

VLOŽIT TITULNÍ LIST

VLOŽIT ORIGINAL ZADÁNÍ

(při odevzdávání více kusů závěrečné práce, obsahuje originál zadání jen jedna z nich, ostatní obsahují pouze jeho okopírovanou kopii)

VLOŽIT PRVNÍ LIST LICENČNÍ SMLOUVY

(neplatí pro Semestrální projekt)

VLOŽIT DRUHÝ LIST LICENČNÍ SMLOUVY

(neplatí pro Semestrální projekt)

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem, simulací a realizací prototypu regulovatelného laboratorního zdroje napětí s proudovou ochranou nastavitelného pomocí potenciometrů s měřením a zobrazováním výstupního napětí a proudu pomocí mikroprocesoru a LCD displeje s možností nastavení napětí v rozmezí 0-30V a proudu 0-3A. V práci je také obsažen návrh chlazení výkonového tranzistoru a výsledky měření vlastností funkčního prototypu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zdroj, napětí, mikroprocesor, lcd

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with design, simulation and realization of a prototype of regulated laboratory power supply with adjustable current protection by potentiometers with measuring and displaying the output voltage and current using a microprocessor and LCD display with adjustable voltage range of 0 - 30V and current 0-3A. The thesis also includes design of power transistor cooling and the results of testing functional prototype.

KEYWORDS

Power supply, voltage, microprocessor, lcd

ŘÍHA, P. *Regulovatelný laboratorní zdroj*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 25 s., 6 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Götthans

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Regulovatelný laboratorní zdroj jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/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

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Götthansovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Obsah	viii
Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	x
Úvod	1
1 Výběr konceptu	2
2 Blokové zapojení	3
3 Napájení	4
4 Zdroj	9
5 Měření a zobrazování	12
6 Chlazení	17
7 Simulace	19
8 Měření základních parametrů	23
9 Závěr	25
Literatura	26
Seznam příloh	27
A Obvodové zapojení	28
B Desky plošných spojů	29
C Osazovací plány	30
D Soupiska součástek	31

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Blokové schéma zařízení	3
Obr. 2	Zjednodušený nákres transformátoru [5]	4
Obr. 3	Zapojení a průběhy Graetzova usměrňovacího můstku [6]	5
Obr. 4	Průběh před a po vyhlazení pomocí filtračního kondenzátoru [7]	5
Obr. 5	Schéma napájení	6
Obr. 6	Schéma zdroje	10
Obr. 7	Schéma měření	13
Obr. 8	Schéma desky LCD displeje	13
Obr. 9	Blokové schéma programu pro ovládání měření a zobrazování	15
Obr. 10	Schéma zapojení pro simulování obvodu	19
Obr. 11	Výsledek simulace výstupního napětí při nastavení potenciometru na 1/3 rozsahu	19
Obr. 12	Výsledek simulace výstupního napětí při nastavení potenciometru na 2/3 rozsahu	20
Obr. 13	Výsledek simulace maximálního výstupního napětí	20
Obr. 14	Výsledek simulace nastavení proudového omezení na minimum	21
Obr. 15	Výsledek simulace nastavení proudového omezení na 1/3 maxima	21
Obr. 16	Výsledek simulace nastavení proudového omezení na 2/3 maxima	22
Obr. 17	Výsledek simulace nastavení proudového omezení na maximum	22
Obr. 18	Zatěžovací charakteristiky zdroje	23

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Naměřené hodnoty

23

ÚVOD

Tato bakalářská práce se bude zabývat problematikou návrhu laboratorního zdroje napětí s proudovou ochranou využitelného při testování a napájení prototypů různých elektronických zařízení s jednoduchým ovládáním a zobrazováním velikosti výstupních veličin. Tato práce odůvodní použití vybraného konceptu, předvede návrh a realizaci laboratorního zdroje s využitím základních a všeobecně dostupných součástek tak, aby byl co možná nejjednodušší pro obsluhu, přičemž výstupem této práce bude kompletní teoretický rozbor problému, schéma zapojení, návrhy plošných spojů a realizovaný funkční prototyp včetně jeho proměřených vlastností.

Následující text je členěn do 9 základních částí. Kapitola 1 pojednává o výhodách jednotlivých konceptů. Kapitola 2 ukazuje blokově celé zařízení. Kapitola 3 se zabývá napájením všech částí zařízení. Samotný zdroj bude popsán v kapitole 4. Kapitola 5 pojednává o bloku měření a zobrazování. Kapitola 6 se zabývá chlazením celého zařízení. Výsledky simulací jsou obsaženy v kapitole 7. Měření základních parametrů je obsaženo v kapitole 8. Stručné shrnutí celé práce je v kapitole 9.

1 VÝBĚR KONCEPTU

Díky rozsáhlému trhu s elektronickými součástkami je v nynější době nepřehledné množství různých variant použitelných pro zapojení laboratorního zdroje. Následující kapitola se bude zabývat výhodami a nevýhodami třemi základními koncepty řízení.

1.1 Plně analogové řízení

Jedná se o nejjednodušší možnost, která obsahuje pouze analogové součástky bez nutnosti jakékoliv znalosti programovacích jazyků. Nevýhodou je značná rozsáhlost obvodového zapojení a tím i možnost vytvoření chyb při návrhu a následné realizaci obvodu.

1.2 Plně digitální řízení

Skládá se z integrovaných obvodů ovládaných pomocí instrukcí nejčastěji posílaných po sběrnici, přičemž jednotlivé bloky jsou obvykle podřízeny jednomu řídicímu mikroprocesoru. Tato možnost řízení celého zařízení je ze strany obvodového zapojení relativně jednoduchá, ovšem díky nutnosti ovládat několik integrovaných obvodů, stává se programová část tohoto zařízení velice rozsáhlou a složitou.

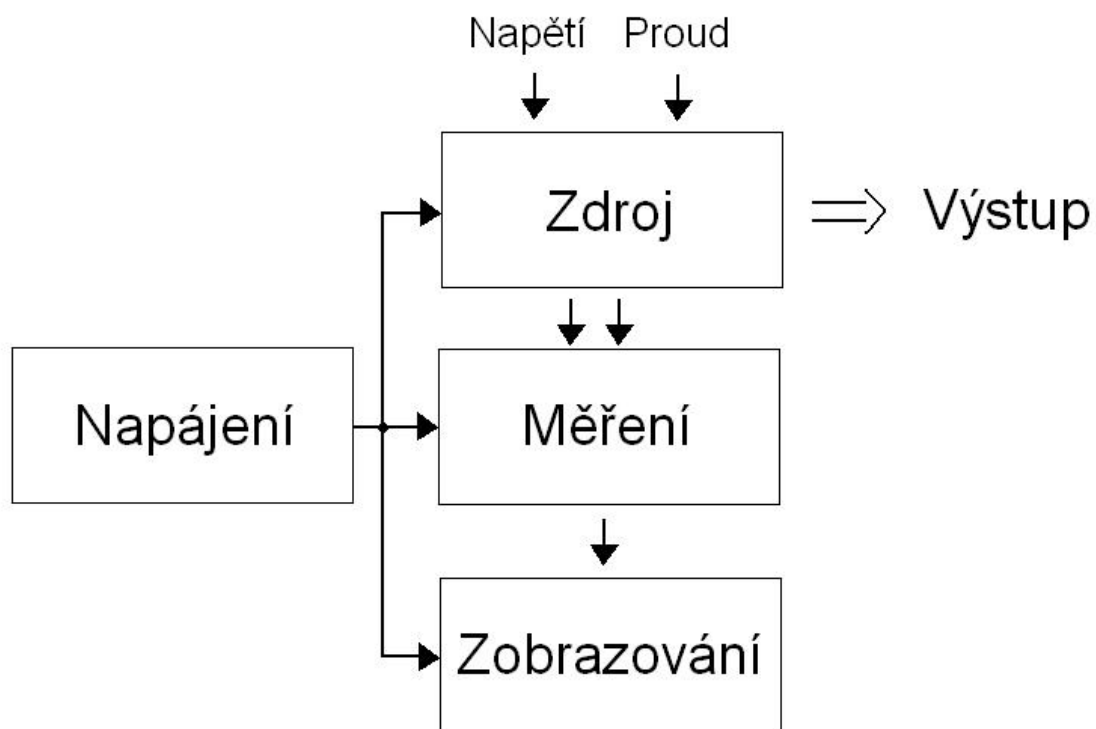
1.3 Analogové řízení s digitálním zobrazováním

Tato možnost kombinuje výhody obou předchozích, tedy jednoduchost zdrojové části v podobě analogového zapojení a měření a zobrazování výstupních hodnot pomocí mikroprocesoru a jeho integrovaných analogově digitálních převodníků.

Jako nejvhodnější pro předpokládanou aplikaci byla vybrána možnost třetí, tedy laboratorní zdroj s analogovým řízením a zobrazováním pomocí mikroprocesoru. Tato je pravděpodobně nejpříjemnější pro obsluhu z důvodu jednoduchého ovládní pomocí dvou potenciometrů a také z důvodu finančních nákladů vychází nejlépe.

2 BLOKOVÉ ZAPOJENÍ

Návrh kompletního zařízení vychází z blokového schématu na Obr.1, přičemž následující kapitoly se budou zabývat jednotlivými funkčními bloky.



Obr. 1 Blokové schéma zařízení

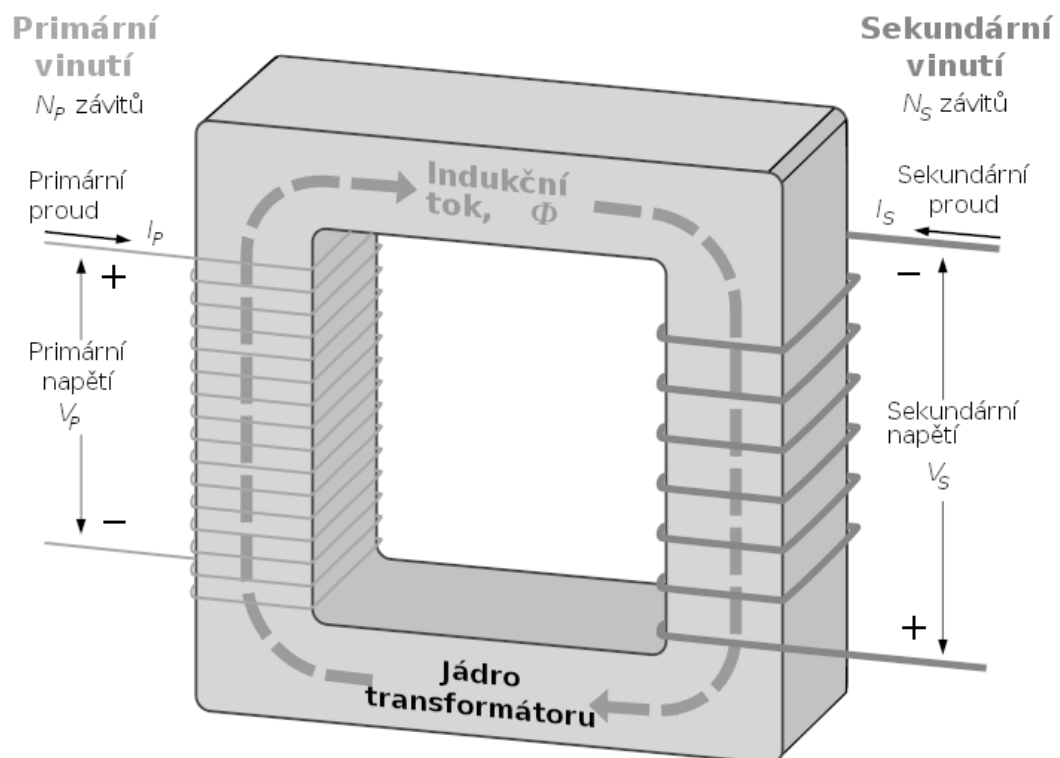
3 NAPÁJENÍ

3.1 Základní části napájení

Hlavní části napájení celého zařízení sestávají z transformátoru, Graetzova usměrňovacího můstku, filtračního kondenzátoru a napěťového stabilizátoru.

3.1.1 Transformátor

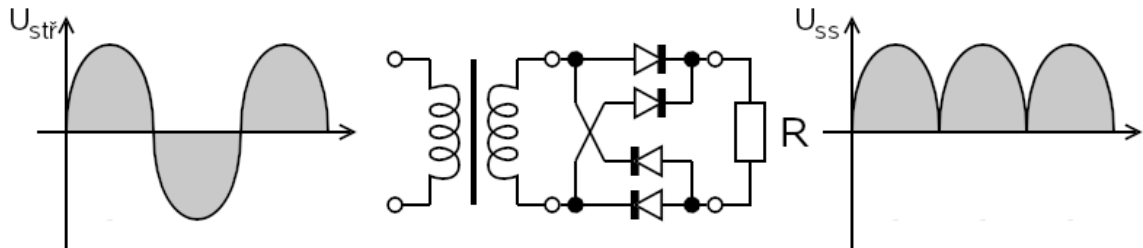
Pro snížení velikosti vstupního napětí ze síťových 230V na potřebných 24V je použit transformátor, což je elektrický netočivý stroj využívající vzájemné elektromagnetické indukce ke změně vstupního napětí na výstupní. Zjednodušený princip spočívá v přeměně střídavého proudu procházejícího vstupním vinutím transformátoru na magnetický tok, který je veden jádrem k sekundárnímu vinutí, na kterém je indukováno elektrické napětí.



Obr. 2 Zjednodušený náčrt transformátoru [5]

3.1.2 Graetzův usměrňovací můstek

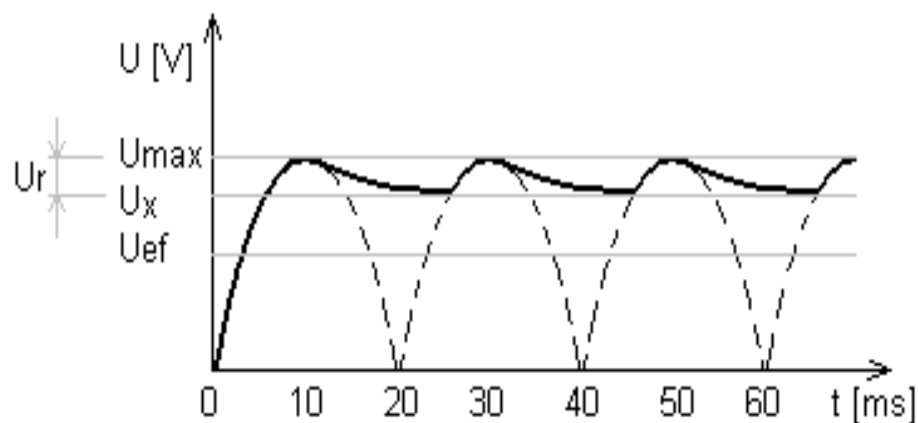
Poté, co bylo napětí transformováno na námi požadovanou hodnotu, je třeba jej usměrnit, čímž ze střídavého napětí vznikne stejnosměrné. K tomuto účelu se v nynější době nejčastěji používá tzv. Graetzův usměrňovací můstek, což jsou v reálu 4 usměrňovací diody zapojené dle Obr.3 zalité do jednoho pouzdra. Z obrázku jsou patrné průběhy vstupního a výstupního napětí, přičemž výstupní napětí je menší o úbytek asi 1,2V, který vznikne na dvou sériově zapojených diodách.



Obr. 3 Zapojení a průběhy Graetzova usměrňovacího můstku [6]

3.1.3 Filtrační kondenzátor

Pro vyhlazení zvlnění na výstupu můstkového usměrňovače se používá zpravidla elektrolytický kondenzátor s velkou kapacitou zapojený paralelně k výstupu, který v sobě hromadí elektrický náboj. Tento náboj je poté dodáván do obvodu při poklesu výstupního napětí můstku. Tímto dojde k vyhlazení průběhu pro další využití v obvodu, přičemž čím větší je kapacita zapojeného kondenzátoru, tím menší je zvlnění výstupního napětí.



Obr. 4 Průběh před a po vyhlazení pomocí filtračního kondenzátoru [7]

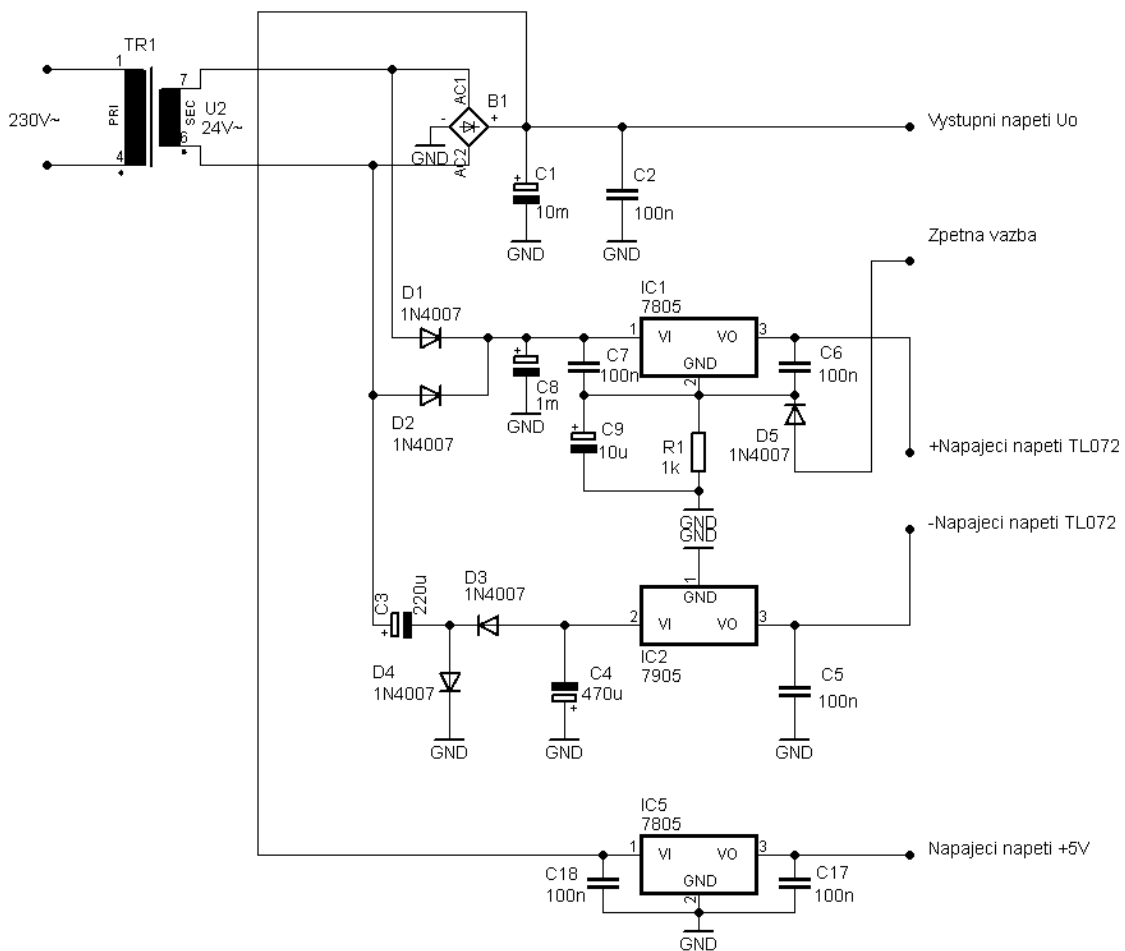
3.1.4 Napěťový stabilizátor

Z důvodu potřeby různých napájecích napětí v obvodu jsou použity stabilizátory napětí. Jedná se o elektrotechnické součástky umožňující stabilizaci napětí v případě změny vstupního napětí či výstupního proudu. Lze je rozdělit na stabilizátory parametrické, které využívají voltampérových charakteristik elektrotechnických součástek, nejčastěji zenerových diod a stabilizátory zpětnovazební, které porovnávají vnitřní referenční napětí s napětím výstupním a dle výsledku regulují napětí na výstupu. Zpětnovazební stabilizátory lze dále rozdělit na nastavitelné či pevné dle možnosti nastavení výstupního napětí a dále na kladné a záporné dle polarity stabilizovaného napětí.

3.2 Návrh napájení

3.2.1 Schéma napájení

Schéma zapojení zvoleného řešení napájení. Popis funkce následuje v části 3.2.2.



Obr. 5 Schéma napájení

3.2.2 Popis schématu napájení

Síťové napětí je přivedeno přes vypínač a pojistku na primární vinutí transformátoru, který jej převede na 24V. Toto napětí je poté usměrněno Graetzovým můstkem, filtrováno kondenzátorem s velkou kapacitou a dále přivedeno na výkonový tranzistor regulující výstupní napětí (viz Obr. 6). Pro napájení obvodu TL072 je použito dvou napěťových stabilizátorů, jednoho 7905, který je použit v katalogovém zapojení a dodává záporné napájecí napětí -5V nutné ke správné funkci tohoto obvodu a jednoho obvodu 7805, který je zapojen způsobem, který umožňuje změnu výstupního napětí vzhledem k napětí na výstupu zdroje, čímž se mění kladné napájecí napětí na TL072 a obvod není tímto vysokým napětím zbytečně přetěžován. Třetí napěťový stabilizátor je používán k napájení operačního zesilovače TL072 sloužícího k zvýšení měřeného napětí pro mikroprocesor.

3.2.3 Výpočet napájení

Sekundární napětí transformátoru se vypočítá pomocí vztahu

$$U_2 = \frac{U_o + U_D}{\sqrt{2}} = \frac{30 + 1,2}{\sqrt{2}} = 22,06 \text{ V} \quad (2.1)$$

kde U_2 je skutečné napětí na sekundárním vinutí, $U_o = 30\text{V}$ je maximální výstupní napětí a $U_D = 1,2\text{V}$ je typický úbytek napětí na můstkovém usměrňovači.

Pozn.: Byl zvolen běžně dostupný transformátor 24V, přičemž při výpočtu byl zanedbán úbytek na tranzistoru U_{CE} v otevřeném stavu, který je minimální.

Výpočet reálného napětí přiváděného na výkonový tranzistor pomocí vztahu

$$U_{OR} = U_2 \cdot \sqrt{2} - U_D = 24 \cdot \sqrt{2} - 1,2 = 32,74 \text{ V} \quad (2.2)$$

kde U_{OR} je skutečné napětí přiváděné na výkonový tranzistor, $U_2 = 24\text{V}$ je skutečné napětí na sekundárním vinutí transformátoru a $U_D = 1,2\text{V}$ je typický úbytek napětí na můstkovém usměrňovači.

Výpočet potřebného výkonu transformátoru dle vztahu

$$P_T = 1,2 \cdot I_{MAX} \cdot U_{OR} = 1,2 \cdot 3 \cdot 32,74 = 117,86 \text{ VA} \quad (2.3)$$

kde P_T je výkon transformátoru, I_{MAX} je maximální výstupní proud a U_{OR} je skutečné napětí přiváděné na výkonový tranzistor.

Kapacitu filtračního kondenzátoru lze vypočítat pomocí vztahu [1]

$$C = \frac{k \cdot I_{MAX}}{p \cdot U_{OR}} = \frac{200 \cdot 3}{2 \cdot 32,74} = 9,16 \text{ mF} \quad (2.4)$$

kde je konstanta pro dvoucestné usměrnění, I_{MAX} je maximální výstupní proud zdroje, p je činitel zvlnění v % a U_{OR} je skutečné napětí přiváděné na výkonový tranzistor

Pozn.: Byl zvolen kondenzátor o kapacitě 10mF

4 ZDROJ

4.1 Základní části zdroje

Hlavní části zdroje sestávají z výkonového tranzistoru, operačního zesilovače, potenciometru a napěťové reference

4.1.1 Výkonový tranzistor

Jde o jednu z nejdůležitějších součástí celého zařízení, jelikož je díky němu řízeno výstupní napětí, musí být schopen převést velký ztrátový výkon na teplo a musí být dostatečně rychlý, aby byl schopen reagovat na změny na výstupu.

4.1.2 Operační zesilovač

Jedná se o elektronický obvod, jenž je v nynější době základním prvkem většiny analogových elektronických zařízení, přičemž je zde použit pouze jako porovnávací člen mezi dvěma napětími. Z důvodu velkého rozšíření, všeobecného uplatnění a dobrých vlastností byl vybrán obvod TL072, který splňuje potřebu dvou operačních zesilovačů.

4.1.3 Potenciometr

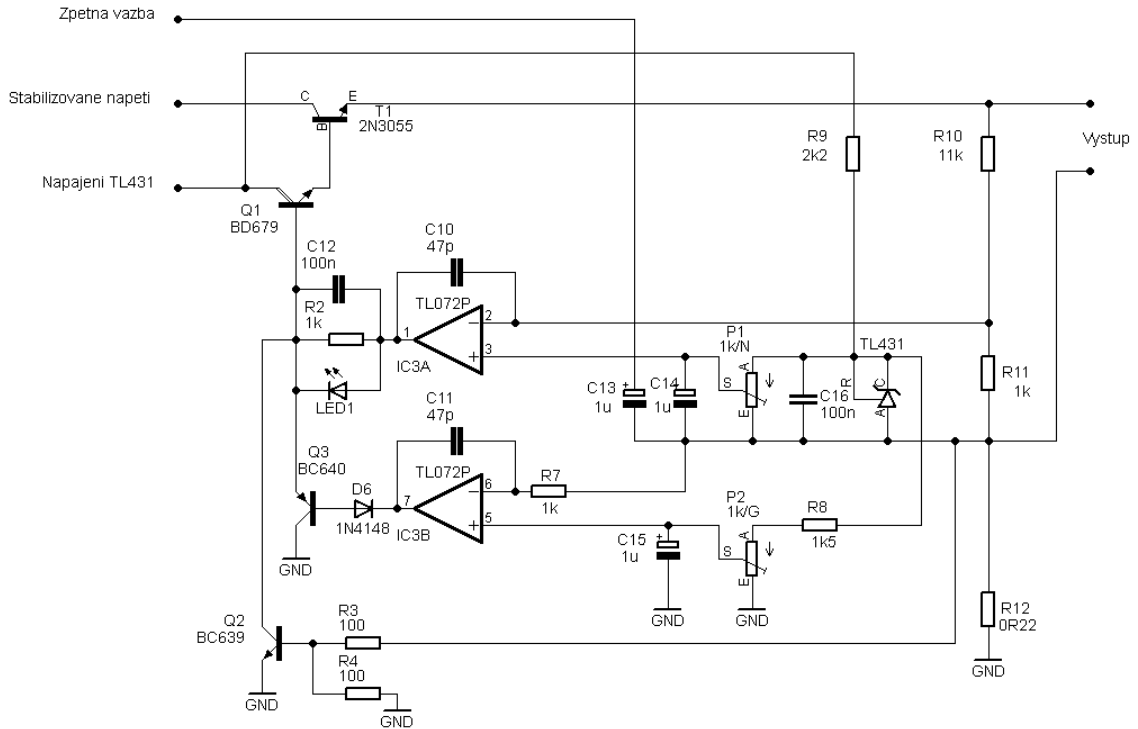
Ručně nastavitelný odporový dělič využívaný k přímému řízení elektronických zařízení. K řízení zdroje jsou použity dva potenciometry, a to jednoduchý otočný potenciometr s lineární charakteristikou změny odporu v celé délce dráhy pro nastavení napětí na výstupu a logaritmický otočný potenciometr pro nastavení proudového omezení na výstupu z důvodu možnosti přesnějšího nastavení nižšího výstupního proudu.

4.1.4 Napěťová reference

Elektronická součástka využívaná v případě potřeby napěťově stálého referenčního zdroje například pro porovnávání dvou napětí. V zařízení je využívána jako reference pro porovnávání nastaveného a výstupního napětí.

4.2 Návrh zdroje

4.2.1 Schéma a popis zdroje



Obr. 6 Schéma zdroje

4.2.2 Popis schématu zdroje

Stejnosměrné napětí je přivedeno na kolektor výkonového tranzistoru, přičemž první operační zesilovač obvodu TL072 porovnává napětí přiváděné přes dělič složený z rezistorů R10 a R11 s napětím nastaveným na lineárním potenciometru a podle tohoto ovládá pomocí darlingtonova tranzistoru BD679 výkonový tranzistor 2N3055, čímž se mění napětí na výstupu celého zařízení. Obvod TL431 slouží jako napěťová reference, se kterou je porovnáváno výstupní napětí. Druhý operační zesilovač obvodu TL072 porovnává napětí na snímacím rezistoru 0R22 vzniklé procházejícím proudem s napětím nastaveným pomocí logaritmického potenciometru a pomocí tranzistoru BC640 ovládá výstupní napětí, přičemž LED dioda indikuje funkci proudového omezení. V případě zkratového proudu tranzistor BC639 sníží výstupní napětí, přičemž je zde využito rychlejší reakce tranzistoru oproti operačnímu zesilovači.

4.2.3 Výpočet zdroje

Maximální ztrátový výkon na tranzistoru lze vypočítat pomocí vztahu

$$P_{ZTR} = I_{MAX} \cdot U_{OR} = 3 \cdot 32,74 = 98,22 \text{ W}$$

kde P_{ZTR} je maximální ztrátový výkon na tranzistoru, I_{MAX} je maximální výstupní proud zdroje a U_{OR} je skutečné napětí přiváděné na výkonový tranzistor.

Ze zadání dále vyplývá potřebný proud kolektorem $I_c=3\text{A}$ a napětí mezi kolektorem a emitorem $U_{ce}=32,74\text{V}$

Z nepřeberné nabídky tranzistorů byl vybrán tranzistor 2N3055, který s přehledem splňuje veškeré požadavky.

5 MĚŘENÍ A ZOBRAZOVÁNÍ

5.1 Základní části měření a zobrazování

Hlavními částmi bloku měření a zobrazování jsou mikroprocesor, operační zesilovač, napěťový dělič a LCD displej

5.1.1 Mikroprocesor

Jedná se o programovatelnou elektronickou polovodičovou součástku fungující na základě programu, který si musí koncový spotřebitel sám vytvořit. V nynější době je obsažen v téměř každém elektronickém zařízení z důvodu relativní jednoduchosti a univerzality jeho použití. Pro programování lze využít několik programovacích jazyků, přičemž je program v mikroprocesoru převeden do strojového kódu.

Mikroprocesor ATMEGA48

Z velice obsáhlé nabídky mikroprocesorů byl pro aplikaci vybrán mikroprocesor ATMEGA48 vyráběný firmou Atmel v úzkém pouzdře DIL28, jehož hlavními vlastnostmi jsou 4kByte ISP FLASH paměť, 512Byte RAM, 256Byte EEPROM, 2x8bit + 1x16bit čítač/časovač, 6xPWM, 6x10bit A/D převodník, USART, možnost programování pomocí SPI, TWI (~I2C), vnitřní oscilátor a 23 vstupně výstupních portů[11], což je pro aplikaci absolutně dostačující a je zde dostatek prostoru i pro další rozvoj.

5.1.2 Napěťový dělič

Je jedna z nejzákladnějších elektronických aplikací sestávající ze dvousériově zapojených rezistorů dělících vstupní napětí, přičemž výstupní napětí je přímo úměrné napětí vstupnímu.

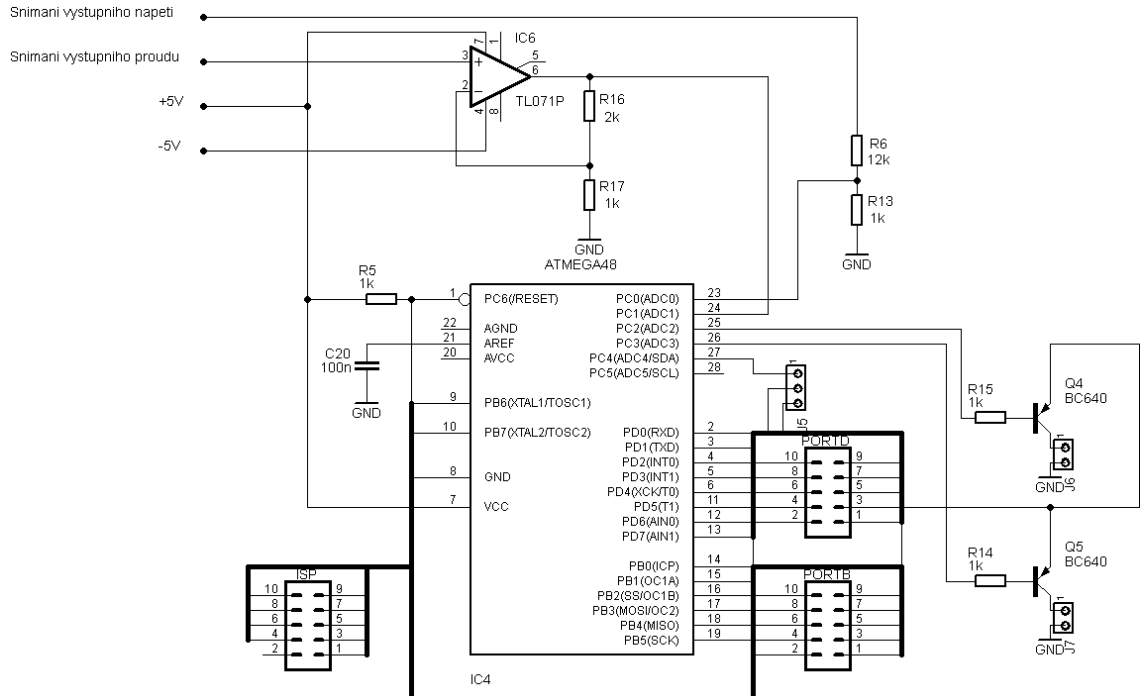
5.1.3 LCD displej

Jedná se o displej s tekutými krystaly pracující na principu polarizace procházejícího světla pomocí elektrodami ovládaných molekul tekutých krystalů. V případě, že na elektrody není přivedeno žádné napětí, 50% světla může procházet a displej se jeví jako prázdný. Po přivedení napětí na elektrody se vybrané molekuly otočí a polarizované světlo zachytí, čímž na displeji vznikne tmavý bod- pixel.

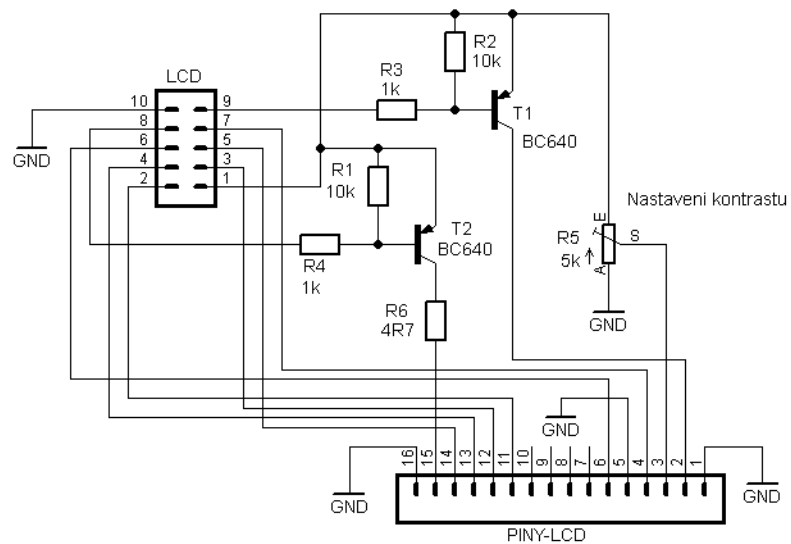
V zařízení byl použit nejběžnější alfanumerický LCD displej GDM1602A, tedy dvouřádkový s 16 znaky 5x7 na řádek, obsahující řadič Hitachi HD4478 nebo jeho ekvivalent.

5.2 Návrh měření a zobrazování

5.2.1 Schéma a popis bloku měření a zobrazování



Obr. 7 Schéma měření



Obr. 8 Schéma desky LCD displeje

5.2.2 Popis schématu měření

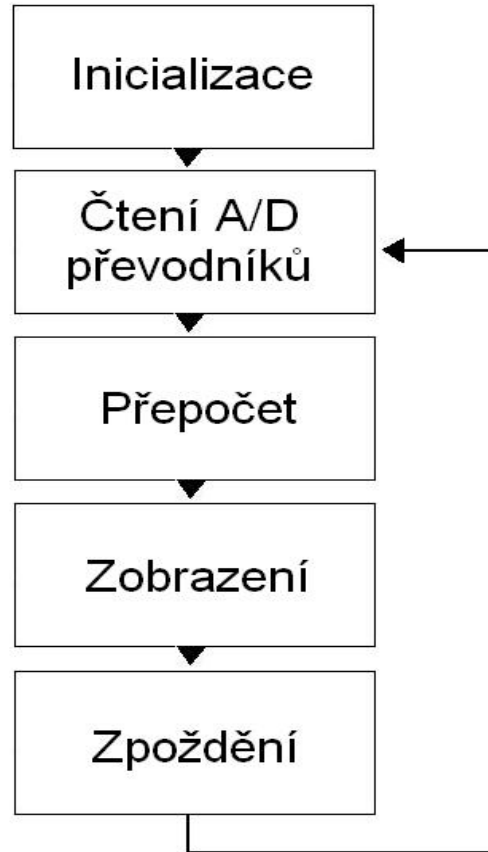
Výstupní napětí je přivedeno na odporový dělič složený z rezistorů R6 a R13, čímž se napětí sníží na hodnotu měřitelnou pomocí mikroprocesoru, tj. asi 0-2,5V, jelikož má mikroprocesor nastavenou vnitřní napěťovou referenci 2,55V. Napětí na snímacím rezistoru pro měření výstupního proudu je přivedeno na operační zesilovač v neinvertujícím zapojení zesilující 3x, čímž se napětí zvýší z důvodu využití celého rozsahu a tím i přesnosti analogově digitálního převodníku mikroprocesoru. Obě tato napětí jsou poté přivedena na vstupy A/D převodníku mikroprocesoru na piny PC0 a PC1. Porty B a D jsou vyvedeny na konektory pro zapojení například LCD displeje. Dále je zde zapojen konektor pro ISP programování pro zjednodušení následné optimalizace, na piny PC2 a PC3 mikroprocesoru jsou připojeny tranzistory v zapojení vhodném ke spínání menších zařízení v případě potřeby, např. ventilátoru či relé a na pinu PC4 je zapojen konektor pro pozdější případné připojení teplotního čidla. Pro zjednodušení a zpřehlednění jsou ve schématu použity sběrnice.

5.2.3 Popis schématu desky LCD displeje

Deska LCD displeje je zapojena dle doporučení výrobce pro 4bitovou komunikaci, přičemž je možné pomocí trimru nastavit kontrast displeje na nejvhodnější úroveň. Z důvodu jednoduchého nastavení je displej zapájen ze strany spojů, tudíž i při zabudování do zařízení, kdy by obvykle nebyl přístup k trimru nastavujícímu kontrast, je možné jej velice jednoduše nastavit. Tranzistory BC640 slouží k spínání napájení LCD displeje a jeho podsvětlení.

5.3 Program ovládající blok měření a zobrazování

Celý program je vytvořen v programu WinAVR v assembleru. Blokové schéma programu je na Obr.9.



Obr. 9 Blokové schéma programu pro ovládání měření a zobrazování

5.3.1 Inicializace

Tato část programu obsahuje nastavení vstupních a výstupních portů, děliček hodinového signálu, deklaraci proměnných, nastavení ukazatele zásobníku a nastavení analogově digitálního převodu.

5.3.2 Čtení A/D převodníků

V tomto bloku proběhne A/D převod z pinů ADC0 a ADC1 a následné uložení hodnot do proměnných pro další využití v programu.

5.3.3 Přepočet

Matematická úprava naměřených hodnot napětí a proudu na rozměr vhodný pro zobrazení na LCD displeji.

5.3.4 Zobrazení

Odeslání naměřených a přepočtených hodnot výstupního napětí a proudu na LCD displej.

5.3.5 Zpoždění

Z důvodu zamezení přeblikávání hodnot na LCD displeji mnohokrát za vteřinu je do programu zařazeno zpoždění, které po vykonání celého programu ponechá hodnoty na displeji asi 0,5s. Poté se program vrátí na blok čtení A/D převodníků a vykoná se znova.

6 CHLAZENÍ

6.1 Návrh chlazení

Z důvodu relativně velkého ztrátového výkonu, který bude vznikat na výkonovém tranzistoru je třeba tento chladit pomocí relativně masivního chladiče. Dále je třeba chladit napěťový stabilizátor 7805, který je zdrojem napětí pro mikroprocesor a LCD displej.

6.1.1 Výpočet chladiče výkonového tranzistoru

Nejvyšší ztrátový výkon na tranzistoru nastane v případě zkratu na výstupu při maximálním napětí, kdy jím bude protékat proud 3A a bude na něm maximální usměrněné napětí.

Maximální ztrátový výkon na tranzistoru lze vypočítat pomocí vztahu

$$P_{ZTR} = I_{MAX} \cdot U_{OR} = 3 \cdot 32,74 = 98,22 \text{ W}$$

kde P_{ZTR} je maximální ztrátový výkon na tranzistoru, I_{MAX} je maximální výstupní proud zdroje a U_{OR} je skutečné napětí přiváděné na výkonový tranzistor.

Poté pro výpočet tepelného odporu chladiče výkonového tranzistoru lze použít vztah [3]

$$R_{ti} = \frac{\Theta_{jmax} - \Theta_{amax}}{P_{ZTR}} - R_{th} = \frac{200 - 45}{98,22} - 1,5 + 0,4 = 0,48 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

kde Θ_{jmax} je maximální teplota přechodu, Θ_{amax} je typická maximální teplota okolí, P_{ZTR} je maximální ztrátový výkon na tranzistoru, R_{ti} je tepelný odpor mezi pouzdem tranzistoru a vnitřním systémem a R_{th} je typická hodnota tepelného odporu pro silikonové podložky

Jelikož je tato hodnota tepelného odporu pro nejextrémnější podmínky, bylo by možno zvolit i mnohem menší chladič, který by byl pro potřeby zařízení stále dostačující.

6.1.2 Výpočet chladiče pro obvod 7805

Kvůli velkému rozdílu mezi vstupním a výstupním napětím vytváří i malý odebíraný proud v řádu desítek až stovek miliampér nezanedbatelný ztrátový výkon, který je třeba chladit za pomoci chladiče. Hlavní odběr proudu vzniká díky podsvětlení LCD displeje.

Výpočet ztrátového výkonu na obvodu 7805 je možný dle vztahu

$$P_{ZTRI} = (I_{MAXP} + I_{MAXLCD}) \cdot (U_{IN} - U_{OUT}) = (0,2 + 0,12) \cdot (32,74 - 5) = 8,88 \text{ W}$$

kde P_{ZTRI} je maximální ztrátový výkon na obvodu 7805, I_{MAXP} je maximální proud odebíraný mikroprocesorem, I_{MAXLCD} je maximální proud odebíraný LCD displejem, U_{IN} je usměrněné napětí na vstupu obvodu a U_{OUT} je stabilizované napětí na výstupu obvodu.

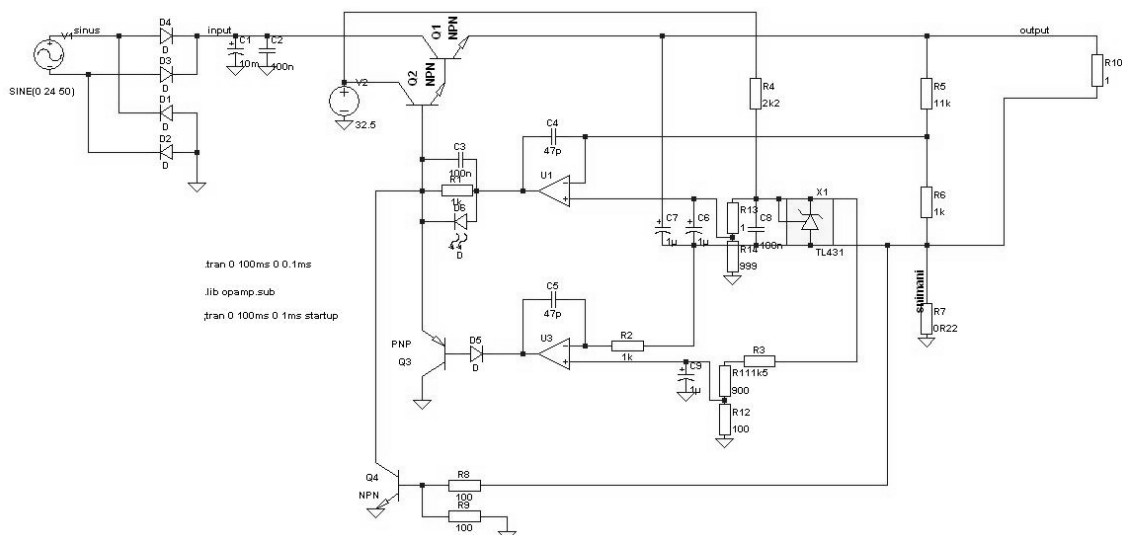
Výpočet tepelného odporu chladiče obvodu 7805 dle vztahu [3]

$$R_{ts} = \frac{\Theta_{jmax} - \Theta_{amax}}{P_{ZTRI}} - R_{ti} = \frac{150 - 45}{8,88} - 5 = 6,93 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

kde Θ_{jmax} je maximální teplota přechodu, Θ_{amax} je maximální teplota okolí, P_{ZTRI} je maximální ztrátový výkon na obvodu a R_{ti} je tepelný odpor mezi pouzdrem a vnitřním systémem

7 SIMULACE

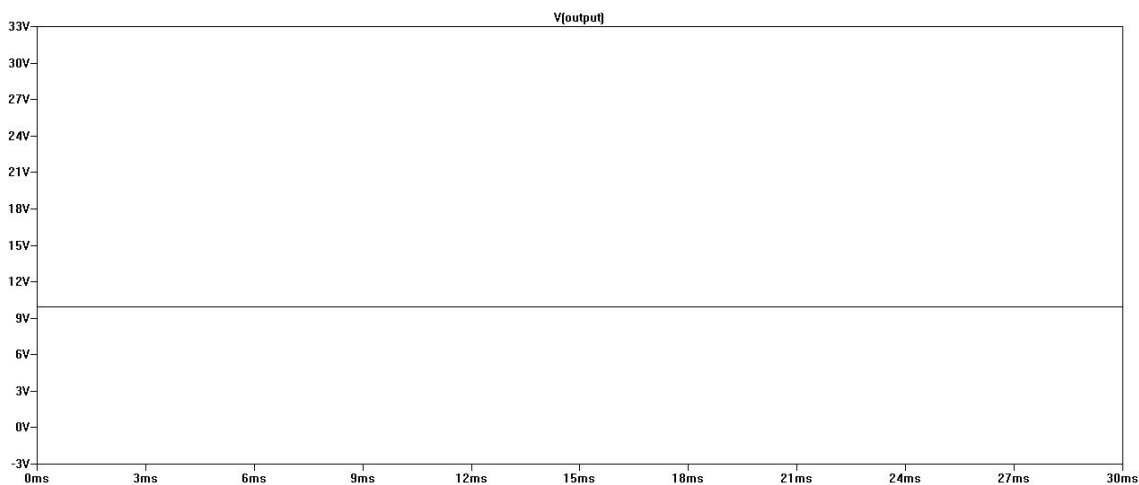
Před výrobou samotných desek plošných spojů byly provedeny simulace z důvodu ověření správnosti návrhu celého zařízení, přičemž byla testována celková funkčnost a správnost nastavení rozsahů pro výstupní napětí a proudové omezení pomocí programu Ltspice IV dle Obr.10. Napěťové dělicí poměry na potenciometrech byly nastavovány pomocí rezistorů R13 a R14 pro nastavení napětí a R11 a R12 pro nastavení proudového omezení.



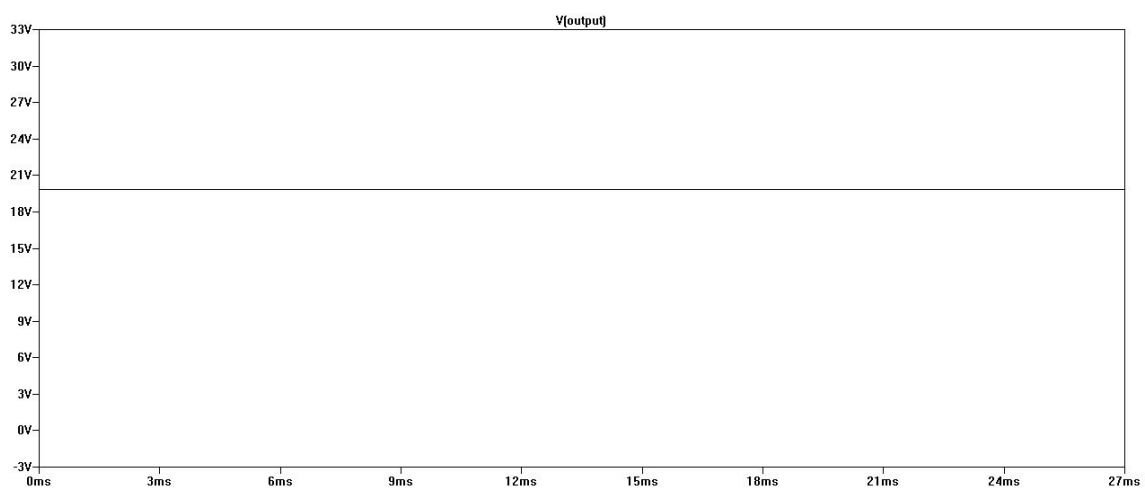
Obr. 10 Schéma zapojení pro simulování obvodu

7.1 Simulace výstupního napětí

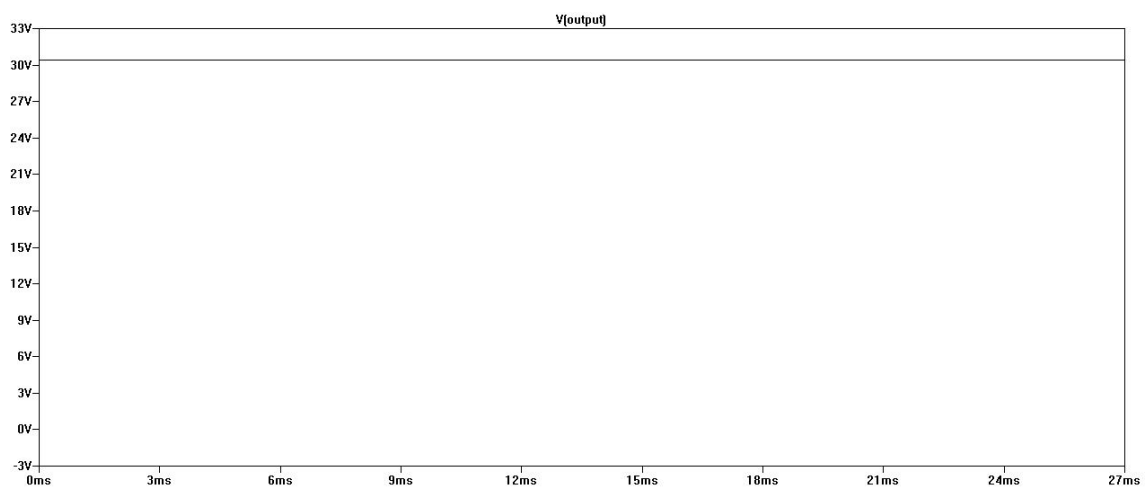
Při vytváření simulace byl předpoklad, že se odpor na potenciometru P1 mění lineárně a tudíž je i změna na výstupu lineární, tj. Od 0V do maxima, které ze simulace vyplynulo jako 30,43V, což je hodnota velice blízká hodnotě ze zadání, tedy 30V.



Obr. 11 Výsledek simulace výstupního napětí při nastavení potenciometru na 1/3 rozsahu



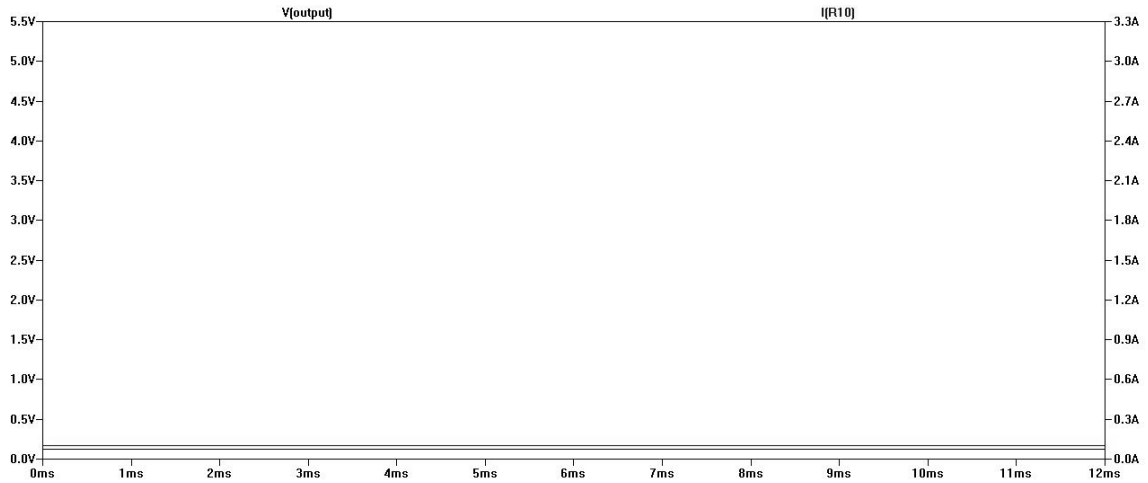
Obr. 12 Výsledek simulace výstupního napětí při nastavení potenciometru na 2/3 rozsahu



Obr. 13 Výsledek simulace maximálního výstupního napětí

7.2 Simulace funkce proudového omezení

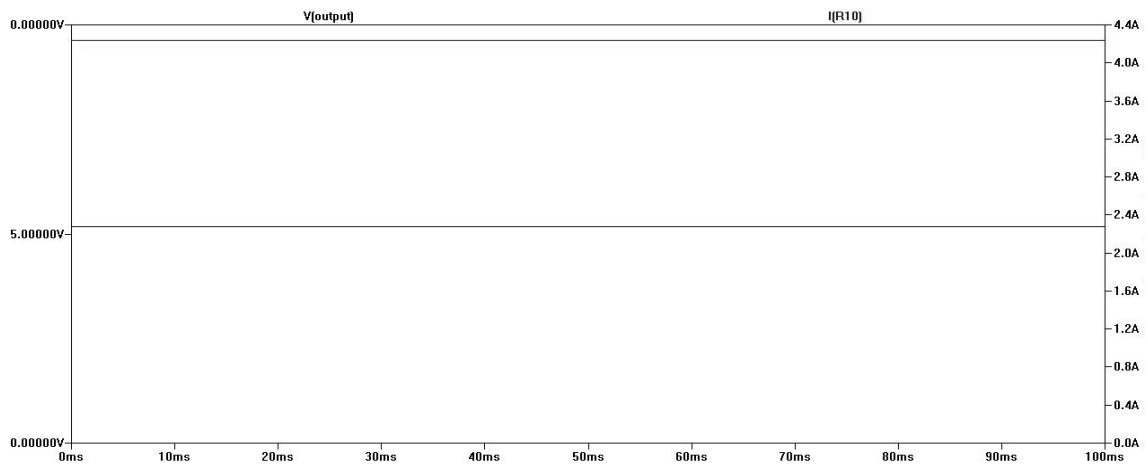
Pro simulování funkce proudového omezení byl na výstup připojen z důvodu možnosti měření a zobrazování výstupního proudu odpor 1Ω . Potenciometr nastavující výstupní napětí byl nastaven na maximum.



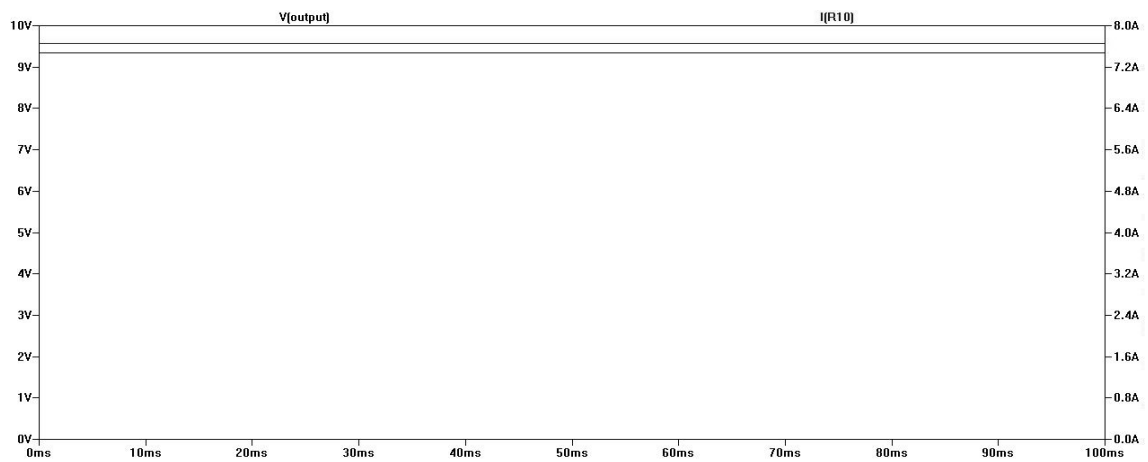
Obr. 14 Výsledek simulace nastavení proudového omezení na minimum



Obr. 15 Výsledek simulace nastavení proudového omezení na 1/3 maxima



Obr. 16 Výsledek simulace nastavení proudového omezení na 2/3 maxima



Obr. 17 Výsledek simulace nastavení proudového omezení na maximum

Ze simulací sice vyplývá, že by proudové omezení mělo být nastavitelné až do cca 7,5A, což ovšem v reálu nenastane a bylo třeba tento aspekt zakomponovat z důvodu možnosti přesnějšího nastavení kolem maxima, tj. 3A z důvodu použití logaritmického potenciometru. V případě, že by se potenciometr zapojil tím způsobem, že by při nastavení na maximum byl výstupní proud omezen na 3A, bylo by prakticky nemožné přesnější nastavení výstupního proudu kolem tohoto bodu.

8 MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ

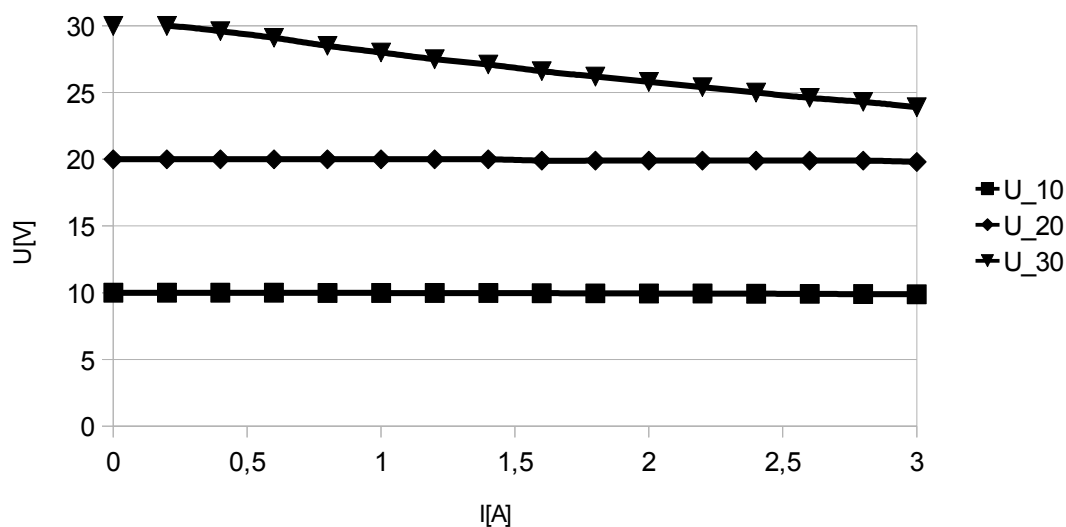
8.1 Zatěžovací charakteristiky

Na výstup byl připojen paralelně voltmetr pro měření výstupního napětí a sériově ampérmetr pro měření výstupního proudu. Poté bylo nastaveno výstupní napětí 10V, a na výstup laboratorního zdroje byl zapojen reostat nastavený na maximum. Snižováním jeho odporu byl zvyšován proud jím protékající a hodnoty obou veličin byly zaznamenávány. Tento postup byl dále opakován pro napětí 20 a 30V.

Výstupní proud I[A]	Napětí na výstupu U_10 [V]	Napětí na výstupu U_20 [V]	Napětí na výstupu U_30 [V]
0	10	20	30
0,2	10	20	30
0,4	10	20	29,6
0,6	10	20	29,1
0,8	9,99	20	28,5
1	9,98	20	28
1,2	9,97	20	27,5
1,4	9,97	20	27,1
1,6	9,96	19,9	26,6
1,8	9,95	19,9	26,2
2	9,94	19,9	25,8
2,2	9,93	19,9	25,4
2,4	9,92	19,9	25
2,6	9,91	19,9	24,6
2,8	9,89	19,9	24,3
3	9,88	19,8	23,9

Tabulka 1 Naměřené hodnoty

Zatěžovací charakteristiky zdroje



Obr. 18 Zatěžovací charakteristiky zdroje

8.2 Měření rychlosti funkce proudového omezení

Měření probíhalo nastavováním proudového omezení po 0,5A, přičemž byl výstup zkratován pomocí vodiče a na osciloskopu byl zobrazen průběh klesajícího výstupního napětí, z něhož byla změřena pomocí kurzorů rychlost proudového omezení. Tato rychlost vyšla pro prakticky všechna nastavení proudového omezení na 3ms.

9 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout podklady pro realizaci regulovatelného laboratorního zdroje, ověřit funkčnost získaných obvodových zapojení pomocí simulací v programu k tomuto účelu vhodném a na základě výsledků navrhnout desky plošných spojů, realizovat prototyp a proměřit jeho reálné vlastnosti.

Teoretická část

Řešení bakalářské práce bylo rozděleno na návrhy jednotlivých částí, kterými bylo napájení celého zařízení, samotný zdroj a část měření a zobrazování.

Pro napájení celého zařízení byl zvolen transformátor s usměrňovačem, filtračními kondenzátory a stabilizátory napětí, přičemž celé toto uspořádání je schopné bez problému dodat potřebné napětí pro všechny části zbytku zařízení.

V samotném zdroji byl použit tranzistor 2N3055, který je pro dané použití ideální a byl již v minulosti autorem v podobné aplikaci otestovaný, dále byl použit léty prověřený obvod se dvěma operačními zesilovači TL072. Ze simulací provedených pomocí programu Ltspice vyplývá, že bude zdroj fungovat dle zadání.

Pro měření a zobrazování výstupních hodnot napětí a proudu byl použit mikroprocesor ATMEGA48 a LCD displej GDM1602A.

Pro chlazení výkonového tranzistoru byl z důvodu produkce relativně velkého množství tepla vybrán dle vypočtené hodnoty tepelného odporu pasivní chladič tvořený masivním hliníkovým profilem. Pro chlazení obvodu 7805 napájecího mikroprocesor a LCD displej byl použit menší pasivní chladič splňující s rezervou požadavky na chlazení této součástky.

Praktická část

Podle návrhů z teoretické části byly pomocí programu Eagle navrženy desky plošných spojů obou dílčích částí zařízení. Výroba desek plošných spojů byla zadána dílně na Ústavu radioelektroniky VUT v Brně. Po osazení hlavní deska obsahující části napájení, zdroj a měření fungovala až na proudové omezení bez problému, přičemž problém s touto částí byl vyřešen zakoupením kvalitních kovových potenciometrů místo potenciometrů s plastovým pouzdrům. Stejně tak deska pro LCD displej fungovala na první oživení.

Měření zatěžovacích charakteristik zdroje

Z měření zatěžovacích charakteristik zdroje vyplývá, že zdroj je stabilní při zvyšujícím se odběru proudu při nastaveném výstupním napětí 10V a 20V. Napětí se zvyšujícím se proudem poněkud strměji klesá v případě nastaveného výstupního napětí 30V, což lze přisuzovat úbytku napětí na snímacím rezistoru vřazeném před výstup a také vnitřnímu odporu zařízení, které bohužel není ideální.

LITERATURA

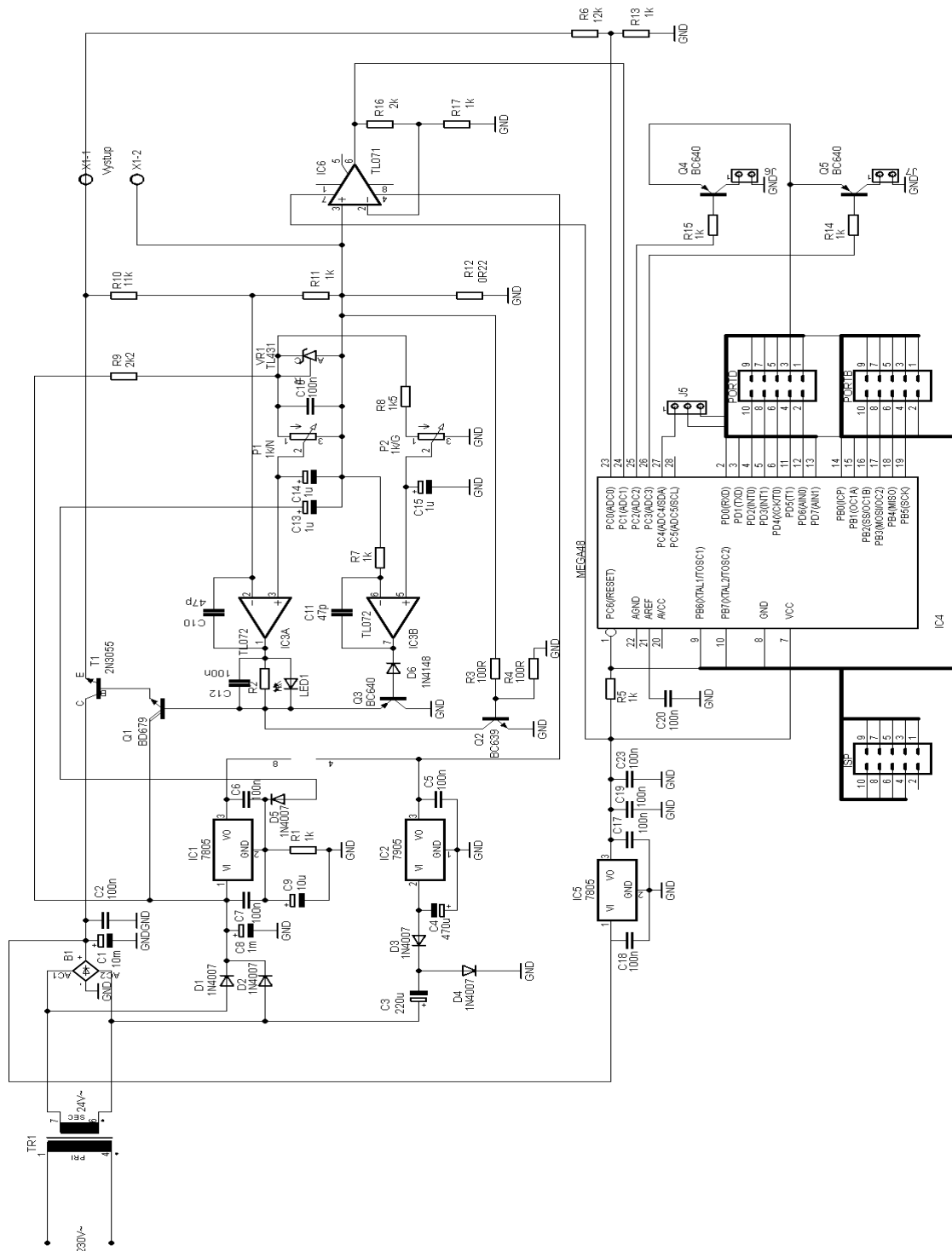
- [1] KREJČÍŘÍK, A. Lineární napájecí zdroje. I vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2001, ISBN 80-7300-002-4.
- [2] BIOLEK, D. Řešíme elektronické obvody aneb kniha o jejich analýze. Praha: BEN - technická literatura, 2004, ISBN: 80-7300-125-X
- [3] FUKÁTKO, T., FUKÁTKO, J. *Teplo a chlazení v elektronice II*. Praha: BEN – technická literatura, 2006, 120s. ISBN 80-7300-199-3
- [4] GM Electronic, *Sortiment nabídky GM Electronic* [on-line]. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz>> [cit. 3.3.2011]
- [5] Schéma transformátoru [on-line]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Transformer3d_col3_cs.svg> [cit. 15.5.2011]
- [6] Grätzův můstek [on-line]. Dostupné z WWW: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/10/Gratz.rectifier.png/600px-Gratz.rectifier.png>> [cit. 15.5.2011]
- [7] Graf průběhu napětí za usměrňovačem [on-line]. Dostupné z WWW: <<http://www.elweb.cz/c/50a.gif>> [cit. 15.5.2011]
- [8] STMicroelectronics, Katalogové listy TL072, TL072A, TL072B LOW NOISE J-FET DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS. STMicroelectronics 1998, 9s. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz>> [cit.2.2.2011]
- [9] Xiamen ocular, Katalogové listy GDM1602A SPECIFICATIONS OF LCD MODULE. Xiamen ocular 2007, 13s. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz>> [cit.3.2.2011]
- [10] STMicroelectronics, Katalogové listy TL431 PROGRAMABLE VOLTAGE REFERENCE. STMicroelectronics 2002, 10s. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz>> [cit.3.2.2011]
- [11] Atmel Corporation, Katalogové listy ATMEGA48/V, ATMEGA88/V, ATMEGA168/V 8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash. Atmel Corporation 2005, 361s. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz>> [cit.3.2.2011]
- [12] STMicroelectronics, Katalogové listy 2N3055, MJ2955 COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS. STMicroelectronics 1999, 4s. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz>> [cit.3.2.2011]

SEZNAM PŘÍLOH

Obsah	viii
Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	x
Úvod	1
1 Výběr konceptu	2
2 Blokové zapojení	3
3 Napájení	4
4 Zdroj	9
5 Měření a zobrazování	12
6 Chlazení	17
7 Simulace	19
8 Měření základních parametrů	23
9 Závěr	25
Literatura	26
Seznam příloh	27
A Obvodové zapojení	28
B Desky plošných spojů	29
C Osazovací plány	30
D Soupiska součástek	31

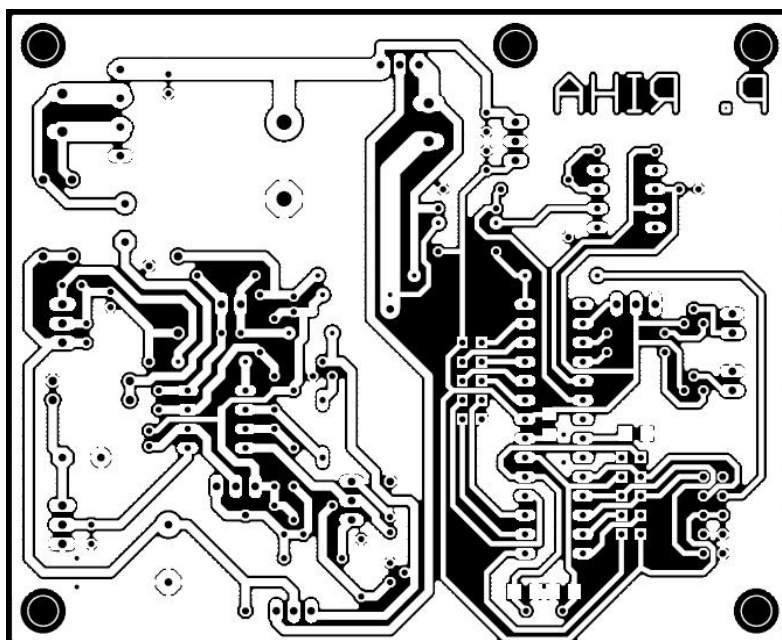
A OBVODOVÉ ZAPOJENÍ

A.1 Schéma zapojení hlavní desky

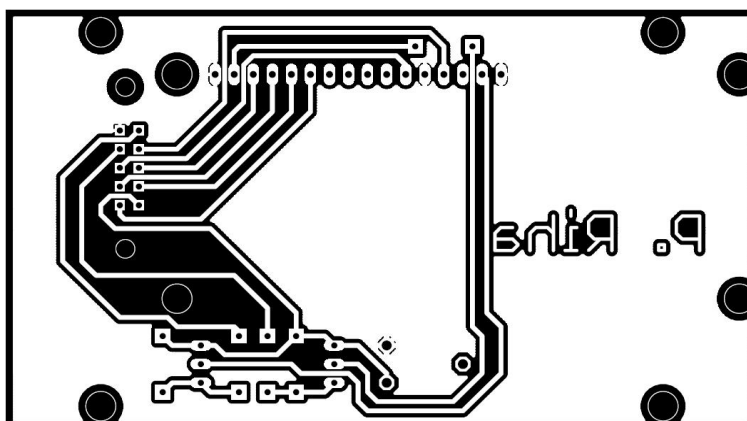


Obrázek I Kompletní schéma hlavní desky

B DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

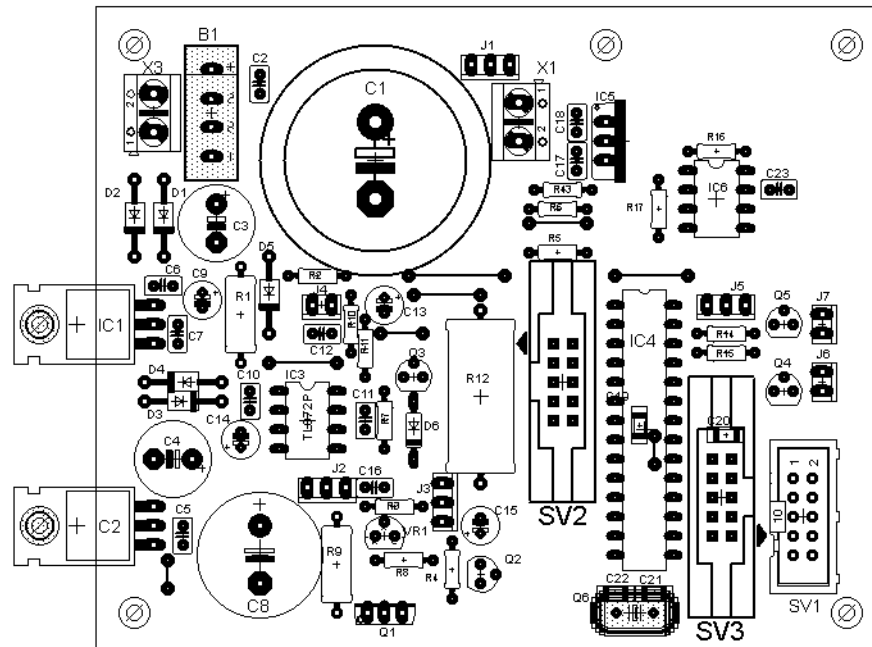


Obrázek II Hlavní deska plošných spojů M 1:1 (104 x 85 mm)

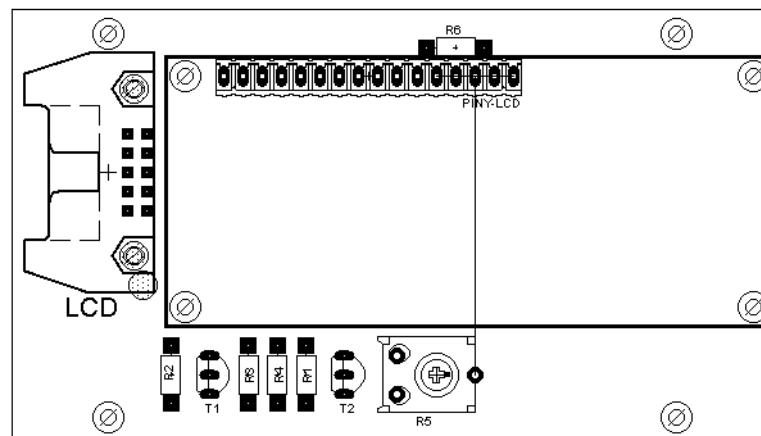


Obrázek III Deska plošných spojů pro LCD displej M 1:1 (100 x 57 mm)

C OSAZOVACÍ PLÁNY



Obrázek IV Osazovací plán hlavní desky



Obrázek V Osazovací plán desky LCD

D SOUPISKA SOUČÁSTEK

Hlavní deska

hodnota	pouzdro	počet kusů
Rezistory		
1k	0207	8
100R	0207	2
12k	0207	1
11k	0207	1
1k5	0207	1
2k	0207	1
1k	0412	1
2k2	0412	1
0R22	0922	1
Potenciometry		
1k/N	lineární	1
1k/G	logaritmický	1
Kondenzátory		
47p	keramický	2
100n	keramický	9
100n	SMD 1206	2
10m/50V	elektrolytický	1
1m/50V	elektrolytický	1
10u/50V	elektrolytický	1
220u/50V	elektrolytický	1
470u/50V	elektrolytický	1
1u/50V	elektrolytický	3
Diody		
1N4007		5
1N4148		1
LED	5mm čevená	1
Můstkový usměrňovač		
2KBP	2KBP	1

Napět'ové stabilizátory

7805	TO220	2
7905	TO220	1

Operační zesilovače

TL072	DIL08	1
TL071	DIL08	1

Tranzistory

BC639	TO92	1
BC640	TO92	3
2N3055	TO3	1
BD679	TO220	1

Napět'ová reference

TL431	TO92	1
-------	------	---

Mikroprocesor

ATMEGA48	DIL28 úzká	1
----------	------------	---

Konektory

PSL10		2
MLW10		1
PSH02	se zámkem	3
PSH03	se zámkem	3
ARK/2	svorkovnice	2

Deska LCD

hodnota	pouzdro	počet kusů
----------------	----------------	-------------------

Rezistory

10k	0207	2
1k	0207	2
4R7	0207	1

Trimr

5k	PT10 ležatý	1
----	-------------	---

Tranzistory

BC640	TO92	2
-------	------	---

Konektory

PSL10		1
-------	--	---

BL10	dutinková lišta	1
Vypínač podsvětlený		1
Chladič výkonový		1
LCD displej GDM1602		1
Svorky přístrojové		1