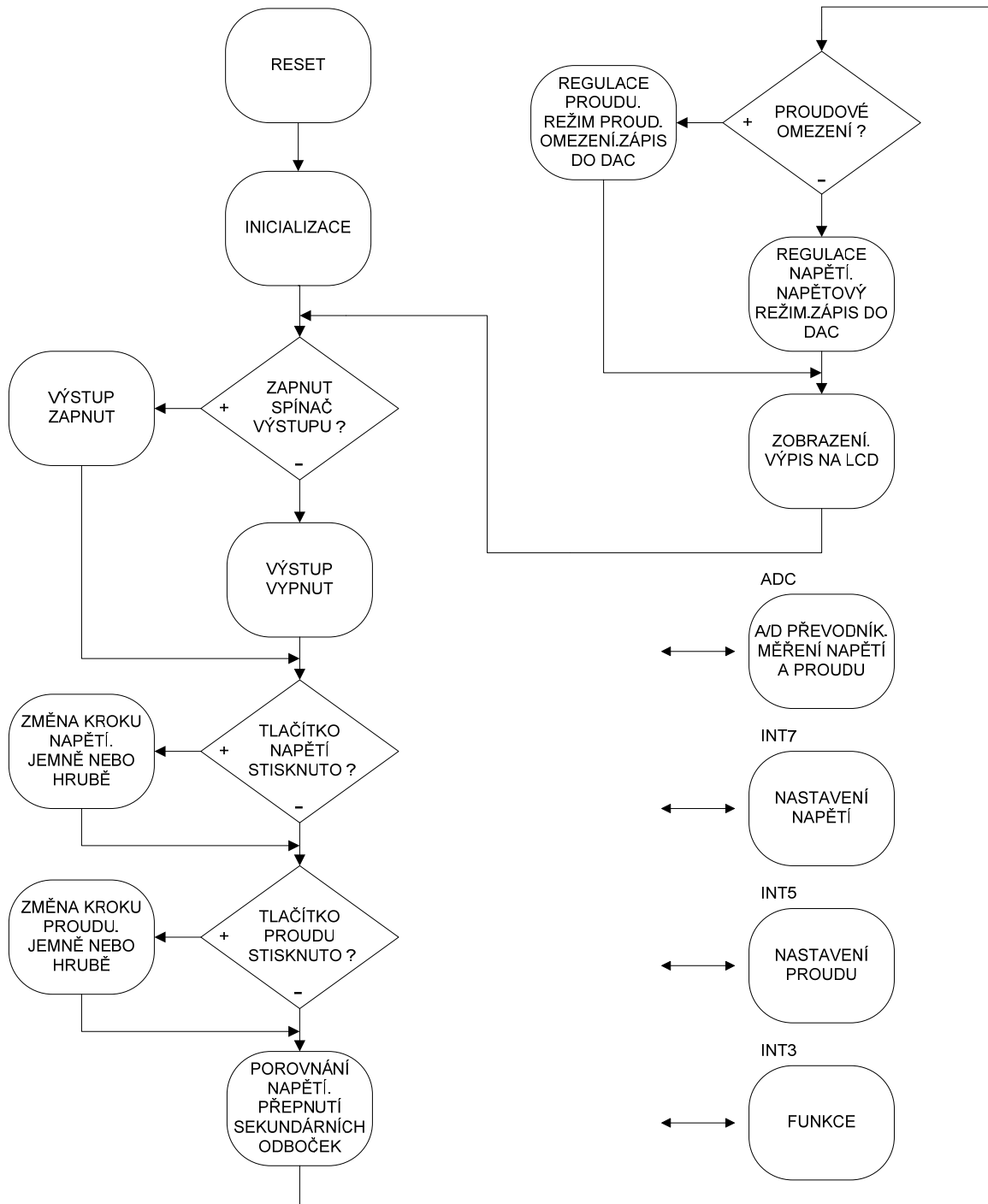


Obr. 33: Uspořádání výkonové a ovládací části v přístrojové krabici lab. zdroje.

4.2 Softwarová část

Pro tvorbu obslužného programu mikroprocesoru ATmega128 byl vybrán jazyk C. Jako vývojové prostředí bylo zvoleno AVR Studio 4. Byl použit programátor BIPROG s mikroprocesorem ATmega8. Kompletní zdrojové soubory jsou umístěny v příloze na CD. Ovládací program zaplňuje 16 kB programové paměti a 736 Bytů SRAM.

4.2.1 Vývojový diagram



Obr. 34: Vývojový diagram ovládacího programu.

Po resetu mikroprocesoru se provede úvodní inicializace, ve které jsou nastaveny výstupní periferie a řídicí registry. Na LCD displeji se zobrazí úvodní informace o laboratorním zdroji. Poté následuje hlavní smyčka, ve které se nejprve testuje jestli, je stisknuto tlačítko výstupu. Dále se testují tlačítka pro nastavení kroku napětí a proudu. V dalším kroku se testuje napětí a podle něho se přepínají sekundární odbočky. Poté se testuje výstupní proud. Jestliže se nachází zdroj v proudovém omezení, dochází k regulaci výstupního proudu pomocí proudového omezení. Pokud se v proudovém omezení nenachází, reguluje se výstupní napětí. Nakonec se všechny potřebné hodnoty zobrazí na LCD displeji.

4.2.2 Inicializace

V inicializaci jsou nastaveny nejdříve všechny proměnné. Po nastavení proměnných se nastaví použité registry. Piny vstupně/výstupních portů se nastaví podle potřeby jako vstupní nebo výstupní. Do výstupních pinů se zapíše požadovaná hodnota, která se vykoná při prvním spuštění mikroprocesoru. Následuje povolení všech přerušení, povolí a nastaví se požadované vnější přerušení. Nastaví se, při jaké hodnotě na vstupu přerušení se vykoná vnější přerušení. Vnitřní A/D převodník se nastaví na měření napětí a také se nastaví registr ADCSRA, který řídí převod a informuje o stavu převodu. Dále jsou inicializovány připojené periferie LCD, sběrnice I2C a D/A převodník. Do LCD se zapíše úvodní informace o vývoji laboratorního zdroje.

4.2.3 Testování spínače a tlačítek

Při vstupu do hlavní smyčky ovládacího programu se nejprve testuje spínač „výstupu“. Pokud je sepnutý, tak se napětí připojí na výstupní svorky. Jestliže dojde k rozpojení spínače, poté se odpojí napětí od výstupních svorek. Následuje testování tlačítka pro změnu kroku napětí. Při každém stisku tlačítka se změní krok nastavování napětí. Při stisku tlačítka je softwarově ošetřen zákmit přidavným zpožděním 200 ms. Poté se testuje tlačítko pro změnu kroku proudu. Po stisku tlačítka se změní krok nastavování proudu. Stisk tlačítka je ošetřen softwarově proti zákmitům přidavným zpožděním 200 ms.

4.2.4 Přepínání sekundárních odboček

Výstupní napětí je porovnáváno s několika předem stanovenými hodnotami. Hodnoty určují hranici, kdy dojde k přepnutí sekundárních odboček. Nejprve se porovnává napětí s hodnotou 6,5 V. Pokud je výstupní napětí menší jak tato hodnota, připojí se první sekundární odbočka se jmenovitým efektivním napětím 9,2 V. Při překročení hranice výstupního napětí 6,5 V je porovnáváno napětí s hodnotou 13,5 V. Jestliže je napětí menší jak hodnota 13,5 V a zároveň větší jak 6,5 V připojí se druhá sekundární odbočka, se jmenovitým efektivním napětím 14,5 V. Pokud výstupní napětí překročí hodnotu 13,5 V a zároveň nepřesáhne hodnotu 20 V připojí se třetí sekundární odbočka se jmenovitým sekundárním napětím 20,5 V. Jestliže napětí přesáhne hodnotu 20 V připojí se čtvrtá sekundární odbočka se jmenovitým napětím 26,2 V.

4.2.5 Regulace napětí a proudové omezení

Regulace je stěžejním softwarovým řešením laboratorního zdroje. Změní-li se velikost zátěže, poteče výstupem větší proud a poklesne napětí. Pokles výstupního napětí proti požadovanému musí obslužný program doregulovat. Tedy dostatečně zvýšit výstupní napětí aby bylo s určitou zvolenou odchylkou rovné požadovanému. Obslužný program musí také zareagovat, když se zátěž odpojí. Výstupní napětí se zvýší od požadovaného. Obslužný program sníží výstupní napětí až na zvolenou odchylku požadovaného a výstupního napětí. Měření napětí slouží jako zpětná vazba pro správnou regulaci výstupního napětí.

V obslužném programu se nejprve porovná výstupní proud s nastaveným proudovým omezením. Jestliže je výstupní proud větší než nastavený o určitou nastavenou odchylku reguluje se výstupní proud tzv. “režim proudového omezení”. V proudovém režimu se testuje velikost a znaménko odchylky výstupního proudu a požadovaného proudu. Pokud je požadovaný proud větší než proud výstupní zmenší se napětí pro D/A převodník s příslušným krokem. D/A převodník zmenší své výstupní napětí a tím zmenší velikost výstupního proudu. Tím je zajištěno proudové omezení. Jestliže zvětšíme hodnotou požadovaného proudu a zároveň je výstupní napětí menší než požadované napětí zvětší se napětí pro D/A převodník s příslušným krokem. D/A převodník zvětší své výstupní napětí a tím zvětší velikost výstupního proudu. Program se stále nachází v “režimu proudového omezení”. Pokud bude výstupní napětí větší než požadované tak program opustí “režim proudového omezení”.

Pokud není výstupní proud větší, než požadovaný probíhá regulace napětím tzv. “napěťový režim”. Nejprve se porovná výstupní napětí s požadovaným. Jestliže je výstupní napětí větší než požadované, testuje se o kolik. Pokud je rozdíl větší jak 1 V zvětší se hodnota pro D/A převodník s krokem 10x rozdíl napětí. Pokud je rozdíl menší jak 1V a větší jak 0,1 V zvětší se hodnota pro D/A převodník s krokem 5x rozdíl napětí. Jestliže je hodnota výstupního napětí menší jak nastavená určitá odchylka, testuje se, o kolik je výstupní napětí menší než požadované. Pokud je rozdíl menší jak -1 V zmenší se hodnota pro D/A převodník s krokem 10x rozdíl napětí. Jestliže je rozdíl větší než -1 V a menší než -0,1 V zmenší se hodnota pro D/A převodník s krokem 5x rozdíl napětí. Pokud je rozdíl větší než -0,1 V a menší než -0,05 V zmenší se hodnota pro D/A převodník s nejmenším krokem.

4.2.6 Zobrazení na LCD

LCD obsahuje čtyři řádky. Na jednom řádku je možné zobrazit až dvacet znaků. Výstupní napětí se zobrazuje na prvním řádku s přesností na 0,1 V. LCD dokáže zobrazit napětí v 301 různých stavech od 0 - 30 V s již zmíněným krokem 0,1 V. Na druhém řádku se zobrazuje měřený výstupní proud s přesností na 0,01 mA. LCD dokáže zobrazit výstupní proud v 296 různých stavech od 0 A do 3 A. Měření výstupního proudu probíhá od 50 mA, kvůli malému napětí, které nedokáže mikroprocesor jako úbytek napětí na měřicím rezistoru pod 50 mA změřit. Třetí řádek zobrazuje proud, který udává hodnotu, kdy dojde k “režimu proudového omezení”. Hodnota udává, kdy bude laboratorní zdroj v proudovém omezení.

Čtvrtý řádek zobrazuje několik funkcí. Při prvním spuštění mikroprocesoru se zobrazí výstupní výkon. Otočení inkrementálního čidla „funkce“ se postupně zobrazí další důležité hodnoty. Zobrazí se, jestli je napětí přivedeno na výstupní svorky, krok napětí, krok proudu a režim regulace.

```
napeti_uprava = 4.95/ 1024;           //Konstanta pro převod A/D převodníku
napeti_uprava = napeti_uprava*napeti_mer; //Úprava se změřenou hodnotou z ADCW
napeti_display= napeti_uprava*610;

jednotky = napeti_display/100;        //Převod na celé číslo pro zobrazení napětí na LCD
desitky = napeti_display%100;        //Převod na desetinné číslo pro zobrazení na LCD
desitky = desitky/10;                 //Převod na desetinné číslo pro zobrazení na LCD

lcd_gotoxy(0,0);                       //první řádek první sloupce LCD
sprintf(buffer_napeti_mer,"Vyst. napeti:%02d.%01dV  ",jednotky,desitky);
lcd_puts(buffer_napeti_mer);           //zobrazení bufferu_napeti_mer
```

Část obslužného programu pro zobrazení napětí. Změřené napětí se nejdříve upraví podle vzorce, který je obsažen v datasheetu mikroprocesoru. Celé číslo se převede na desetinné, kde v proměnné `jednotky` je zapsáno celé číslo zastupující informaci napětí celé části. V proměnné `desitky` je zapsáno desetinné číslo zastupující informaci napětí desetinné části s přesností na 100 mV. Jednotky se zapíše do proměnné `buffer_napeti_mer` na dvě číselná místa a proměnná `desitky` se zapíše do proměnné `buffer_napeti_mer` na jedno číselné místo. Vše je zapsáno jako textový řetězec na LCD.

4.2.7 Obsluha inkrementálních čidel

Vždy jeden vývod inkrementálního čidla je připojen na pin externího přerušování mikroprocesoru. Na vnější přerušování pinu PE7 je připojen vývod inkrementálního čidla na nastavení požadovaného napětí. Přerušování je vyvoláno nástupnou hranou na vstupu INT7. Při vstupu do přerušování se nejprve testuje, jestli je PE7 v log „1“ pokud ano testuje se další vývod inkrementálního čidla, které je připojen na pin PE2. Pokud je PE2 v log „0“ zvětší se požadované napětí o určitý nastavený krok. Krok zvyšování se mění tlačítkem inkrementálního čidla na nastavení napětí. Napětí se mění s krokem 0,1 V nebo 0,5 V. Pokud je PE2 v log „1“ zmenší se požadované napětí o určitý nastavený krok.

K vnějšímu přerušování pinu PE5 je připojen vývod inkrementálního čidla na nastavení požadovaného proudového omezení. Přerušování je vyvoláno nástupnou hranou na vstupu INT5. Když se vyvolá přerušování, testuje se, jestli je PE5 v log „1“ pokud ano testuje se další vývod inkrementálního čidla, které je připojeno na pin PE3. Jestliže je PE3 v log „0“ zvětší se požadované proudové omezení o určitá nastavený krok. Změna kroku se provádí tlačítkem inkrementálního čidla na nastavení požadovaného proudového omezení. Proudové omezení se mění s krokem 10 mA nebo 50 mA. Pokud je PE3 v log „1“ zmenší se požadované proudové omezení o určitý požadovaný krok.

Inkrementálního čidlo “funkce” slouží pro ovládání zobrazení různých funkcí laboratorního zdroje na čtvrtém řádku LCD. Jeden vývod inkrementálního čidla je připojen na vnější přerušení pinu PD3. Přerušení je vyvoláno nástupnou hranou na vstupu INT3. Při vstupu do přerušení se testuje, jestli je PD3 v log „1“. Jestli je PD3 v log „1“ testuje se další vývod inkrementálního čidla, který je připojen na pin PD5. Jestliže je PD3 v log „0“ zvětší se hodnota proměnné `menu` a zobrazí se další informace na čtvrtém řádku LCD. Pokud je PD5 v log „1“ zmenší se hodnota proměnné `menu` a zobrazí se předchozí informace.

4.2.8 Měření napětí a proudu

Pro měření napětí a proudu byl použit vnitřní A/D převodník mikroprocesoru. Pro měření napětí byl použit jednotný režim podle vzorce (5.2). V_{in} odpovídá měřenému napětí a $V_{ref} = 5$ V referenčnímu napětí.

$$ADC = \frac{V_{in} \cdot 1024}{V_{ref}} \quad (5.2)$$

Pro měření proudu byl použit rozdílový režim ze zesílením 10x podle vzorce (5.3). $(V_{pos} - V_{neg})$ odpovídá měřenému rozdílovému napětí a $V_{ref} = 5$ V referenčnímu napětí.

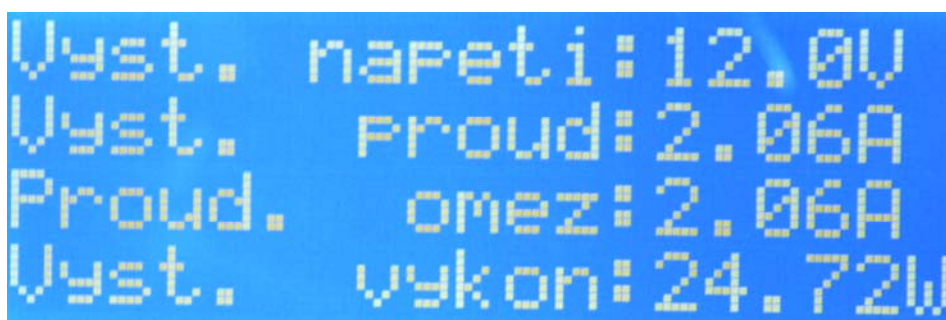
$$ADC = \frac{(V_{pos} - V_{neg}) \cdot GAIN \cdot 512}{V_{ref}} \quad (5.3)$$

```
ISR (ADC_vect)                                     //přerušení od vnitřního A/D převodníku
{
ADCSRA=0x6f;                                       //vypne A/D převodník
    if (ADMUX==ADC_NAPETI)                         //výběru vstupu převodu
    {
        napeti_mer=ADCW;
        ADMUX=ADC_PROUD;
    }
    else
    {
        proud_mer=ADCW;
        ADMUX=ADC_NAPETI;
    }
ADCSRA = 0xef;                                     //zapne A/D převodník
}
```

Výstupní napětí se měří na vstupu ADC2. Měření probíhá v rozsahu 0 - 5 V. Výstupní napětí se měří s minimálním krokem 30 mV. Větší přesnost nemůže být zaručena, protože max. výstupní napětí je 30 V a převodník je pouze 10 bitový. Výstupní proud se měří na vstupu ADC1 a rozdílový vstup je brán na vstupu ADC0. Výstupní proud je měřen s minimálním krokem 10 mA.

4.3 Ovládání laboratorního zdroje

Laboratorní zdroj se ovládá velmi jednoduše. Při prvním pohledu je zřejmé k čemu slouží inkrementální čidlo “NAPĚTÍ” a inkrementální čidlo “PROUD”. Při zapnutí laboratorního zdroje síťovým vypínačem vpravo dole se zobrazí na LCD úvodní zpráva. Po připojení zátěže se zapne výstup tlačítkem “VÝSTUP”. Nastaví se požadované napětí a proudové omezení.



Obr. 35: Základní zobrazení laboratorního zdroje.

Inkrementální čidlem “FUNKCE” se mění na čtvrtém řádku LCD informace. LED dioda slouží jako signalizace připojení napětí k výstupním svorkám.



Obr. 36: Ovládací panel laboratorního zdroje.

5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Parametry laboratorního zdroje byly měřeny laboratoří elektrotechniky a elektrických instalací E432 UTEE FEKT VUT v Brně. Laboratorní zdroj byl měřen na přístrojích uvedených v tab. 9.

Přístroje	Označení
Měřené zařízení	Laboratorní zdroj
Osciloskop	Agilent DS06052A M500MG
Výkonový rezistor	Metra Blansko 4,5A, 30Ω
Multimetr	F-Tech MY-64

Tab. 9: Použité přístroje při měření parametrů laboratorního zdroje.

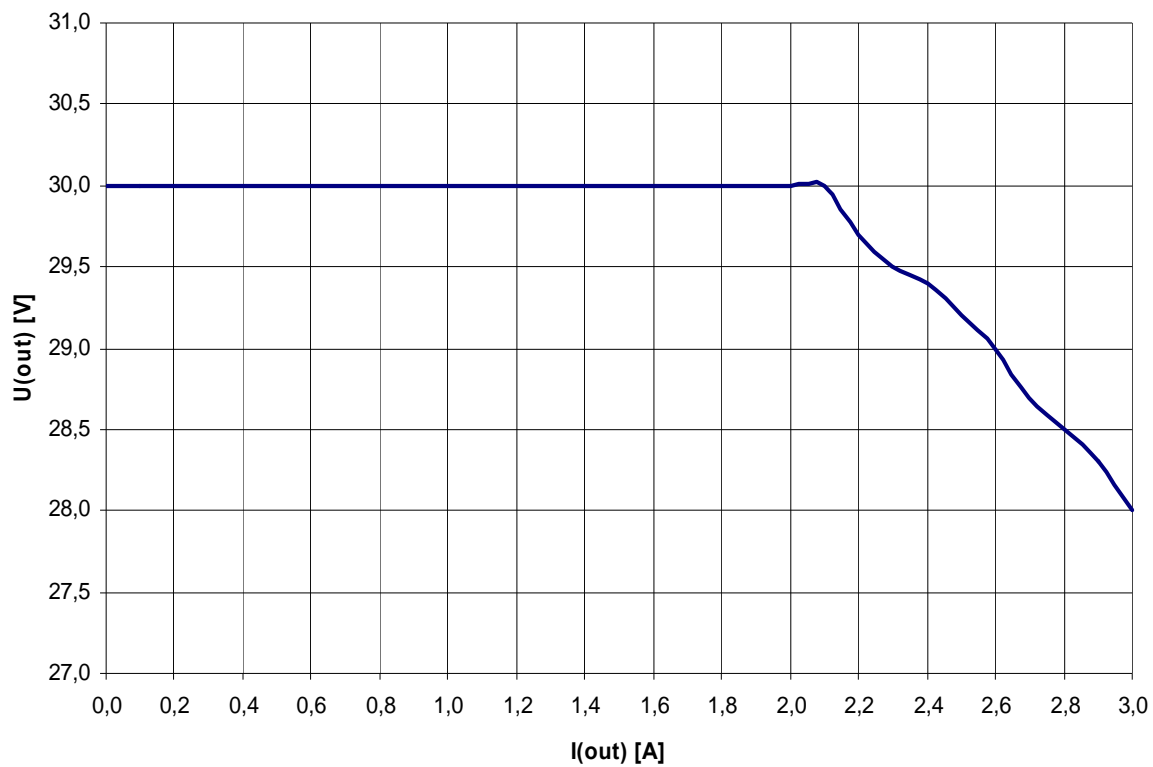
5.1 Zatěžovací charakteristika

Zatěžovací charakteristika (závislost výstupního napětí na výstupním proudu) laboratorního zdroje byla změřena na výkonovém rezistoru. Změřené hodnoty jsou uvedené v tab. 10. V rozsahu výstupního proudu (0 – 3 A).

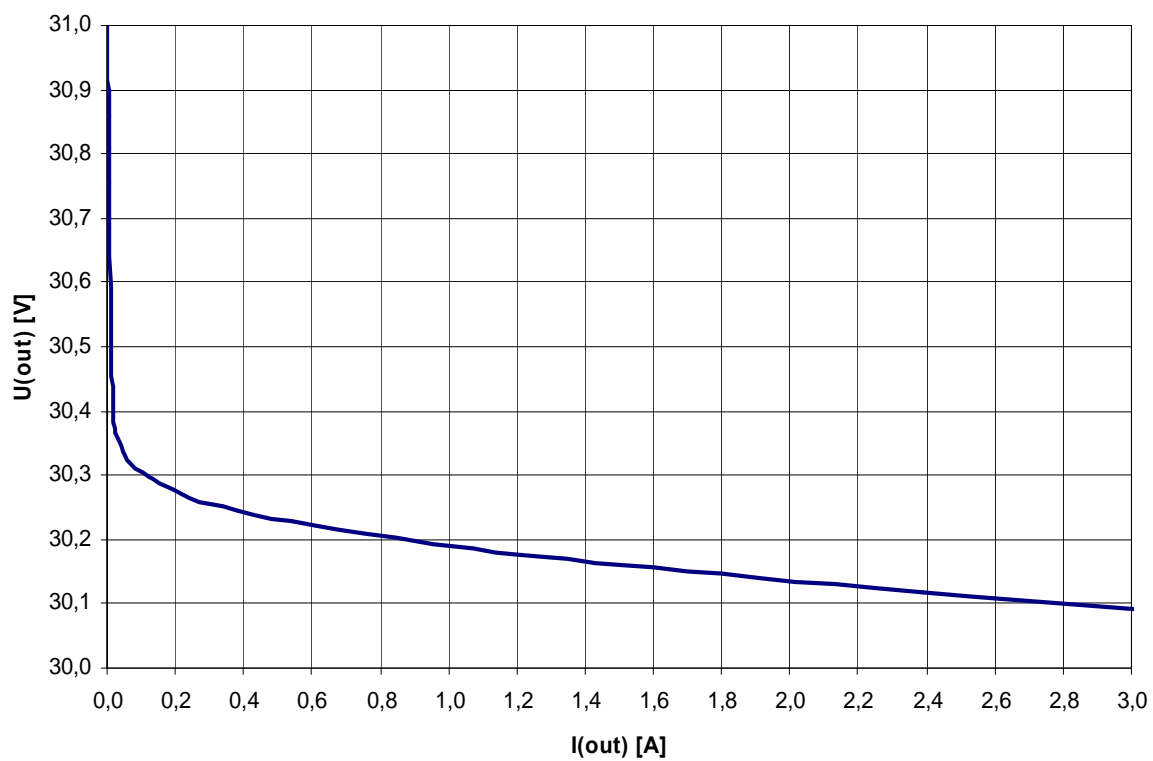
I(out) [A]	U(out) [V]	I(out) [A]	U(out) [V]
0	30,00	1,60	30,00
0,10	30,00	1,70	30,00
0,20	30,00	1,80	30,00
0,30	30,00	1,90	30,00
0,40	30,00	2,00	30,00
0,50	30,00	2,10	30,00
0,60	30,00	2,20	29,70
0,70	30,00	2,30	29,50
0,80	30,00	2,40	29,40
0,90	30,00	2,50	29,20
1,00	30,00	2,60	29,00
1,10	30,00	2,70	28,70
1,20	30,00	2,80	28,50
1,30	30,00	2,90	28,30
1,40	30,00	3,00	28,00
1,50	30,00		

Tab. 10: Změřené hodnoty zatěžovací charakteristiky lab. zdroje.

Závislost výstupního napětí na výstupním proudu je zobrazena na obr. 37. Výstupní napětí je konstantní do výstupního proudu 2,1 A. Poté začne výstupní napětí s výstupním proudem klesat. Při výstupním proudu 3 A dosáhne výstupní napětí max. 28 V. Tento pokles je zapříčiněn velkým pokles sekundárního napětí transformátoru. Výrobce nedodržel zadané parametry pro výrobu. Na obr. 38 je zobrazena závislost výstupního napětí na výstupním proudu simulovaná v programu PSpice. Pro srovnání se změřenou zatěžovací charakteristikou laboratorního zdroje.



Obr. 37: Závislost výstupního napětí na výstupním proudu laboratorního zdroje.



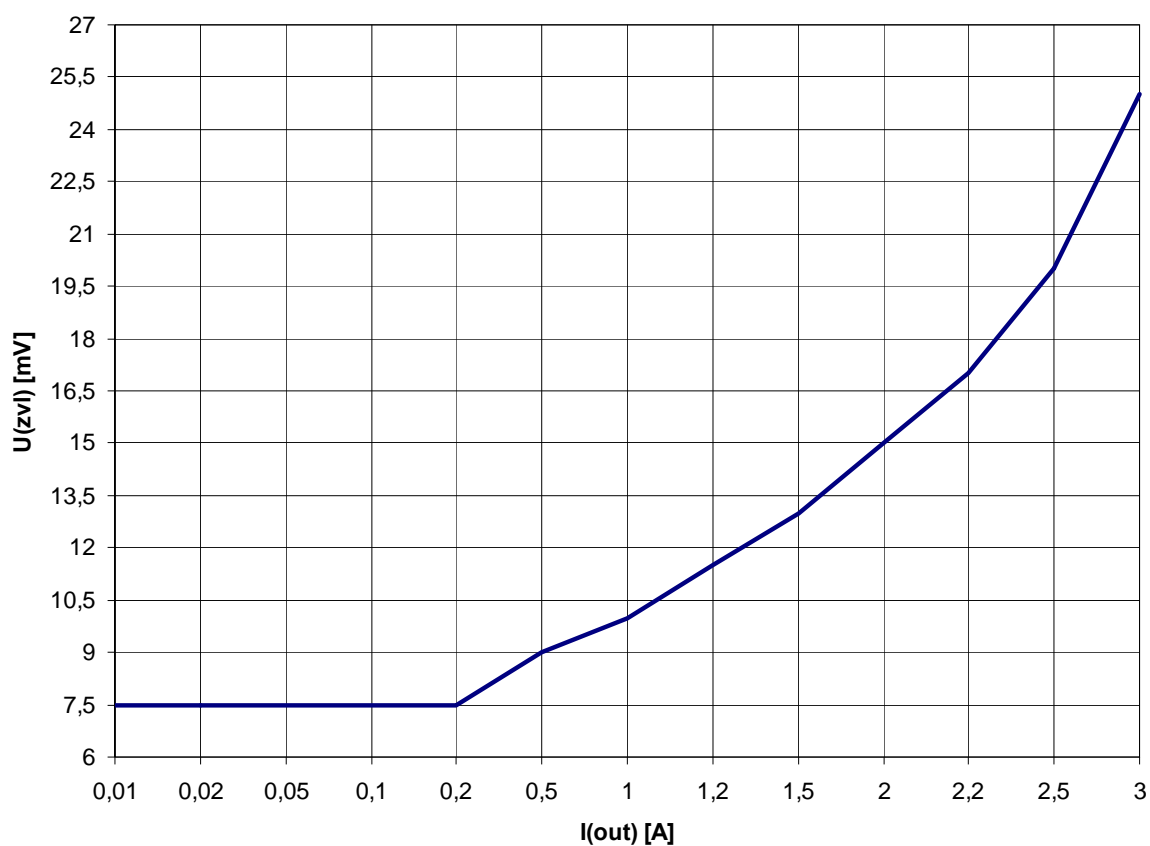
Obr. 38: Závislost výst. napětí na výst. proudu simulovaná v programu P-SPICE.

5.2 Zvlnění výstupního napětí

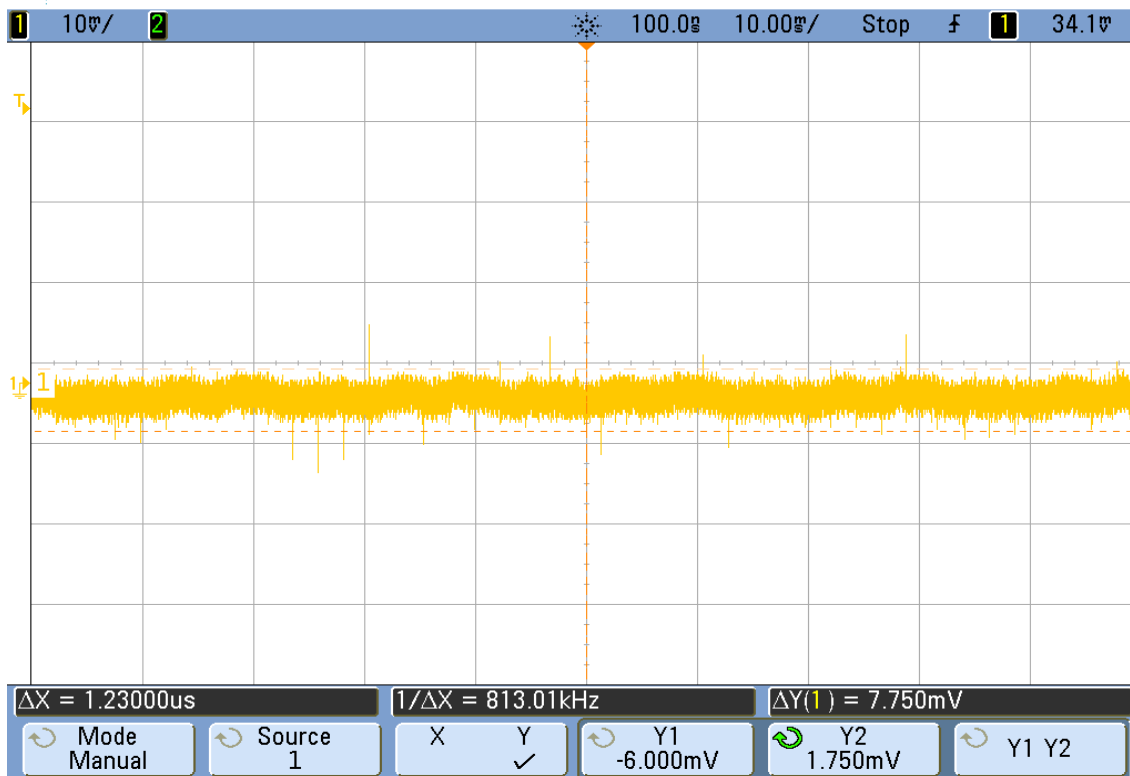
Závislost zvlnění výstupního napětí na výstupním proudu byla změřena pomocí osciloskopu v rozsahu 0 – 3 A. Změřené hodnoty zvlnění výstupního napětí jsou uvedené v tab. 11. Závislost zvlnění výstupního napětí na výstupním proudu je zobrazena na obr. 40. Zvlnění výstupní napětí dosáhne při výstupním proudu 3 A hodnoty 25 mV.

I(out) [A]	U(zvl) [mV]
0,01	7,5
0,02	7,5
0,05	7,5
0,10	7,5
0,20	7,5
0,50	10,0
1,00	10,0
1,20	11,5
1,50	13,0
2,00	15,0
2,20	17,0
2,50	20,0
3,00	25,0

Tab. 11: Hodnoty zvlnění výstupní napětí při výstupním proudu.



Obr. 39: Závislost zvlnění výst. napětí na výst. proudu lab. zdroje.



Obr. 40: Zvlnění výstupního napětí při výstupním proudu 200 mA.



Obr. 41: Zvlnění výstupního napětí při výstupním proudu 2,5 A.

6 SHRNU TÍ PARAMETRŮ LABORATORNÍHO ZDROJE

Výstupní napětí	0 – 30 V, při 3A max. 28V
Výstupní proud	0 – 3 A
Přesnost zobrazeného napětí	100 mV
Přesnost zobrazeného proudu	10 mA
Tlačítko pro připojení výstupních svorek	ANO
Nastavení hodnoty napětí	Inkrementální čidlo P-RE30S
Nastavení hodnoty proudu	Inkrementální čidlo P-RE30S
Nastavení funkce	Inkrementální čidlo P-RE30S
Krok nastavení napětí	0,1 V nebo 0,5 V
Krok nastavení proudového omezení	0,01 A nebo 0,05A
Zvlnění výstupní napětí	Max. 25 mV
Výstup napětí D/A převodníku	0 – 5 V
Počet bitů D/A převodníku	12
Zobrazovač	LCD MC2004B-SBL/H
Jazyk zobrazení	Čeština
Rozměry	302 x 124 x 217 mm
Hmotnost	5,25 Kg
Cena	cca 4500 Kč

Tab. 12: Parametry laboratorního zdroje.

7 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se seznámil s možnostmi řízení napájecích zdrojů. Prostudoval jsem možnosti sestrojení laboratorního zdroje pomocí lineárního stabilizátoru a spínaného zdroje. Vybral jsem si možnost řízení pomocí lineárního spjitého stabilizátoru. Následoval výběr vhodného mikroprocesoru (ATmega 128), pro řízení celého lineárního stabilizovaného zdroje. Požadované napětí a proudové omezení je nastavováno pomocí n-kodérů, které jsou připojeny k pinům mikroprocesoru.

V další části navazujícího diplomové práce jsem se zabýval návrhem laboratorního zdroje řízeného mikroprocesorem. V programu P-SPICE jsem simuloval chování jednotlivých částí návrhu. Jedná se o ovládání výstupního napětí pomocí D/A převodníku, vliv filtračního kondenzátoru na zvlnění výstupního napětí nebo závislost výstupního napětí na výstupním proudu. Vybral jsem druh řízení výstupního napětí a proudu, jeho zobrazování a také nastavování. Vypočítal jsem a navrhl chladič pro odvod tepla, které vzniká ztrátovým výkonem na výkonovém prvku. Navrhl jsem jednotlivá sekundárních vinutí transformátoru pro regulaci ztrátového výkonu na výkonovém prvku. Dále jsem prostudoval a navrhl možnost zesílení napětí z D/A převodníku pro ovládání výkonového prvku a také potřebný proud na ovládání výkonového prvku. Zvolil jsem vhodný Graetzův usměřňovací můstek a vypočítal filtrační členy pro dostatečný proud a co nejmenší výstupní zvlnění výstupního napětí. Navrhl jsem kompletní schéma pro realizaci kompletního funkčního laboratorního zdroje.

V poslední části jsem realizoval navržený laboratorní zdroj. Navrhl desky plošných spojů a vše umístnil a upevnil do krabice. Vytvořil jsem obslužný program pro mikroprocesor ATmega 128. Otestoval a změřil jsem elektrické parametry laboratorního zdroje. Výsledné parametry jsem porovnal se simulací v programu PSpice. Výsledkem práce je lineární laboratorní zdroj, který poskytuje výstupní napětí 0 – 30V a výstupní proud 0 – 3A. Výstupní hodnoty zobrazuje na LCD a všechny požadované hodnoty jsou nastavovány mechanickými, inkrementální, rotačními čidly.

LITERATURA

- [1] Napájecí zdroje[online]. Dostupné URL:
https://krel.feec.vutbr.cz/VYUKA/B_EST/prezencni/BNEZ/P/
- [2] KREJČIŘÍK, A. Napájecí zdroje 1. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 1996. 352s. ISBN 80-86056-02-3.
- [3] Spojité zdroje [online]. Dostupné URL:
jaja.kn.vutbr.cz/~dirbak/qq/BNEZ/4.doc
- [4] Spínané zdroje: Maturitní otázka č.12 SPŠT, Třebíč
- [5] Mikroprocesor [online]. Dostupné z URL:
<https://www.vutbr.cz/elearning/course/view.php?id=77077>
- [6] Mikroprocesor [online]. Dostupné z URL:
www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2466.pdf
- [7] Tranzistor MJ11016 [online]. Dostupné z URL:
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/211/211-116/dsh.211-116.1.pdf
- [8] N - kodér P-RE30S [online]. Dostupné z URL:
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/532/532-087/dsh.532-087.1.pdf
- [9] D/A převodník AD5627 [online]. Dostupné z URL:
http://web.vscht.cz/kadleck/archiv/mt_chi/prednasky/Fiser/Prev05_2.pdf
- [10] LCD ATM1602B [online]. Dostupné z URL:
<http://www.arrowtech.cn/upload/ATM1602B.pdf>
- [11] Výpočet chladiče[online]. Dostupné z URL:
<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>
- [12] Chladič CH 29/125 [online]. Dostupné z URL:
<http://www.alchladice.cz/>
- [13] Toroidní transformátor [online]. Dostupné z URL:
<http://www.google.com/toroidnitransformator>
- [14] Zesilovač napětí [online]. Dostupné z URL:
<http://www.linuxfocus.org/English/June2005/article379.shtml#379lfindex8>

- [15] Kesi Jan. Elektronika 1 analogová technika. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-143-8
- [16] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16. 1. vyd. Praha BEN - technická literatura, 2006. 320 s. ISBN 80-7300-174-8.
- [17] A/D převodník [online]. Dostupné z URL:
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf
- [18] I2C sběrnice [online]. Dostupné z URL:
<http://www.keil.com/i2c/examples.asp>
- [19] KOLKA, Z. Analýza elektronických obvodů programem OrCAD PSpice. Skripta FEKT VUT v Brně.
- [20] PSpice Reference Guide, Cadence Design, 2000, dostupný z URL:
www.cadence.com
- [21] LCD_blokové_schéma [online]. Dostupné z URL:
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-114/dsh.513-114.1.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

OZ	Operační zesilovač
ZD	Zenerova dioda
REF	Referenční napětí
V/A	Voltamperová charakteristika
OSC.	Oscilátor
PWM	Pulsně šířková modulace
COMP	Komparátor
ALU	Aritmeticko logická jednotka
MCU	Mikrokontrolér
NZČ	Napětový zesilovací činitel
LCD	Liquid crystal display
R/W	Read/Write
E	Enable
R/S	Regist select
GAIN	Zesílení
ADC	Regist A/D převodníku mikroprocesoru
SDA	Datový vodič
SCL	Hodinový vodič
I2C	Sériové komunikační rozhraní
D/A	Digitálně/Analogový
A/D	Analogově/Digitální
SPI	Sériové komunikační rozhraní (Serial Peripheral Interface)
ISP	In System Programming

SEZNAM PŘÍLOH

A	Popis bitů rámce při komunikaci AD5627 s mikroprocesorem.....	52
B	Kompletní schéma.....	53
C	Obrazec plošného spoje.....	54
C.1	Obrazec plošného spoje výkonová část.....	54
C.2	Obrazec plošného spoje výkonová část, realizace.....	54
C.3	Osazení součástek plošného spoje výkonová část.....	55
C.4	Osazení součástek plošného spoje výkonová část, realizace.....	55
C.5	Obrazec plošného spoje ovládací část.....	56
C.6	Obrazec plošného spoje ovládací část, realizace.....	56
C.7	Osazení součástek plošného spoje ovládací část.....	57
C.8	Osazení součástek plošného spoje ovládací část, realizace.....	57
C.9	Obrazec plošného spoje LCD_modul.....	58
C.10	Obrazec plošného spoje LCD_modul, realizace.....	58
C.11	Osazení součástek plošného spoje LCD_modul, realizace.....	59
C.12	Osazení součástek plošného spoje LCD_modul, realizace.....	59
D	Fotodokumentace.....	60
D.1	Přední panel.....	60
D.2	Zadní panel.....	60
D.3	Boční pohled.....	61
D.4	Vnitřní uspořádání.....	61
E	Seznam součástek.....	62
E.1	Ovládací část.....	62
E.2	Výkonová část.....	64
E.3	LCD modul.....	65
F	Obsah příloženého CD.....	66

A POPIS BITŮ RÁMCE PŘI KOMUNIKACI AD5627 S MIKROPROCESOREM

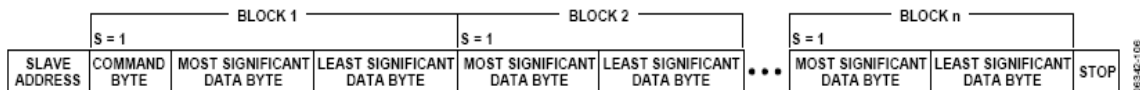


Figure 57. Multiple Block Write with Initial Command Byte Only ($S = 1$)

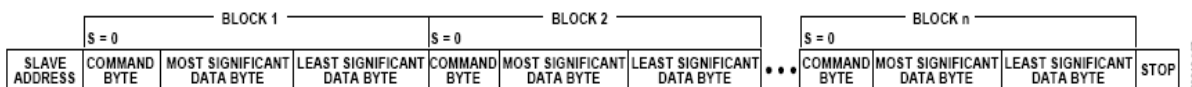


Figure 58. Multiple Block Write with Command Byte in Each Block ($S = 0$)

DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
R	S	C2	C1	C0	A2	A1	A0	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
RESERVED	BYTE SELECTION	COMMAND			DAC ADDRESS			DAC DATA								DAC DATA							
		COMMAND BYTE				DATA HIGH BYTE								DATA LOW BYTE									

Figure 59. AD5667R/AD5667 Input Shift Register (16-Bit DAC)

DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
R	S	C2	C1	C0	A2	A1	A0	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X	X
RESERVED	BYTE SELECTION	COMMAND			DAC ADDRESS			DAC DATA								DAC DATA							
		COMMAND BYTE				DATA HIGH BYTE								DATA LOW BYTE									

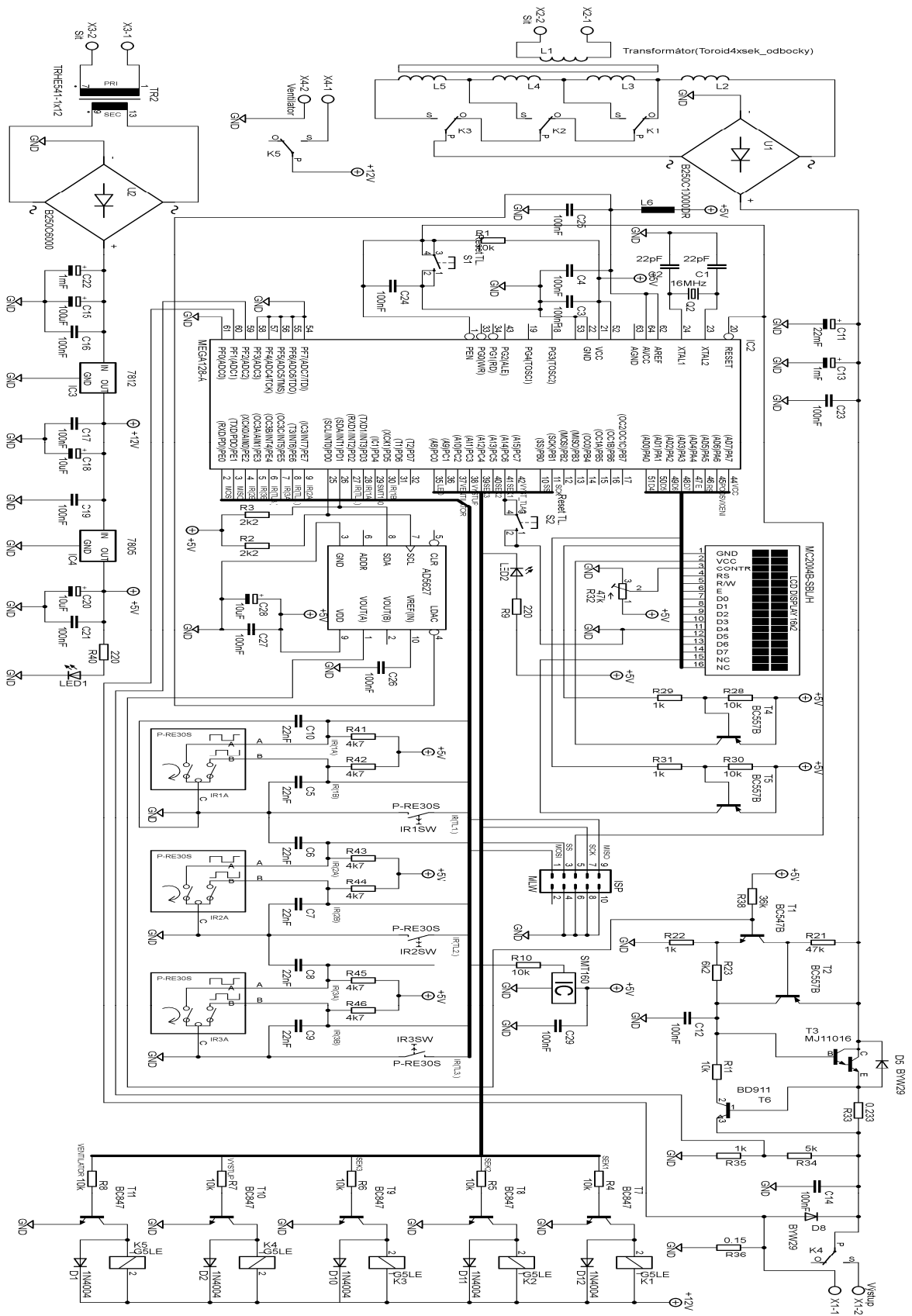
Figure 60. AD5647R Input Shift Register (14-Bit DAC)

DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
R	S	C2	C1	C0	A2	A1	A0	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X	X	X	X
RESERVED	BYTE SELECTION	COMMAND			DAC ADDRESS			DAC DATA								DAC DATA							
		COMMAND BYTE				DATA HIGH BYTE								DATA LOW BYTE									

Figure 61. AD5627R/AD5627 Input Shift Register (12-Bit DAC)

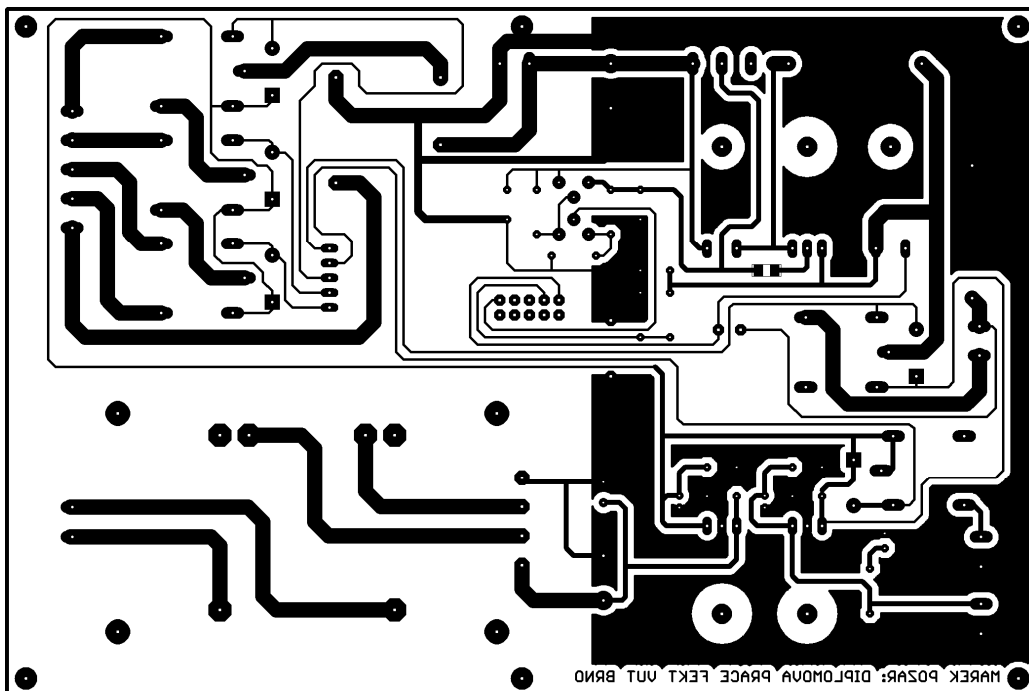
Obr. 42: Popis registrů obvodu AD5627 [9].

B KOMPLETNÍ SCHÉMA

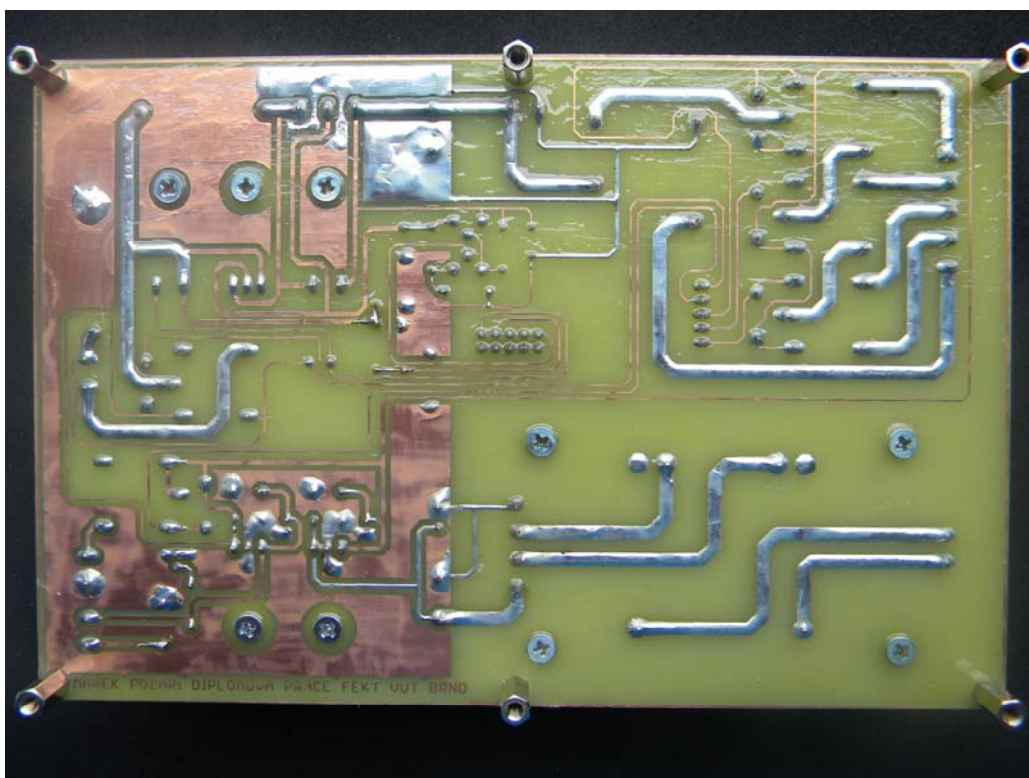


C OBRAZEC PLOŠNÉHO SPOJE

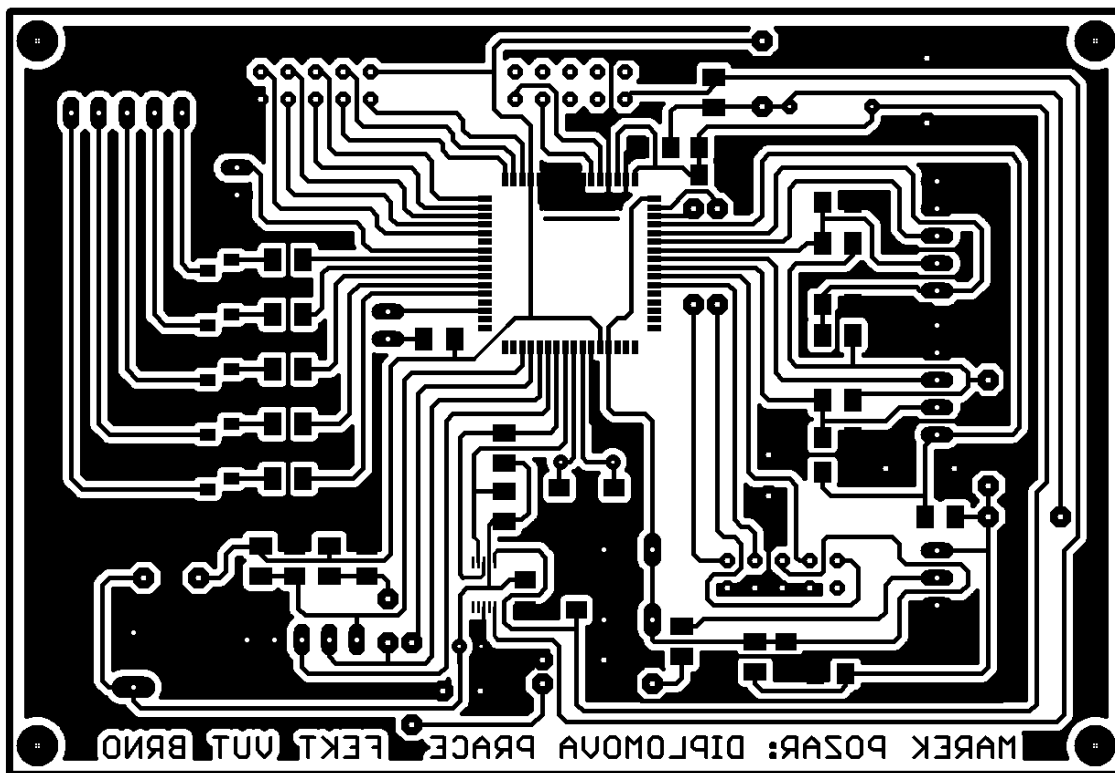
C.1 Obrazec plošného spoje výkonová část



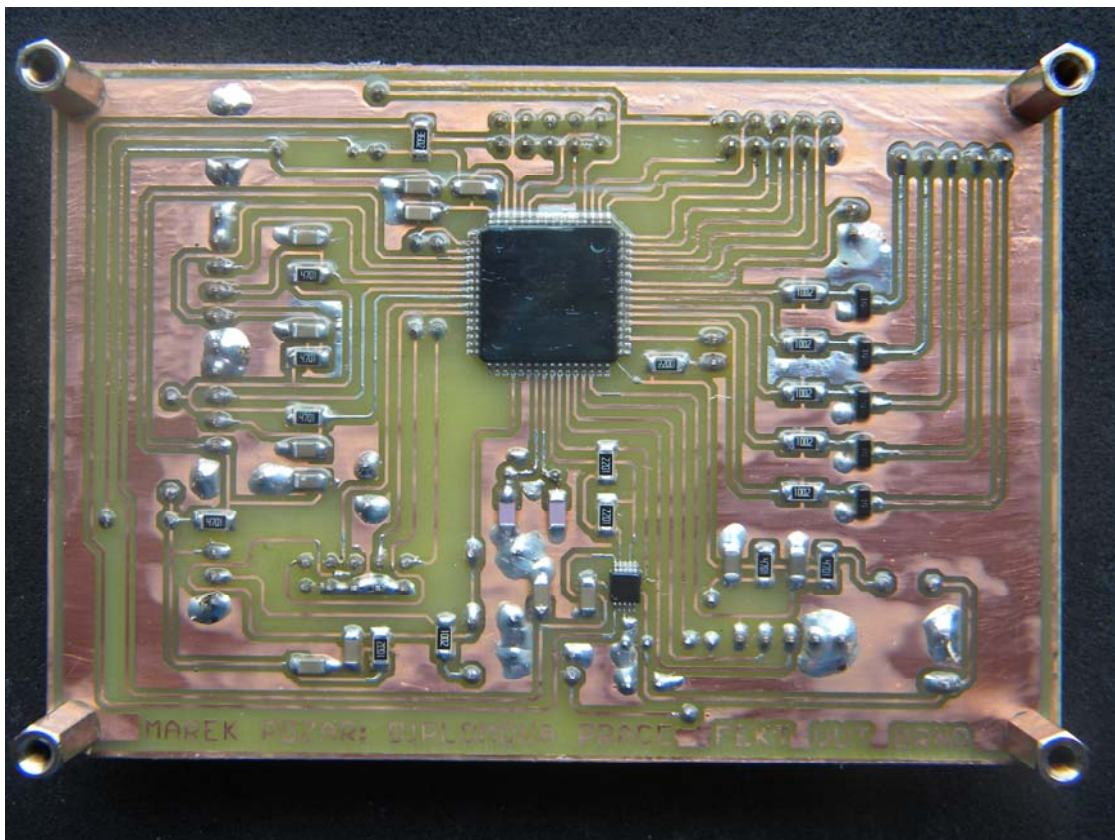
C.2 Obrazec plošného spoje výkonová část, realizace



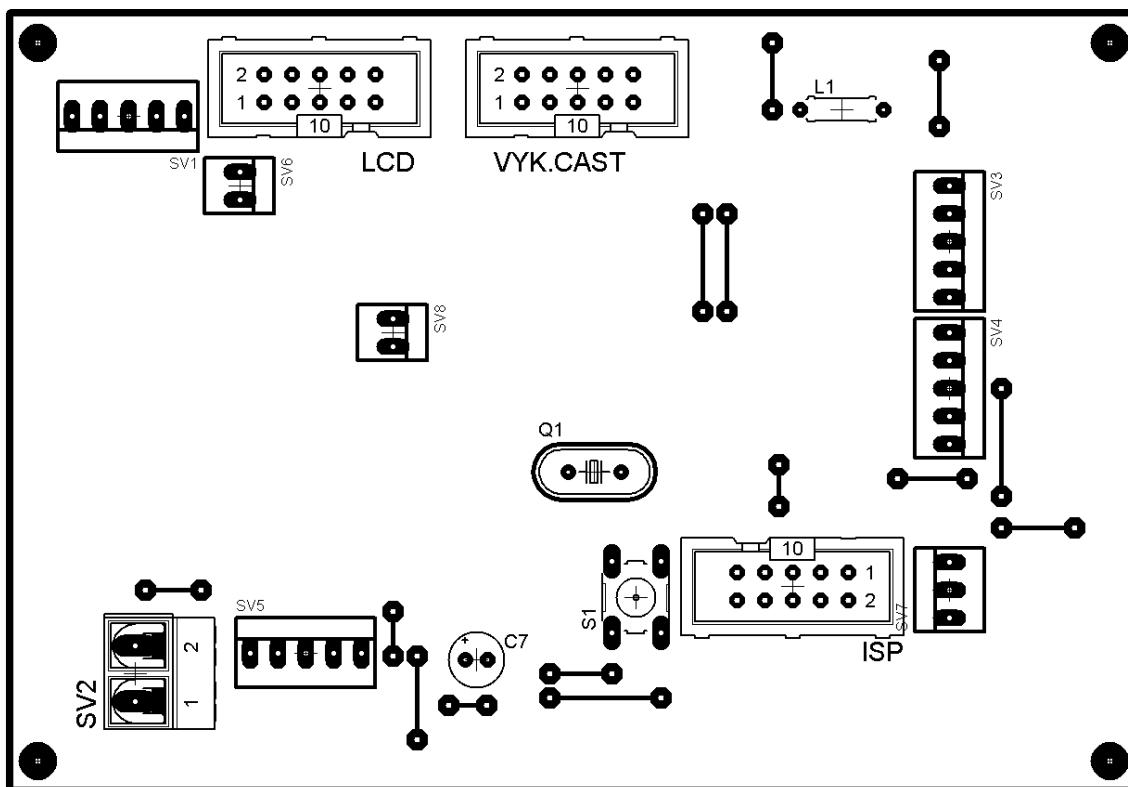
C.5 Obrazec plošného spoje ovládací část



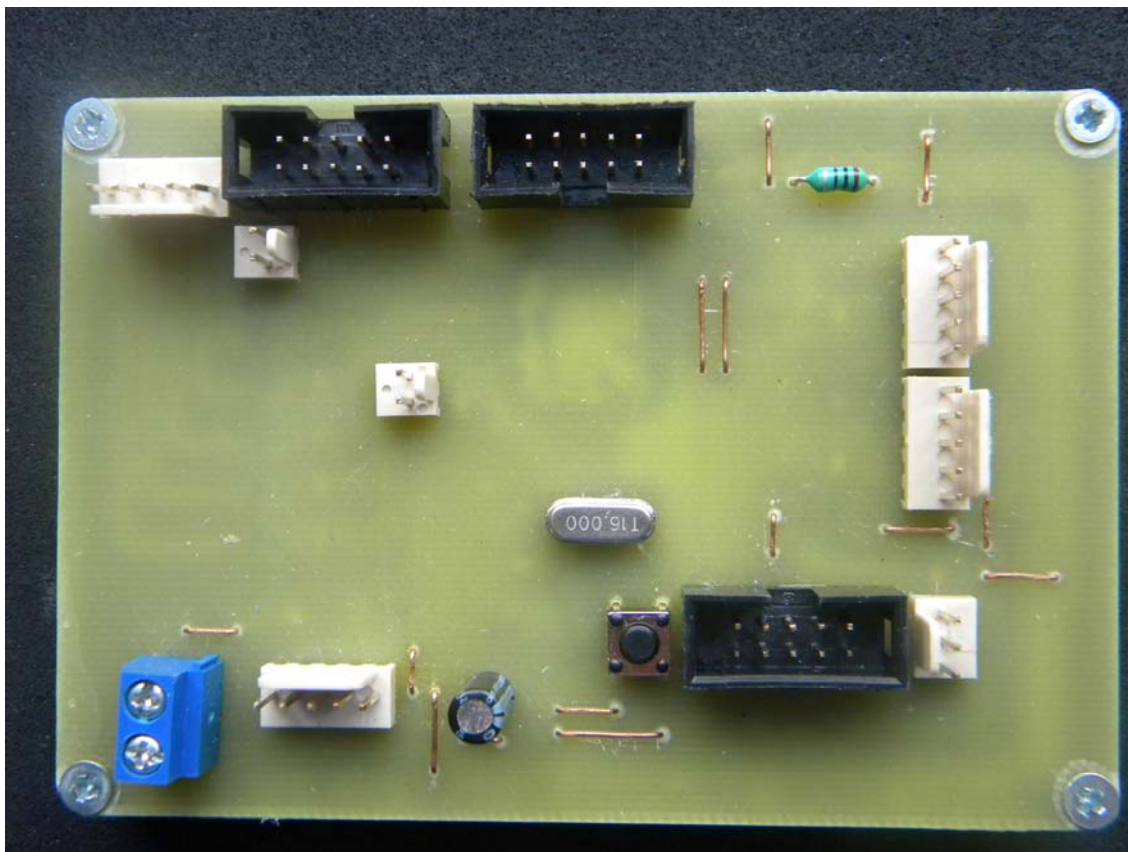
C.6 Obrazec plošného spoje ovládací část, realizace



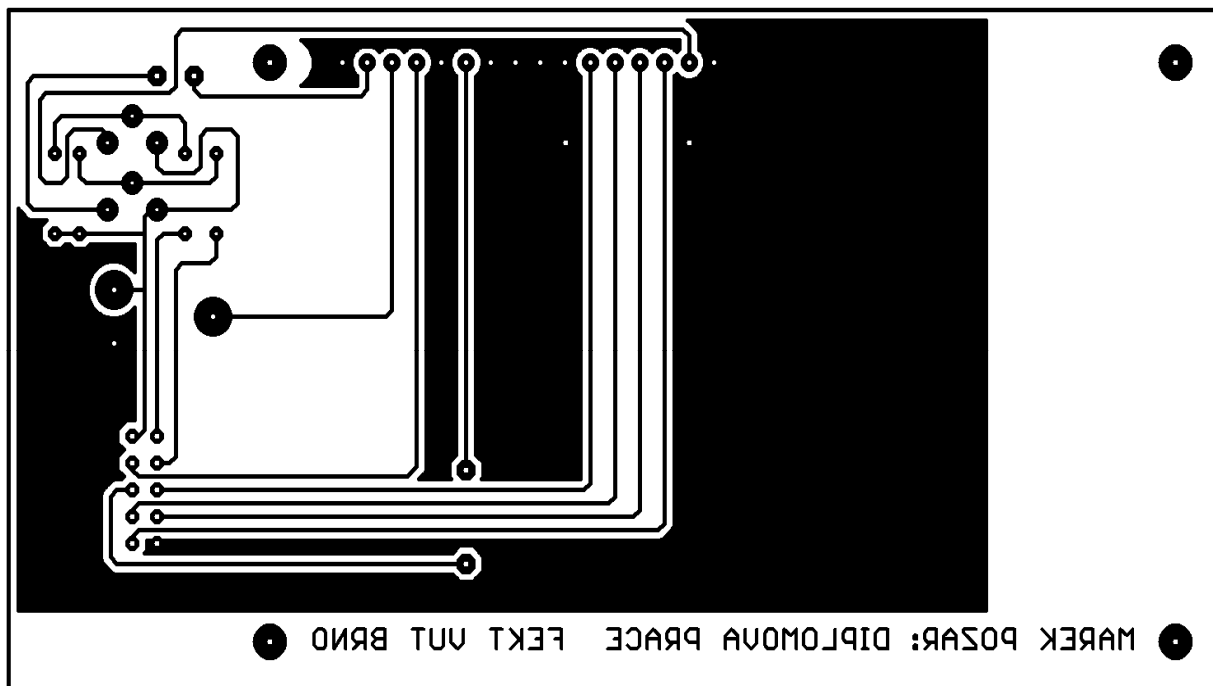
C.7 Osazení součástek plošného spoje ovládací část



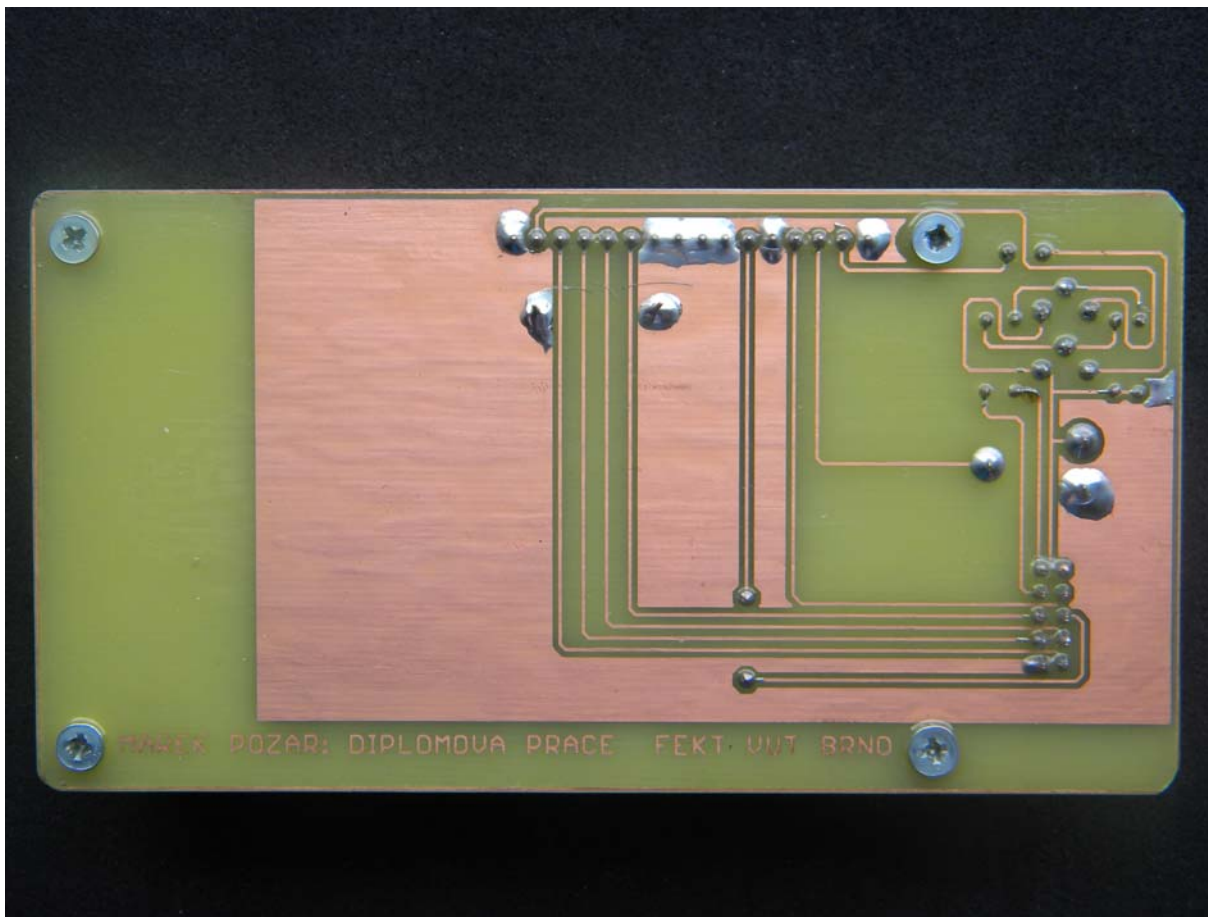
C.8 Osazení součástek plošného spoje ovládací část, realizace



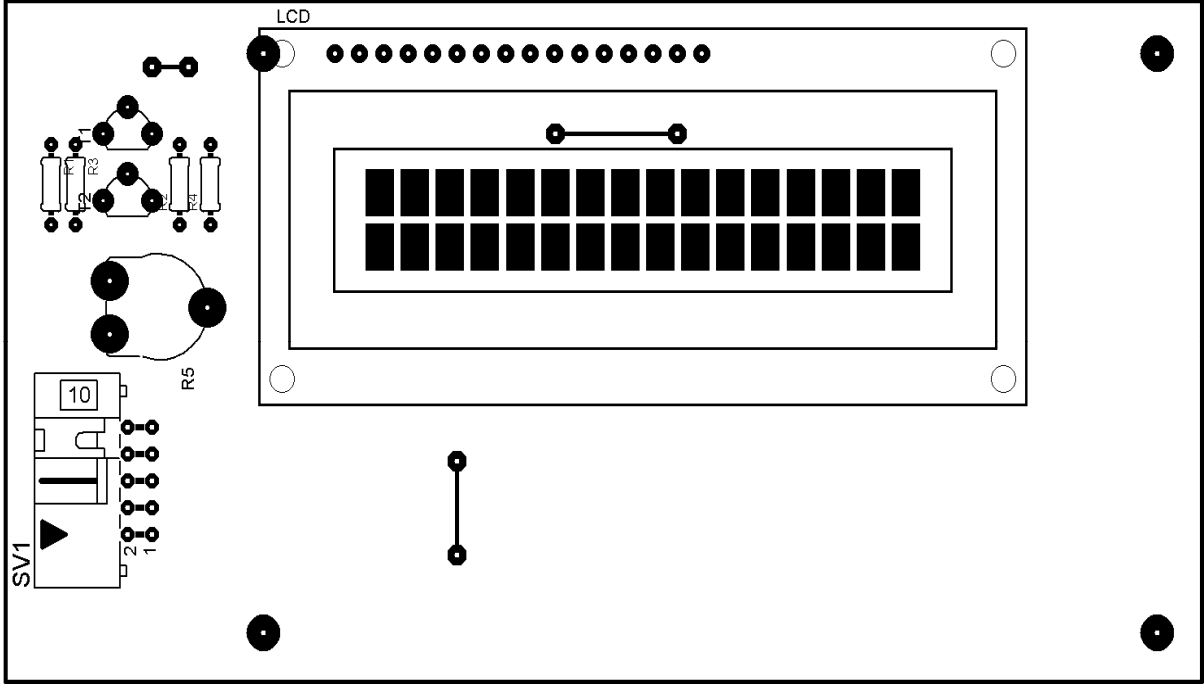
C.9 Obrazec plošného spoje LCD_modul



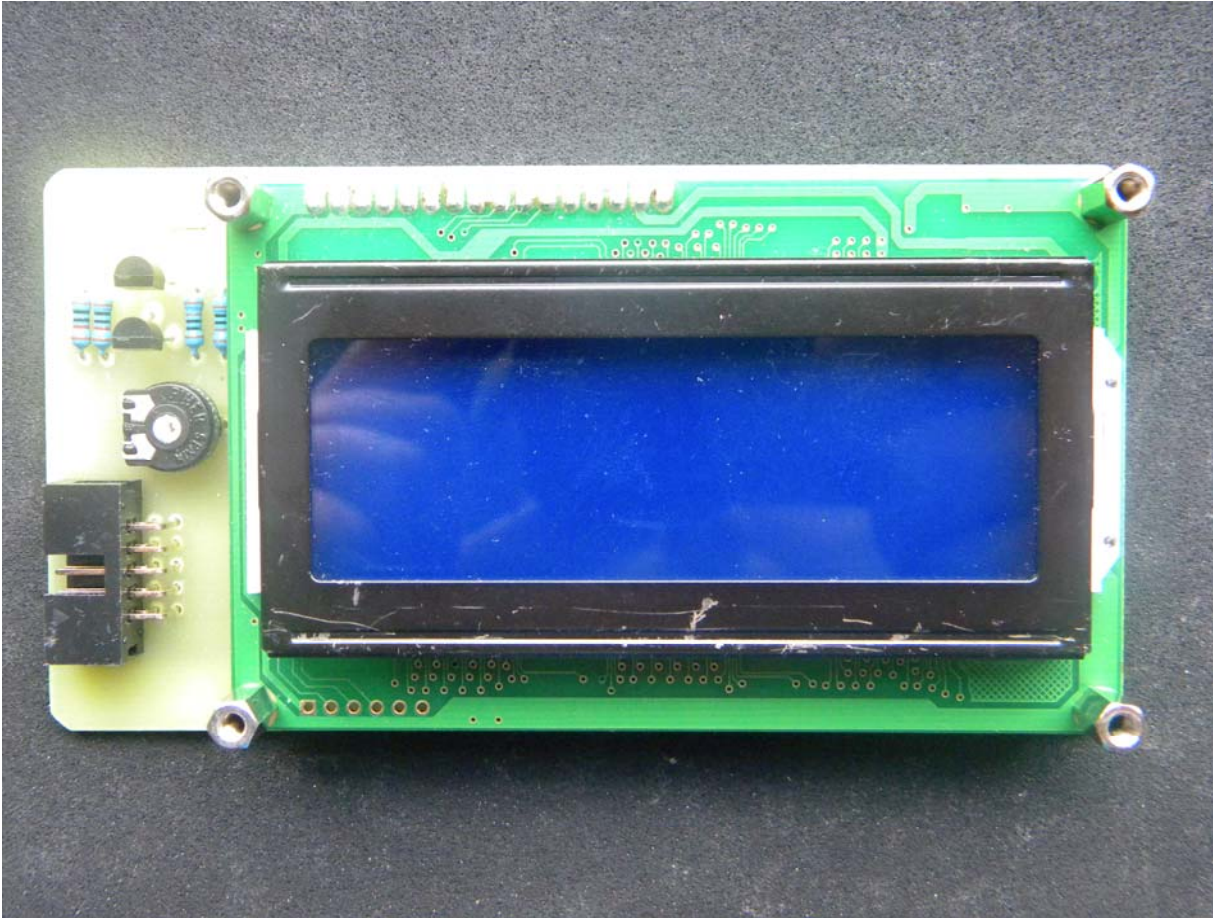
C.10 Obrazec plošného spoje LCD_modul, realizace



C.11 Osazení součástek plošného spoje LCD_modul, realizace



C.12 Osazení součástek plošného spoje LCD_modul, realizace



D FOTODOKUMENTACE

D.1 Přední panel



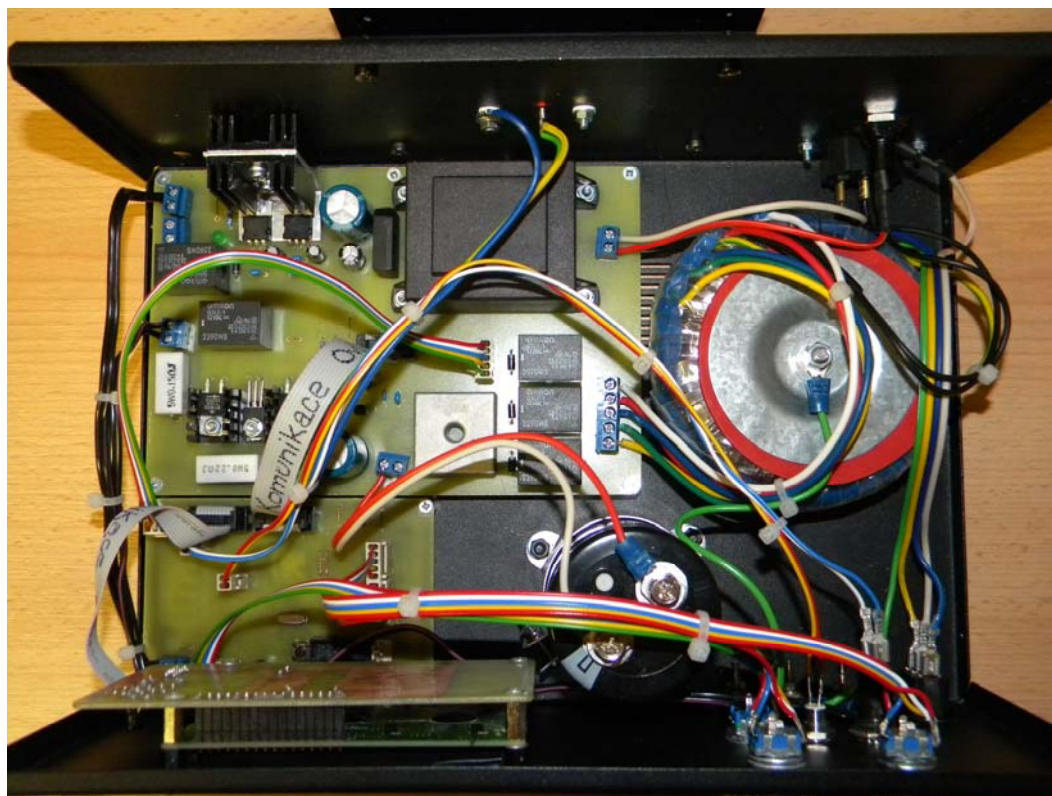
D.2 Zadní panel



D.3 Boční pohled



D.4 Vnitřní uspořádání



E SEZNAM SOUČÁSTEK

E.1 Ovládací část

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	22pF	SMD 1206	Keramický
C2	22pF	SMD 1206	Keramický
C3	100nF	SMD 1206	Keramický
C4	100nF	SMD 1206	Keramický
C5	100nF	SMD 1206	Keramický
C6	100nF	SMD 1206	Keramický
C7	10uF/50V	RM 2/5	Elektrolytický
C8	22nF	SMD 1206	Keramický
C9	22nF	SMD 1206	Keramický
C10	22nF	SMD 1206	Keramický
C11	22nF	SMD 1206	Keramický
C12	22nF	SMD 1206	Keramický
C13	22nF	SMD 1206	Keramický
C14	100nF	SMD 1206	Keramický
C15	100nF	SMD 1206	Keramický
C16	100nF	SMD 1206	Keramický
R1	10k	SMD 1206	
R2	10k	SMD 1206	
R3	36k	SMD 1206	
R4	10k	SMD 1206	
R5	10k	SMD 1206	
R6	10k	SMD 1206	
R7	10k	SMD 1206	
R8	2k2	SMD 1206	
R9	2k2	SMD 1206	
R10	4k7	SMD 1206	
R11	4k7	SMD 1206	
R12	4k7	SMD 1206	
R13	4k7	SMD 1206	
R14	4k7	SMD 1206	
R15	4k7	SMD 1206	
R16	10k	SMD 1206	
R17	220	SMD 1206	
Q1	16MHz	HC49U70	Krystal
Q2	BC847	SOT23	NPN
Q3	BC847	SOT23	NPN
Q4	BC847	SOT23	NPN
Q5	BC847	SOT23	NPN
Q6	BC847	SOT23	NPN
ISP	Konektor MLW10G	MLW10	Programátor
LCD	Konektor MLW10G	MLW10	Připojení LCD
VYK.CAST	Konektor MLW10G	MLW10	Připojení Vyk.části

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
IC1	ATmega 128	TQFP64	Mikroprocesor
AD5627		MSOP10	D/A převodník
S1		B3F-10XX	Resetovací tlačítko
L1	10uH	0207/7	Tlumivka
SV1	Konektor molex	22-23-2051	RELE
SV2	Konektor ARK500/2	ARK500/2	Napájení
SV3	Konektor molex	22-23-2051	IR3
SV4	Konektor molex	22-23-2051	IR2
SV5	Konektor molex	22-23-2051	IR1
SV6	Konektor molex	22-23-2051	Výstupní tlačítko
SV7	Konektor molex	22-23-2051	Teplotní čidlo
SV8	Konektor molex	22-23-2051	Sig.LED

E.2 Výkonová část

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	100nF	50-035X075	Keramický
C2	100nF	50-035X075	Keramický
C3	100nF	50-035X075	Keramický
C4	1mF	RM 7,5/16	Elektrolytický
C5	1mF	RM 7,5/16	Elektrolytický
C6	100uF	RM 3,5/8	Elektrolytický
C7	10uF	RM 2/5	Elektrolytický
C8	10uF	RM 2/5	Elektrolytický
C9	100nF	50-035X075	Keramický
C10	100nF	50-035X075	Keramický
C11	100nF	50-035X075	Keramický
C12	100nF	50-035X075	Keramický
R1	47k	0204/7	Metalizovaný
R2	6k2	0204/7	Metalizovaný
R3	1k	0204/7	Metalizovaný
R4	5k	0204/7	Metalizovaný
R5	1k	0204/7	Metalizovaný
R6	220R	0204/7	Metalizovaný
R7	0.2333R	0922/22	Drátový
R8	0.33R	0922/22	Drátový
R9	10k	SMD 1206	R1206
K1	12V/10A	G5LE	RELE
K2	12V/10A	G5LE	RELE
K3	12V/10A	G5LE	RELE
K4	12V/10A	G5LE	RELE
K5	12V/10A	G5LE	RELE
D1	1N4007	D041	Univerzální
D2	1N4007	D041	Univerzální
D3	1N4007	D041	Univerzální
D4	1N4007	D041	Univerzální
D5	1N4007	D041	Univerzální
D8	BYW29	T0220A	Nízkoúbytková
D9	BYW29	T0220A	Nízkoúbytková
D10	LED GREEN	5mm	Signalizační
IC1	L4940V0	T0220	Stabilizátor +5V
IC2	7812	T0220	Stabilizátor +12V
RIDICI_CAST	Konektor MLW10G	MLW10	Připojení ovlad.části
SV1	Konektor ARK500/2	ARK500/2	Ventilator
SV2	Konektor ARK500/2	ARK500/2	Napajeni ovla.cast
SV3	Konektor ARK500/5	ARK500/5	Sekun.odbocky
SV4	Konektor ARK500/2	ARK500/2	Sit.napeti
SV5	Konektor ARK500/2	ARK500/2	Filtr.kondez. 22 mF
SV6	Konektor ARK500/š	ARK500/3	MJ11016
SV7	Konektor ARK500/2	ARK500/2	Vystupni svorky
SV8	Konektor molex	22-23-2051	RELE

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
T1	BC557	TO-92C	PNP
T2	BC547	TO-92C	NPN
T3	BD911	TO220	NPN
TR1	THRE541-1X12	EI54-1B	Transformátor
U1	B250C10000R	B125C10000	Usměrňovací můstek
U2	B250C6000	B250C6000	Usměrňovací můstek

E.3 LCD modul

Název součástky	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	10k	0204/7	Metalizovaný
R2	1k	0204/7	Metalizovaný
R3	10k	0204/7	Metalizovaný
R4	1k	0204/7	Metalizovaný
R5	50k	PT10V	Trimr
SV1	Konektor MLW10G	MLW10	Připojení ovlad.části
T1	BC557	TO-92C	PNP
T2	BC557	TO-92C	PNP
LCD	MC2004B-SBL/H	TUXGR_16X2_R2	Displej

F OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Laboratorní_zdroj_rizeny_MCU.pdf	- kompletní práce v elektronické podobě
Laboratorní_zdroj_rizeny_MCU.doc	- kompletní práce v elektronické podobě
Ovladaci_program_pro_MCU	- adresář s programem pro mikroprocesor
Schemata	- adresář se schématy
Predlohy_DPS	- adresář s předlohami DPS
Obsah.txt	- výpis obsahu CD