



## **Středoškolská technika 2011**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **LABORATORNÍ ZDROJ 0-30V 0-6A**

**Petr Horký**

Integrovaná střední škola, 4.ročník  
Kumburská 846, Nová Paka 509 31

---

---

# Laboratorní zdroj

## 0-30V 0-6A

---

---

### Technické parametry:

- výstupní napětí 0 – 30,3V
- proudové omezení 0,005 - 6A
- max. výkon zdroje – 180W (30V a 6A)
- max. výkon použitého transformátoru – 200VA (24V a 8,3A)
- chlazení – pasivní, žebrovaný hliníkový chladič
- použitý koncový tranzistor – KD 607 (TESLA)
- typ zdroje – lineární, klasická konstrukce založená na OZ
- měření veličin – přepínatelné měření U a I (měřidlo s IO ICL7107, LED displej 3,5 místa, přesnost měření 1%)
- použitá krabice – plechová (celkové rozměry 355 x 265 x 125mm)
- celková váha – 12kg
- napájení – síť 230V, AC
- obsahuje SOFT-START (obvod pro pomalé spouštění)
- ochrana pomocí čtyř pojistek (tavné, trubičkové)
- pomocný napájecí transformátor 30VA
- pomocný zdroj 9V (měřidlo)
- pomocný zdroj 12V (obvody SOFT-STARTU, přepínání měřených veličin)
- signalizace – sada 8 LED diod (síťové napájení, stav pojistek, stav SOFT-STARTU, filtrace , pomocné zdroje)
- použitá filtrace – 6x SPRAGUE kondenzátor 10 000uF, 40V

## **Anotace**

Předmětem této práce je kompletní výroba laboratorního zdroje pro domácí použití. Výsledkem je funkční vzorek zdroje. Součástí práce je kompletní obvodové řešení (část jsem navrhl a část převzal z jiných zdrojů), všechny desky tištěných spojů v rozměru 1:1 (kromě hlavní části ze softwarového omezení), popis jednotlivých částí místy doplněný fotografiemi, popis konstrukčního řešení a nakonec kompletní výkresová dokumentace krabice.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto maturitní práci včetně funkčního vzorku vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Petra Kunce a za použití zde vypsáných zdrojů informací.

Podpis : Petr Horký

---

vlastnoruční podpis autora

## **Poděkování:**

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Petru Kuncovi za užitečné rady při zpracovávání této práce a rovněž podpoře při komplikacích s užitím síťového napětí 230V, AC. Veškeré práce se síťovým napětím byly prováděny pod jeho dohledem ve školní laboratoři včetně většiny měření.

# Obsah

Obsah .....	5
Úvod .....	7
1 Seznámení se zdrojem .....	7
1.1 Základní pojednání o zdroji .....	7
1.2 Blokové schéma zdroje .....	8
2 Elektronika .....	9
2.1 Rozvod síťového napětí 230V, AC .....	10
2.1.1 Popis zapojení .....	10
2.1.2 Schéma zapojení .....	10
2.1.3 Tištěný spoj (DPS) .....	11
2.1.4 Fotografie funkčního vzorku .....	11
2.2 LED na 230V, AC .....	11
2.2.1 Popis zapojení .....	11
2.2.2 Schéma zapojení .....	12
2.2.3 Tištěný spoj (DPS) .....	12
2.2.4 Fotografie funkčního vzorku .....	13
2.3 Pomocný zdroj 9V a 12V .....	13
2.3.1 Popis zapojení .....	13
2.3.2 Schéma zapojení .....	14
2.3.3 Tištěný spoj (DPS) .....	14
2.3.4 Fotografie funkčního vzorku .....	15
2.4 SOFT-START .....	15
2.4.1 Popis zapojení .....	15
2.4.2 Schéma zapojení .....	17
2.4.3 Tištěný spoj (DPS) .....	18
2.4.4 Fotografie funkčního vzorku .....	19
2.5 Přepínání měřených veličin .....	19
2.5.1 Popis zapojení .....	19
2.5.2 Schéma zapojení .....	20
2.5.3 Tištěný spoj (DPS) .....	21
2.5.4 Fotografie funkčního vzorku .....	22

2.6	Měřidlo . . . . .	22
2.6.1	Popis zapojení . . . . .	22
2.6.2	Schéma zapojení . . . . .	24
2.6.3	Tištěný spoj (DPS) . . . . .	26
2.6.4	Fotografie funkčního vzorku . . . . .	28
2.7	Transformátory . . . . .	28
2.7.1	Obecné pojednání o transformátorech . . . . .	28
2.7.2	Hlavní transformátor . . . . .	28
2.7.3	Fotografie použitého transformátoru . . . . .	31
2.7.4	Pomocný transformátor . . . . .	32
2.7.5	Fotografie použitého transformátoru . . . . .	34
2.8	Usměrňovač . . . . .	34
2.8.1	Obecné pojednání o usměrňovačích . . . . .	34
2.8.2	Zvolené řešení . . . . .	34
2.8.3	Fotografie použitého můstku . . . . .	35
2.9	Filtrace napětí . . . . .	35
2.9.1	Elektrolytické kondenzátory . . . . .	35
2.9.2	Fotografie použitých kondenzátorů . . . . .	36
2.10	Hlavní část zdroje . . . . .	36
2.10.1	Popis zapojení . . . . .	36
2.10.2	Schéma zapojení . . . . .	40
2.10.3	Fotografie funkčního vzorku . . . . .	41
2.10.4	Tištěný spoj (DPS) . . . . .	41
3	Konstrukce, mechanická část . . . . .	42
3.1	Krabice . . . . .	42
3.1.1	Rozhodnutí o typu a tvaru krabice . . . . .	42
3.1.2	Popis výroby . . . . .	42
3.1.3	Fotografie vyrobené krabice . . . . .	44
	Závěr, zhodnocení . . . . .	44
	Seznam použité literatury a internetových zdrojů . . . . .	47
	Příloha – výkresová dokumentace krabice, fotografie dokončeného zdroje . . . . .	48

# Úvod

Laboratorní zdroj s plynule regulovatelným napětím na výstupu je nezbytným pomocníkem v každé elektrotechnické dílně. Je potřeba pro ožívování nových zapojení, k dočasnému napájení drobných přístrojů. Jestliže zdroj disponuje i proudovým omezením, ještě to zvyšuje jeho použitelnost. Já ho například používám i jako nabíječ silných NiMH akumulátorů. Parametry si přizpůsobím kterékoli aku sadě bez nutnosti hromady různých nabíječek. Při navrhování jsem vycházel z toho, že chci ze zdroje občas krátkodobě odebírat i 6 ampér a dlouhodobě asi do 3 až 4 ampér. To také odůvodňuje použití kabelů s relativně malým průřezem uvnitř zdroje. Při 6 ampérech dosahuje proudová hustota hodnoty 7,6 A/mm<sup>2</sup>. V praxi se přitom počítá v závislosti na prostředí s hodnotou v rozmezí 3 až 4 A/mm<sup>2</sup>. Nicméně při proudech do 3 až 4 ampér je kabeláž dostačující. Jako propojovací kabely jsem použil klasickou dvojlinku o průměru vodiče 1mm a průřezu 0.8mm<sup>2</sup>. Dvojlinku jsem zvolil kvůli zesílené izolaci. Používá se např. jako napájecí přívod ke spotřebičům s dvojitou izolací. Proto musí být opatřena dvojitou nebo v případě dvojlinky zesílenou izolací. V jednotlivých částech práce se budu věnovat výrobě elektroniky a poté i mechanické části.

## 1 Seznámení se zdrojem

### 1.1 Základní pojednání o zdroji

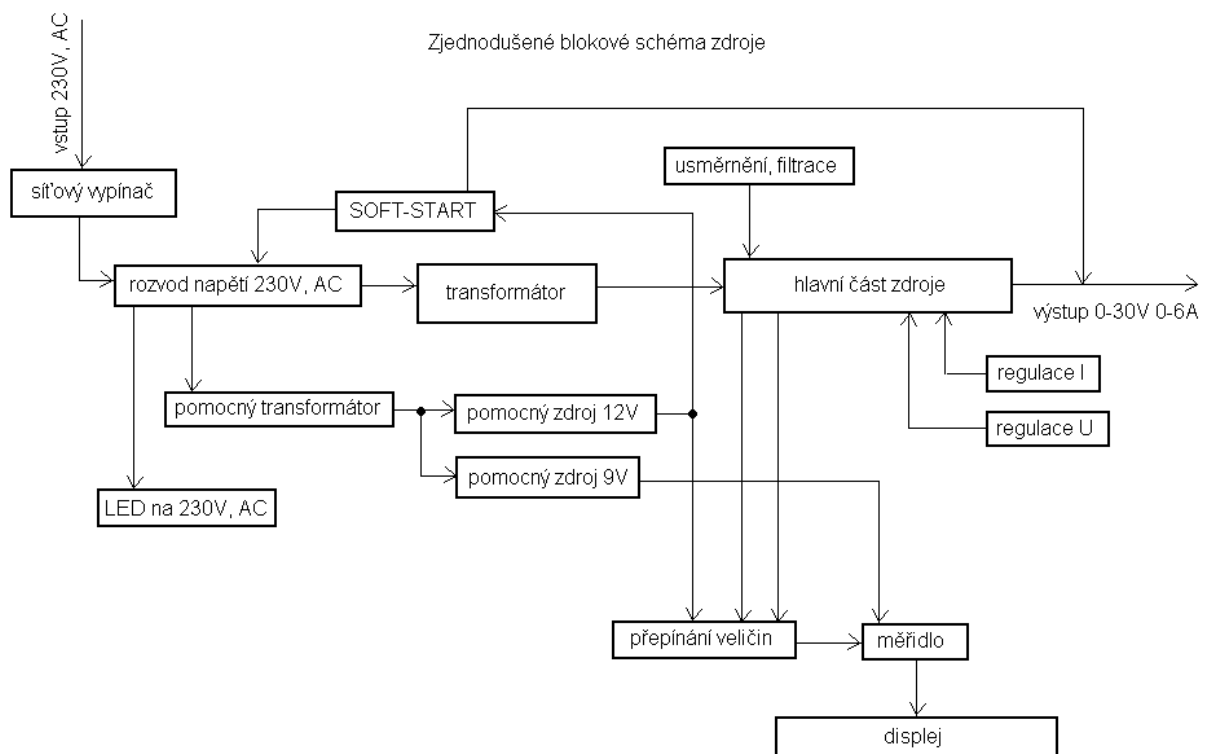
Celý zdroj je sestaven z několika bloků, které jsou pospojovány kabely. Je to z důvodu přehlednosti. Rovněž mě to pomáhalo při vlastní realizaci a hlavně při ožívování. Jednotlivé části se mohou samostatně oživit nebo bez problému nahradit jinými. Bloková stavba je též výhodná z hlediska upevnění a rozmístění DPS v krabici zdroje. Jedná se o lineární zdroj, který je charakteristický svými vlastnostmi a provedením elektroniky. Elektronika je založená na operačních zesilovačích většinou zapojených jako komparátory. Operační zesilovače následně řídí výstupní tranzistor. Mezi pozitivní vlastnosti lineárního zdroje patří především jednoduchost zapojení elektroniky, nicméně negativa převažují. Jedná se především o špatnou



účinnost, která se projevuje intenzivním ohřevem výstupního tranzistoru a v neposlední řadě i velkou hmotností (velký transformátor a chladičové prvky). Proto se tyto zdroje nehodí pro velké výkony. Tento zdroj s výstupním proudem 6A je takřka na hranici možností použitelnosti lineárního zapojení.

## 1.2 Blokové schéma zdroje

Na obr. 1 je nakresleno zjednodušené blokové schéma zdroje. Z obrázku je patrné, že ve zdroji jsou dva transformátory. Jeden hlavní a druhý pomocný, který napájí pomocné zdroje napětí 9V a 12V. Slouží k napájení pomocných obvodů ve zdroji a měřicího přístroje. Toto blokové schéma není detailní, ale stačí na to, abychom se v zapojení zdroje trochu orientovali. Pospojování jednotlivých bloků je provedeno orientovanými čarami, abychom poznali, který blok je na čem závislý a naopak, který blok je závislý na něm.



Obr.1 – Blokové schéma

## **2 Elektronika**

Při navrhování desek plošných spojů jsem používal program Eagle, verze 4.16r2. Rovněž všechny schémata jsou kresleny v tomto programu. Po navržení desky plošných spojů, jsem vzniklý obrazec cest zkopíroval do programu Microsoft Word, kde jsem přizpůsobil velikost pro tisk 1:1. Po vytištění jsem obrazec obtáhnul měkkou tužkou (použil jsem tvrdost B) a přenesl obrazec na měděnou stranu DPS. Musel jsem si dát pozor na zrcadlivost. DPS musí být předem očištěna, aby nevznikly problémy při leptání vlivem nečistot. Celou měděnou plochu jsem vyčistil běžnou gumou na tužku. Měď se pak krásně leskne. Přenesené cesty na DPS jsem obtáhnul lihovým fixem. Dbal jsem na to, aby byl nanesen všude, jinak by došlo k odleptání spoje. Takto připravenou DPS jsem vyleptal v chloridu železitém. Chlorid železitý leptá kovy, proto ho nalévám do plastových misek. DPS jsem vždy položil na hladinu a kontroloval. Je dobré s deskou trochu zahýbat do stran. Při pokládání může vzniknout vzduchová bublina (v tomto místě pak nedochází k leptání). Vyleptaný plošný spoj jsem očistil od lihového fixu Nitro ředidlem. Jde použít i technický benzín, syntetické ředidlo. Velmi dobře to jde i lihem. Následně jsem vyleptanou a očištěnou DPS vyvrtal. Použil jsem vrták o průměru 1mm, 1,5mm pro větší součástky, 2mm pro silové kabely a 3mm na připevnění desky. Před vrtáním jsem si jednotlivé body označil důlčičkem. Usnadňuje mi to vrtání, po vyvrtání je plošný spoj hotový a připraven k osazení. Můj postup výroby DPS je velmi pracný a složitý, nicméně plně funkční. Celá elektronika zdroje je sestavena z běžných vývodových součástek na jednostranných DPS. Pospojování síťové části je provedeno barevně podle normy. Fáze hnědá, pracovní vodič světle modrá. Jelikož jsem použil plechovou krabici, musel jsem též připojit ochranný vodič zelenožluté barvy. Ochranný vodič jsem připojil na krabici a na každý transformátor. Je to ochrana v případě, že by se živá část (tedy fáze) dostala vlivem poruchy např. na krabici a mohlo by dojít k úrazu elektrickým proudem. Zbytek je pospojován rozdělenou bílou dvoulinkou o průměru

1mm. Jak již bylo řečeno, je poddimenzovaná. Silové cesty na DPS jsou dostatečné.

## 2.1 Rozvod síťového napětí 230V, AC

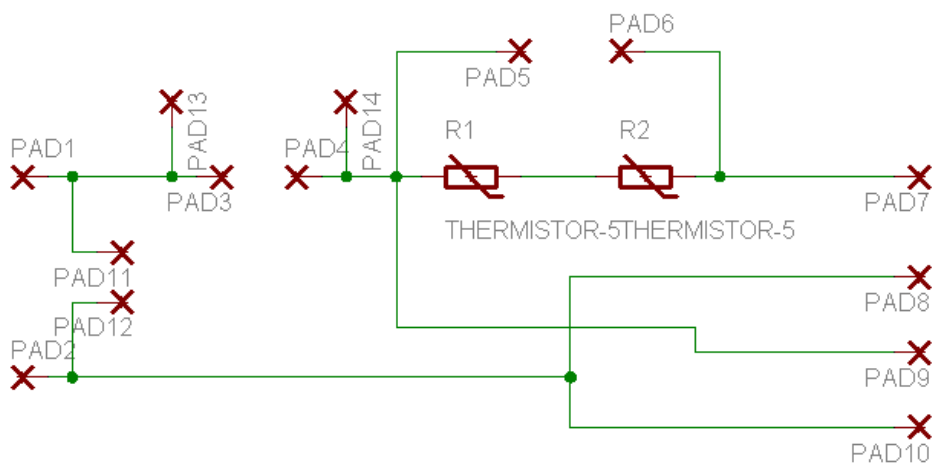
### 2.1.1 Popis zapojení

Tento blok nemá skoro žádnou podstatnou funkci na činnost zdroje. Jelikož je ve zdroji množství obvodů napájených síťovým napětím, inspiroval jsem se rozvodnými lištami, které mohou být například v domovních rozvaděčích. Navrhl jsem si tedy jednoduché zapojení, do kterého jsem zrovna zakomponoval dva výkonné termistory. Jsou zapojené v serií a omezují zapínací proud transformátoru při počáteční magnetizaci jádra. Jedná se o termistory NTC. Mají tu vlastnost, že průchodem proudem se zahřívají a zmenšují svůj odpor na minimum. Aby nebyly dále namáhány, přemostí je kontakty relé. Na fázové cestě je zařazena pojistka F1 připojená na PAD3 a PAD4. Tento rozvod se připojí za síťový vypínač přes PAD1 a PAD2 tak, aby na PAD1 šla fáze a na PAD2 pracovní vodič. Při propojování tohoto modulu s ostatními částmi zdroje dodržujeme předepsané barvy vodičů.

#### Seznam součástek:

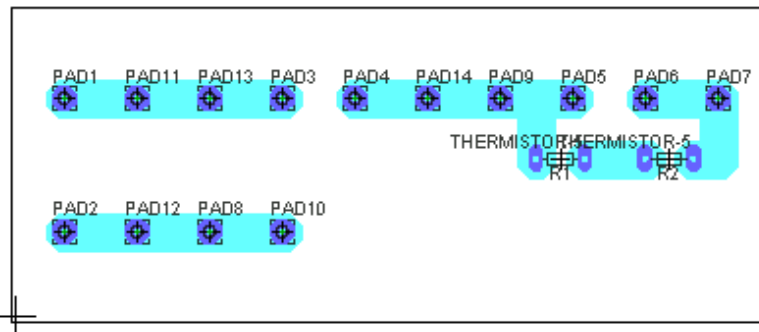
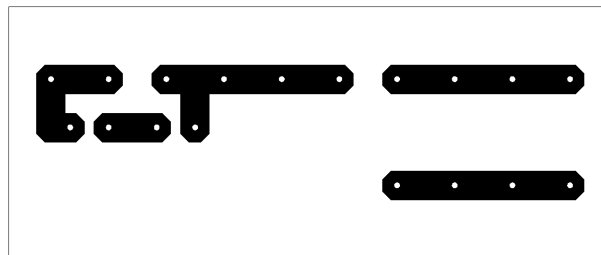
R1, R2	výkonný termistor NTC (odpor asi 20R)	2x
F1	2A, tavná trubičková	1x

### 2.1.2 Schéma zapojení



Obr.2 - Schéma

### 2.1.3 Tištěný spoj (DPS)



Obr.3 – Motiv DPS + osazení

### 2.1.4 Fotografie funkčního vzorku



Obr.4 – Funkční vzorek

## 2.2 LED na 230V, AC

### 2.2.1 Popis zapojení

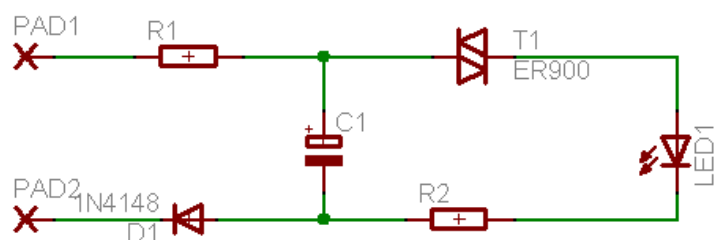
Toto zapojení lze využít všude tam, kde je potřeba signalizovat nějaký stav a k dispozici máme jen síťové napětí 230V, AC. Je to jednoduchá kontrolka, kterou jsem ve zdroji použil jako signalizační kontrolku zapnutí zdroje. Síťové napětí je usměrněno jednofázovým jednocestným usměrňovačem (D1). Toto napětí jde přes rezistor R1 a nabíjí kondenzátor C1. Napětí je pulzující, to znamená, že i kondenzátor se pulzně nabíjí. Když dosáhne napětí na C1 určité meze, sepne diak T1 a vybijí kondenzátor přes rezistor R2 do LED diody. Z toho je patrné, že LED dioda nebude svítit, ale

blikat. Rychlost blikání můžeme ovlivnit kapacitou C1. Celý modul se připojí na rozvod síťového napětí 230V, AC na PAD11 a PAD12.

**Seznam součástek:**

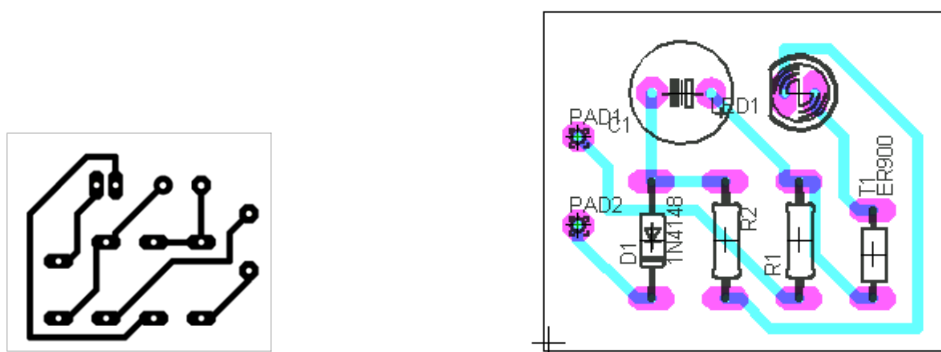
R1	470k	1x
R2	680R	1x
D1	1N4007	1x
T1	ER900	1x
D2	libovolná LED	1x
C1	47uF/50V, elektrolytický, radiální	1x

**2.2.2 Schéma zapojení**



Obr.5 - Schéma

**2.2.3 Tištěný spoj (DPS)**



Obr.6 – Motiv DPS + osazení

## 2.2.4 Fotografie funkčního vzorku



Obr.7 – Funkční vzorek

## 2.3 Pomocný zdroj 9V a 12V

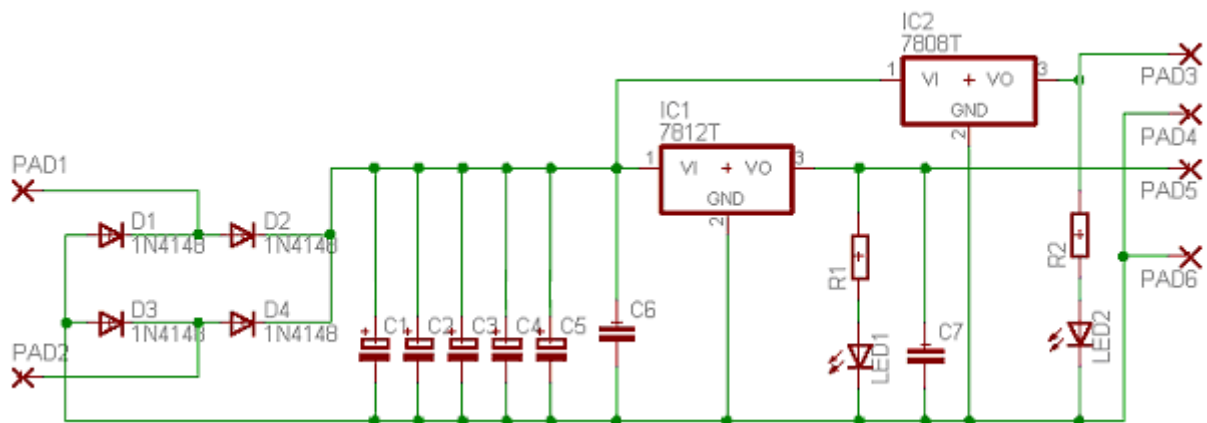
### 2.3.1 Popis zapojení

Ve zdroji jsem použil dva pomocné zdroje napájení. Jeden o napětí 9V slouží k napájení měřicího přístroje. Druhý o napětí 12V slouží k napájení obvodu SOFT-STARTU a přepínání měřených veličin. Oba dva zdroje jsou napojené na jedno sekundární vinutí pomocného transformátoru. Tyto zdroje jsem navrhl osvědčeným způsobem. Při jejich stavbě jsem použil integrované stabilizátory v pouzdru TO220. Mají velmi dobrou stabilitu výstupního napětí, též obsahují vnitřní pojistku proti přetížení. Mnou použité stabilizátory v TO220 mají maximální povolený proud 1 až 1,5A, ale dají se koupit i výkonnější v pouzdru TO3 na proud až 3A. Oba stabilizátory jsem opatřil chladicím křídélkem pro lepší odvod tepla. Za provozu se více hřeje IC1 (7812T), protože napájí relátka. Měřicí přístroj má jen malý proudový odběr, proto se IC2 tolik nezahřívá. Střídavé napětí z transformátoru je připojeno na PAD1 a PAD2 a dále vedeno na Greatzový můstek složený z klasických diod (D1 až D4), dále vyhlazeno filtrační kapacitou složenou z pěti kondenzátorů (C1 až C5) a vedeno na vstupy obou stabilizátorů (IC1, IC2). Na výstupu každého z nich je zapojena signalizační LED dioda, která informuje o činnosti zdroje. Také zaručují trvalý průchod proudu stabilizátorem. Výrobce uvádí, že pro správnou činnost stabilizátoru je nutný trvalý průchod klidového proudu, což obstarávají zmíněné LED diody (LED1, LED2). Z PAD3 a PAD4 je odebíráno stabilizované napětí 9V a z PAD5 a PAD6 12V.

### Seznam součástek:

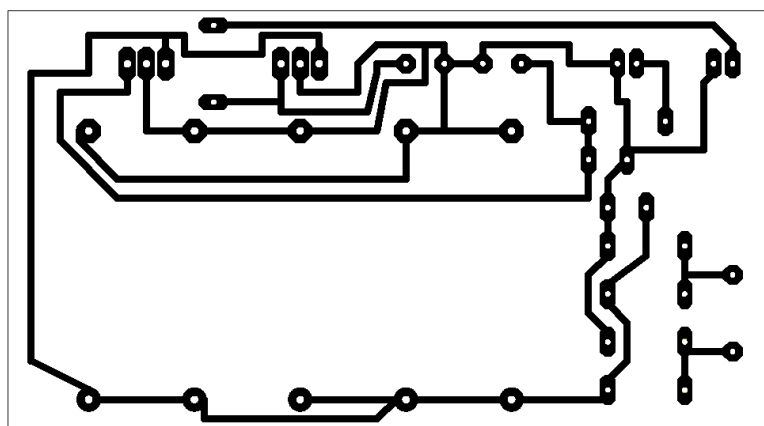
D1, D2, D3, D4	1N5400	4x
C1 až C5	470uF/40V, elektrolytický, axiální	5x
C6, C7	100nF/keramický	2x
R1	470R	1x
R2	330R	1x
IC1	7812T	1x
IC2	7809T	1x
LED1, LED2	libovolná LED	2x

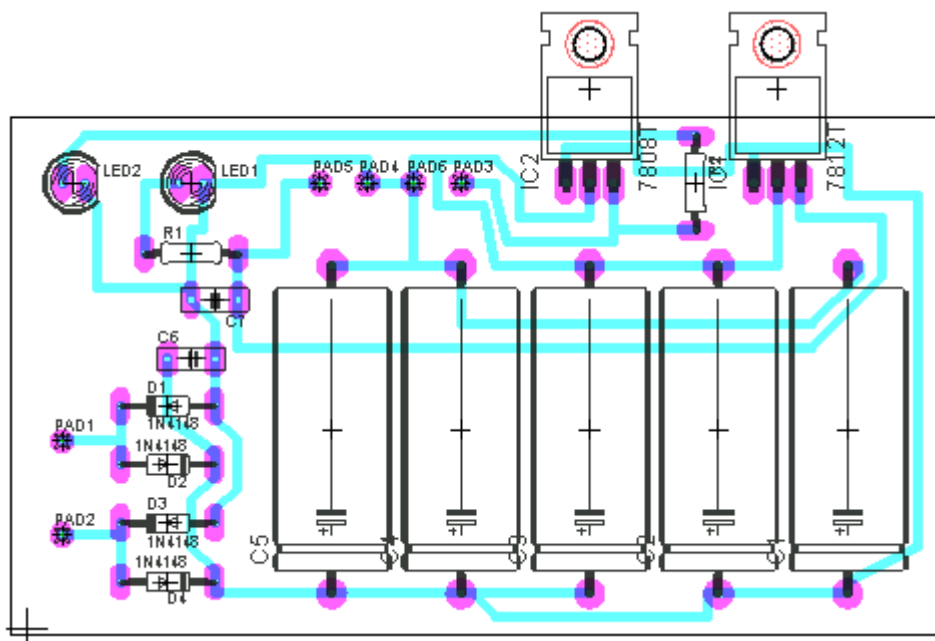
### 2.3.2 Schéma zapojení



Obr.8 - Schéma

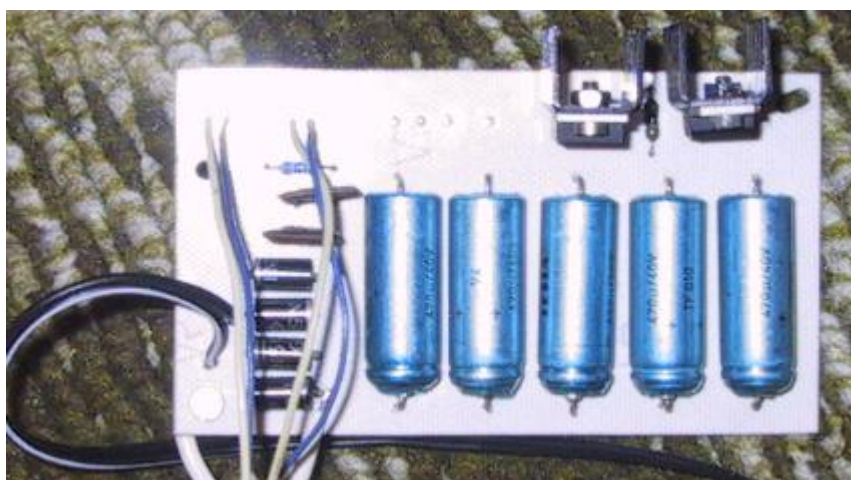
### 2.3.3 Tištěný spoj (DPS)





Obr.9 – Motiv DPS + osazení

### 2.3.4 Fotografie funkčního vzorku



Obr.10 – Funkční vzorek

## 2.4 SOFT-START

### 2.4.1 Popis zapojení

Soft-Start znamená v překladu měkký start. To je také jeho účel. V mém případě omezuje nárazový zapínací proud hlavního transformátoru. Já jsem použil ten nejjednodušší. Dva do serie řazené termistory NTC a obvod s relátkem, který se stará o jejich překlenutí po určité době. Je to



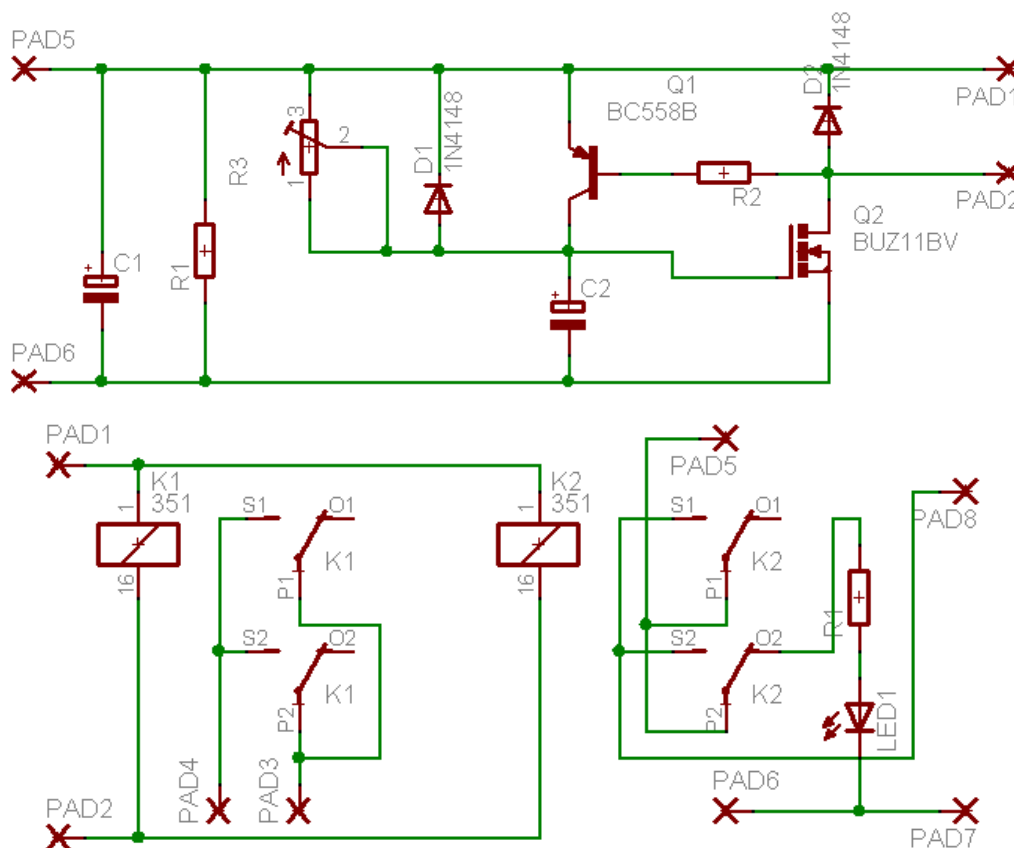
v podstatě časovač, kde si pevně nastavíme dobu sepnutí. V sepnutém stavu pak setrvá až do přerušení napájecího napětí (vypnutí zdroje síťovým vypínačem). Dále obsahuje ještě jedno relátko, které současně se sepnutím SOFT-STARTU připojí zátěž (výstupní zdířky zdroje). Z toho vyplývá, že při startu není zdroj ještě zatížen proudovým odběrem připojené zátěže. Nicméně toto opatření je čistě nouzové nebo jen pro malé zátěže. Důvod je jasný. Nepoužil jsem relátka, která by vydržela sepnutí proudu 6A, ale jen průchod proudu 6A. Brzo by se opálily kontakty. Řešením by bylo použít mnohonásobně výkonnější relátka například z automobilu s dovoleným proudem alespoň 20A. Ty už by to vydržet mohly. Jelikož jedno relátko spíná síťové napětí 230V, AC, rozhodl jsem se celé zapojení rozdělit na dvě části. Tím jsem dosáhl toho, že relátka jsou více „ mimo “ nízkonapěťovou elektroniku a tudíž je to bezpečnější. Jak je vidět ze schématu použil jsem relátka se zdvojenými přepínacími kontakty. U relátka K2 jsem toho využil k signalizaci stavu SOFT-STARTU. Jestliže je aktivní a výstupní zdířky zdroje odpojeny, svítí LED dioda. Po sepnutí LED dioda zhasne a připojí se výstupní zdířky ke zdroji. Jelikož tímto relátkem prochází proud až 6A, mírně se hřeje, neboť mnou použitá relátka nemají výkonovou rezervu. Relátko K1 jen spíná síťové napětí, takže jsem alespoň kontakty spojil paralelně (ale nemusejí být). Řídící elektronika relátek je opět co nejjednodušší. Filtrační kondenzátor C1 s vybíjecím rezistorem R1 se starají o dofiltrování napájecího napětí. Jelikož se obvod již napájí stabilizovaným napětím z pomocného zdroje, nejsou tam tyto součástky nutné. Časovač jsem použil ten nejjednodušší, jaký znám – nabíjecí kondenzátor (C2). Ten se nabíjí přes trimr R3, kterým můžeme nastavit nabíjecí proud C2 a tím i čas nabíjení. Napětí na C2 sleduje unipolární tranzistor (ke svému otevření potřebuje pouze napětí na Gate). Když napětí dosáhne určité hranice, začne se tranzistor otevírat. To má za následek průtok proudu cívkami relátek. Aby bylo otevření tranzistoru rychlejší (kvůli rychlému sepnutí relátek), je do Drainu tranzistoru zapojen ještě jeden tranzistor. Ten se pootevřením Q2 otevře a naráz dobije kondenzátor, takže se Q2 skokově „ dootevře “ naplno. Dioda D2 chrání elektroniku proti napěťovým špičkám v cívkách relátek. Celá řídicí elektronika se připojí k desce přepínání měřených veličin a to PAD5 na

PAD14 a PAD6 na PAD15. PAD1 se spojí s PAD1 na desce relátek a PAD2 s PAD2. PAD3,4 od relátka K1 se zapojí do rozvodu síťového napětí na PAD5,6.

### Seznam součástek:

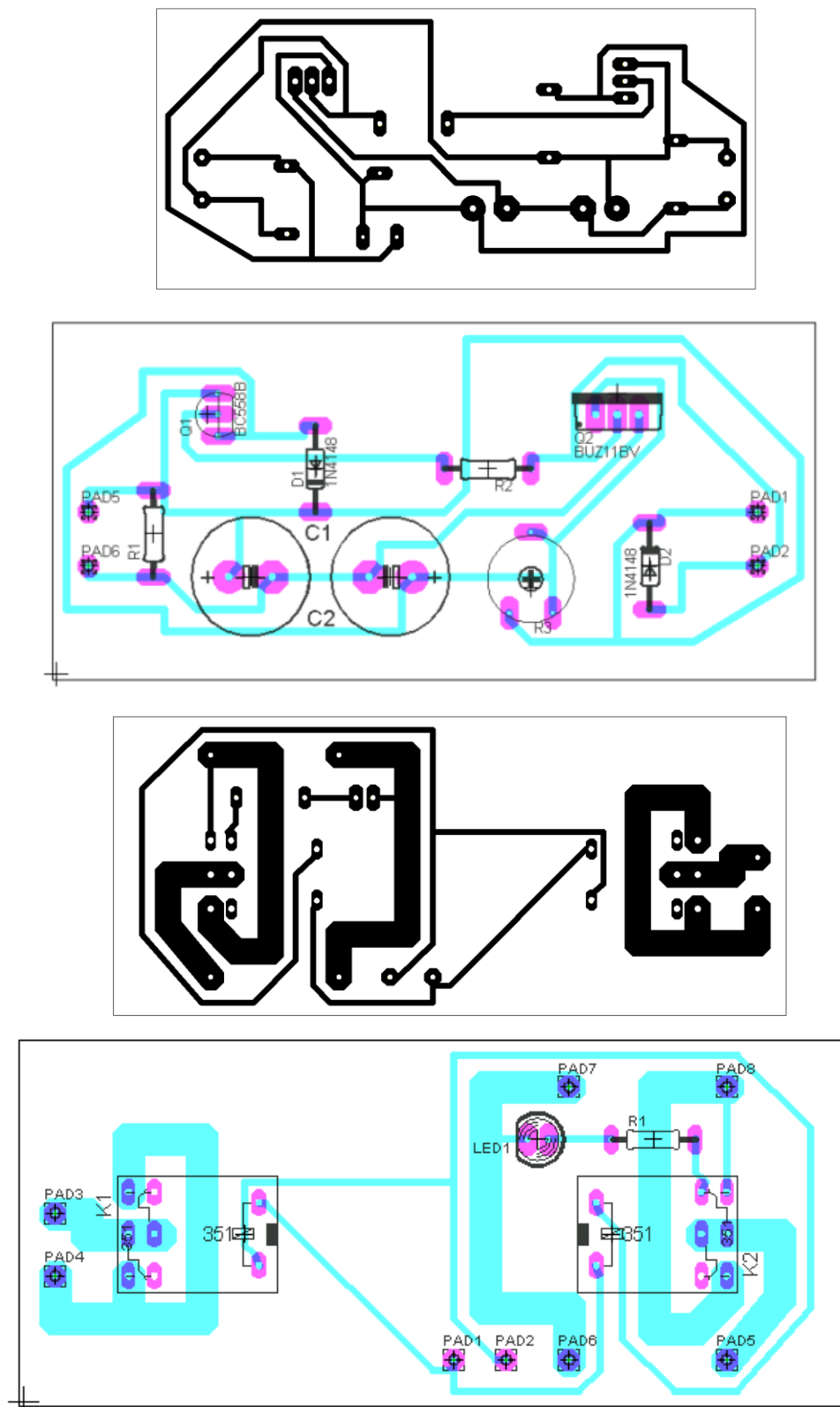
R1	10k	1x
R2	22k	1x
R3	500k, trimr, ležatý	1x
D1, D2	1N4007	2x
C1	470uF/25V , elektrolytický, radiální	1x
C2	47uF/25V, elektrolytický, radiální	1x
T1	BC558B	1x
T2	BUZ11	1x
LED	libovolná LED	1x
K1,K2	relé na 12V, dvojitě přepínací	2x

### 2.4.2 Schéma zapojení



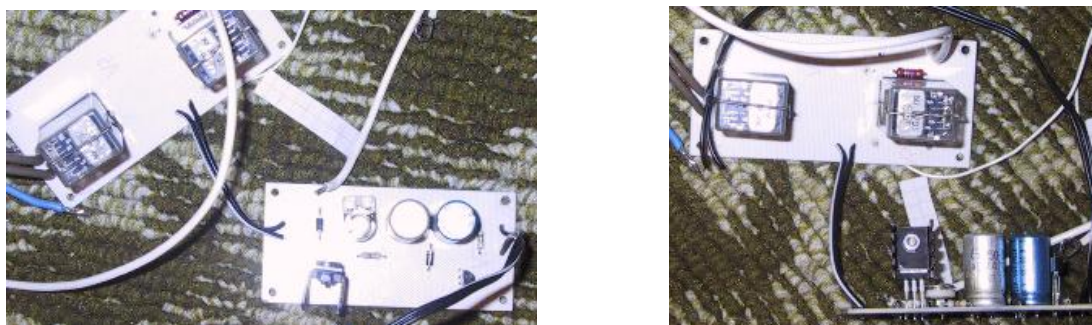
Obr.11 - Schémata

### 2.4.3 Tištěný spoj (DPS)



Obr.12 – Motivy DPS + osazení

## 2.4.4 Fotografie funkčního vzorku



Obr.13 – Funkční vzorky

## 2.5 Přepínání měřených veličin

### 2.5.1 Popis zapojení

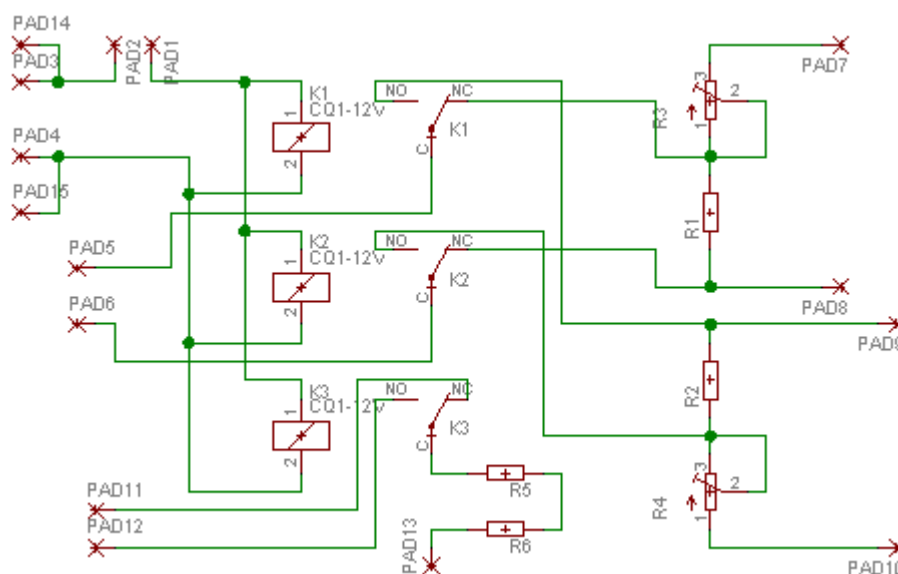
Pro přepínání měřených veličin jsem použil relátka. Společně s přepnutím vstupů do měřidla, se automaticky přepne i desetinná čárka, která je trvale zapojena (odpovídající segment pořád svítí). Nyní když se přepínají veličiny, je slyšet pokaždé charakteristické cvakání. Celkem jsou použity tři přepínací relátka. Jedná se o typ, který přijde do DPS. Dvě relátka přepínají vstupy a třetí ovládá již zmíněnou desetinou čárku. Všechny relátka se ovládají jediným spínacím tlačítkem, které je umístěné na čelním panelu. Z energetických důvodů, ale i ze životnosti relátek, jsem zvolil, že ve výchozím stavu (tedy rozepnutá relátka) se bude měřit napětí. Měření napětí je přesně jen častější než měření proudu. Po sepnutí tlačítka se přivede proud do cívek relátek, které sepnou. Rezistory R5 a R6 tvoří předřadný odpor LED diody desetinné čárky. Dva jsou proto, neboť bych musel na DPS použít propojku, tak jsem rozdělil stávající odpor do dvou. Měřicí přístroj má rozsah 200mV. Bylo nutné vstupní napětí snížit. Jelikož má měřicí přístroj veliký vstupní odpor (díky použití OZ v IO), mohl jsem použít klasický odporový dělič, aniž by se rezistory zahřívaly. Každý rezistor má určitou výrobní toleranci. Použil jsem proto místo jednoho rezistoru odporový trimr, kterým se dělicí poměr doladí. Experimentálně jsem určil proud tekoucí do měřidla asi na 15uA. Dělič na měření napětí jsem připojil přímo na výstupní svorky

zdroje. Věděl jsem tedy celkové napětí, proud a požadovaný úbytek na rezistoru R1 (pro 30V na výstupu je to 30mV). Výpočet děliče pro měření proudu je obdobný, jen se dělič napojí na serio-paralelní kombinaci výkonových rezistorů 0,47R. Celkové napětí jsem změřil při plném výkonu zdroje (tedy při proudu 6A to je 2,82V). Úbytek na rezistoru R2 byl 60mV. PAD3, 4 jsou napájecí připojené k pomocnému zdroji 12V. PAD14, 15 slouží k připojení napájení SOFT-STARTU. PAD7, 8 se připojí na výstupní svorky zdroje a PAD9, 10 na výkonové rezistory. PAD5, 6 se připojí na vstup měřicího přístroje. PAD11, 12 se připojí k displeji k příslušným desetinným čárkám. PAD13 je připojen na PAD7 měřicího přístroje. Na PAD1, 2 se připojí spínací tlačítko.

### Seznam součástek :

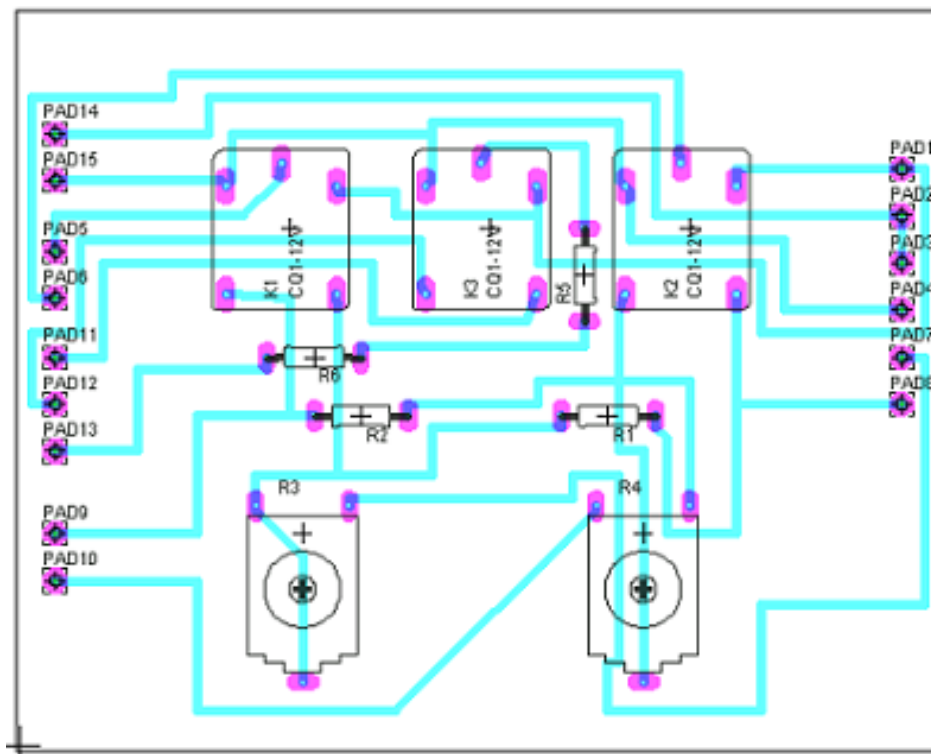
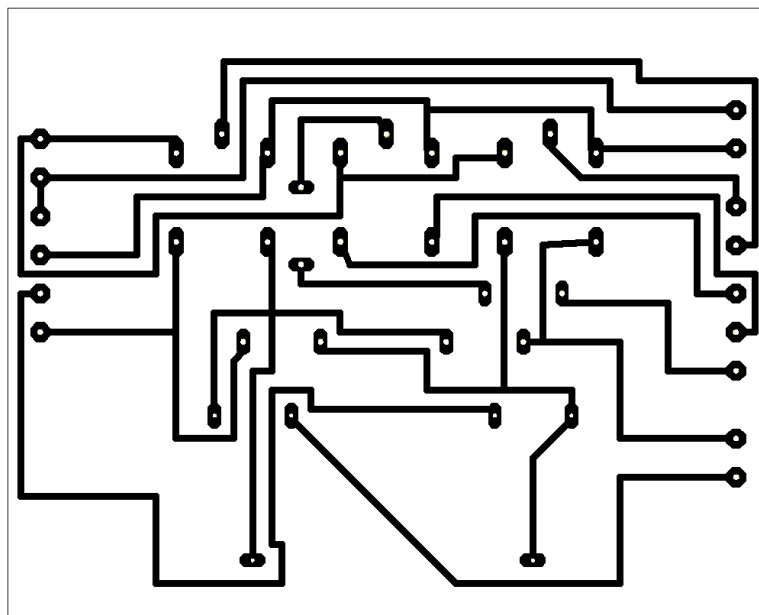
R1	2k	1x
R2	3,7k	1x
R3	2M2, trimr	1x
R4	170k, trimr	1x
R5, R6	220R	2x
S1	spínací tlačítko („ izostat “)	1x
K1, K2, K3	relátko na 12V do DPS (např. LEG-12)	3x

## 2.5.2 Schéma zapojení



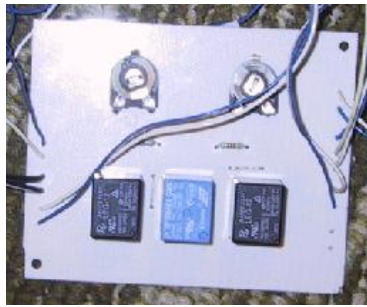
Obr.14 - Schéma

### 2.5.3 Tištěný spoj (DPS)



Obr.15 – Motiv DPS + osazení

## 2.5.4 Fotografie funkčního vzorku



Obr.16 – Funkční vzorek

## 2.6 Měřidlo

### 2.6.1 Popis zapojení

Jako měřicí přístroj jsem zvolil digitální voltmetr s integrovaným obvodem ICL7107. Schéma zapojení vychází z doporučeného zapojení v katalogového listu integrovaného obvodu ICL7107. Tento obvod byl pro to speciálně vyroben. Je k dispozici též v provedení ICL7106, které je určeno pro LCD displeje, neboť má malý dovolený výstupní proud. ICL7107 má silnější výstupy, proto se hodí pro napojení na LED displej. Uvedené schéma jsem neměnil, pouze jsem ho rozšířil o velký LED displej. Proměřoval jsem jednotlivé displeje a ukázalo se, že oba mají stejný proudový odběr. Lišili se pouze v potřebném napětí. Malý displej se rozsvěcoval už při necelých 2V, kdežto velký potřeboval alespoň 4V. Obvod se ale napájí 5V, takže jsem měl ještě 1V rezervu. Měřicí přístroj je rozdělen na dvě desky – displej a ovládací elektroniku. Vstup měřené veličiny se přivádí na PAD3 a 4. Na vstupu je odporový dělič a ochranné diody proti velkému napětí. Po přivedení nulového napětí na vstup, trimrem R12 jsem nastavil správný údaj na displeji (tedy 0000). Obvod složený z tranzistorů, C8, D5 a 6 a C11 vyrábí záporné napájecí napětí pro ICL7107. Napájecí napětí z pomocného zdroje 9V se přivede na PAD1 a 2. Tam je ještě sníženo stabilizátorem na konečných 5V. Toto řešení má dvě výhody. Abych nemusel upravovat transformátor se zbytečně velkým napětím, použil jsem postupného snižování. Stabilizátory se tedy tak nezahřívají a dvakrát stabilizované napětí pro měřicí přístroj je velmi stabilní. Chtěl bych upozornit na to, že na schématu je použit integrovaný

obvod ICL7126LP. Je to z toho důvodu, že používám free verzi Eaglu, který má trochu „ ořezané “ knihovny a ICL7107 jsem tam neměl. Nicméně oba obvody mají stejné zapojení vývodů, takže jsem ho mohl nahradit. Zapojením PAD5 si mohu ověřit funkci displeje, kterému se rozsvítí všechny zapojené segmenty. PAD6 je připojen na PAD33. Spoj je realizován kablíkem, protože mě to usnadnilo navrhnutí DPS. R13 je pouze předřadný odpor desetinných teček. Při překreslování schématu jsem zapomněl uzemnit společný uzel T1, D5 a C11. Propojení je dodatečně provedeno ze strany spojů kablíkem od vývodu + C11 na PAD2. Při prvním testu displej ukazoval pouze údaj 1000, což znamená překročení měřicího rozsahu. Problém se vyřešil propojením napájecí země a země přiváděného měřeného napětí. Spoj je jako v předešlém případě realizován kablíkem z PAD4 na PAD33. Po odstranění těchto dvou chyb začal obvod pracovat bezchybně. Dlouhá řada PADů slouží k připojení displeje. V tomto okamžiku chci upozornit, že čísla PADů nepatří k sobě. Správné propojení jsem uskutečnil pomocí označení segmentu a čísla pořadí displeje. Jako displej jsou použity čtyři sedmi segmentové LED displeje. Dal jsem pozor na to, aby byly zapojené se společnou anodou, neboť ICL7107 spíná na svých výstupech záporné napětí. Chtěl bych upozornit na pár věcí. U sedmissegmentovky DIS1 bude pár vývodů nezapojených. Zapomněl jsem na to, že tato část zobrazuje pouze nulu nebo jedničku. Naopak u sedmissegmentovky DIS3 chybí vývod pro desetinou čárku, proto jsem napájel kablík ze strany spojů přímo na vývod.

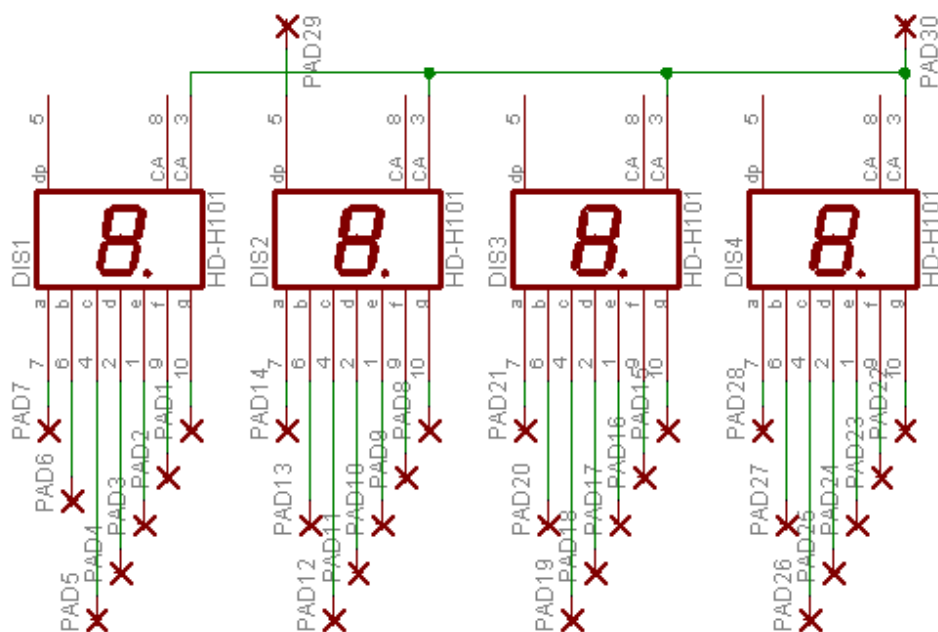
#### **Seznam součástek :**

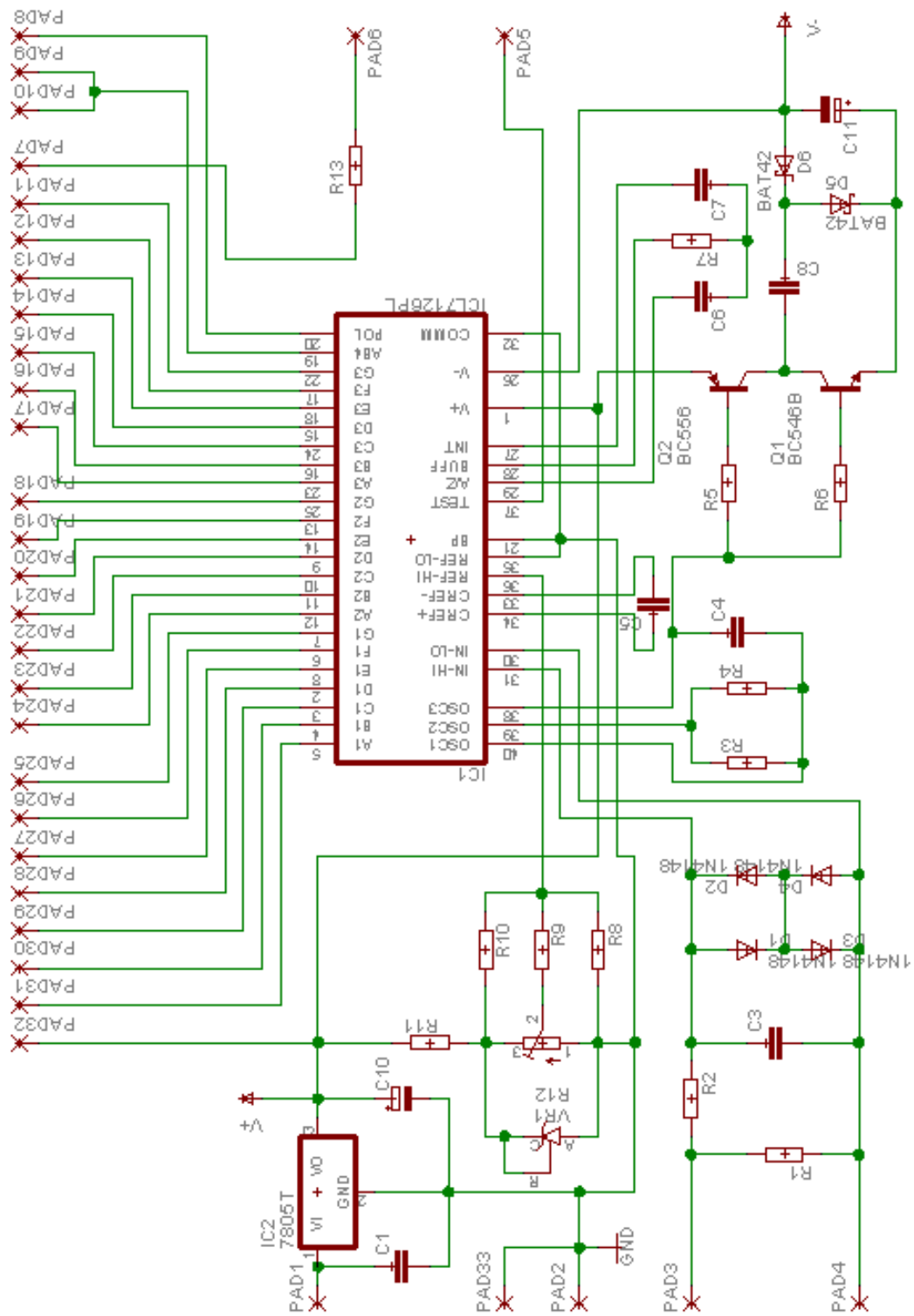
R1	1M	1x
R2	100k	1x
R3	120k	1x
R4	2M2	1x
R5, R6	10k	2x
R7	47k	1x
R8	2k7	1x
R9	470k	1x
R10	68k	1x
R11	1k5	1x



R12	25k, trimr	1x
R13	470R	1x
C1	100n, TK	1x
C3	10n, TC	1x
C4	100p, TK	1x
C6	470n, TC	1x
C5, C8	100n, TC	1x
C7	220n, TC	1x
C10, C11	10uF/16V	2x
D1 – D4	1N4148	4x
D5, D6	BAT42	2x
T1	BC546B	1x
T2	BC556B	1x
IO1	ICL7107	1x
IO2	7805	1x
VR1	TL431	1x
DIS1 – DIS4	HD-AA11RD	4x

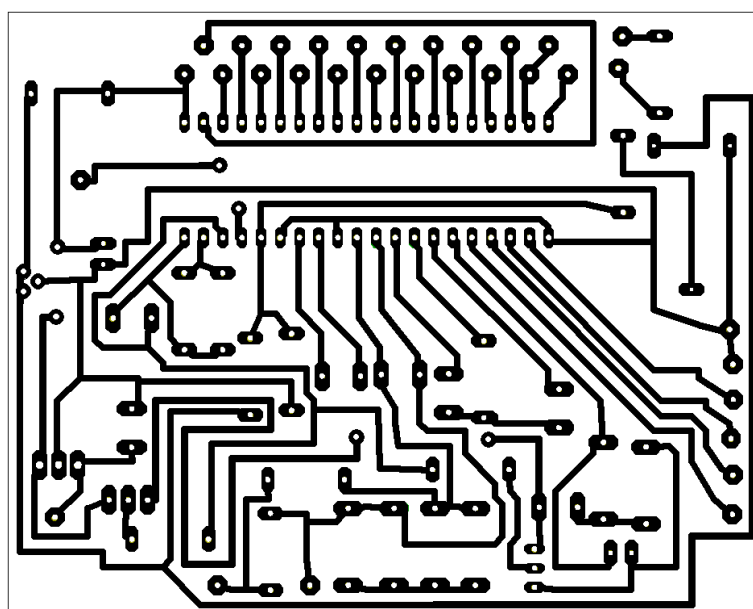
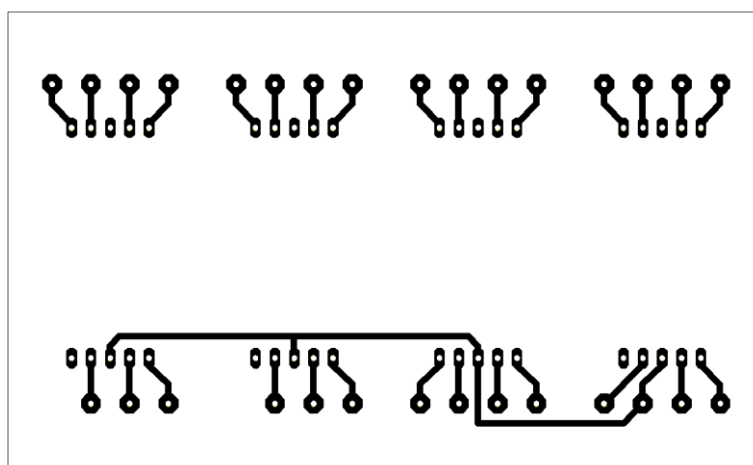
## 2.6.2 Schéma zapojení

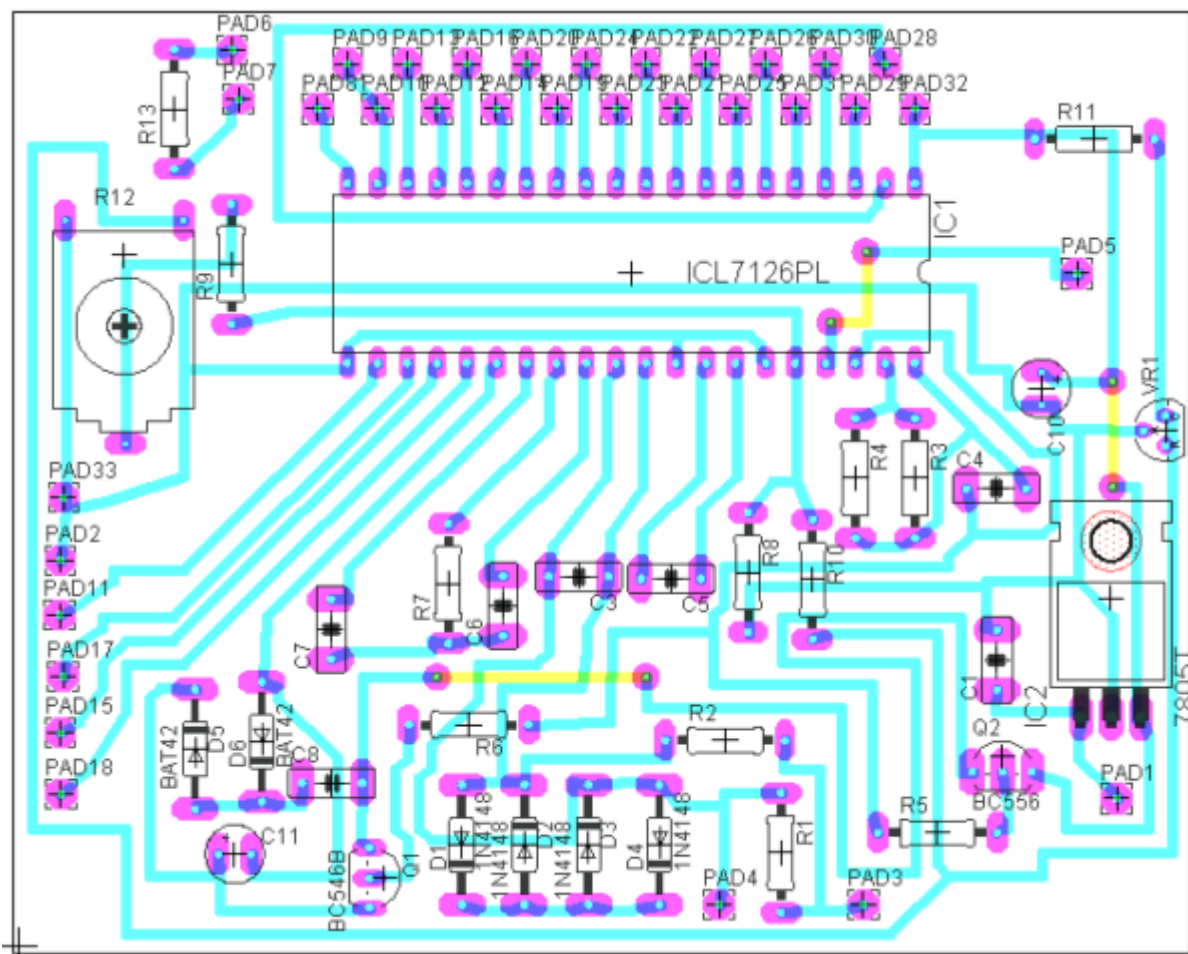
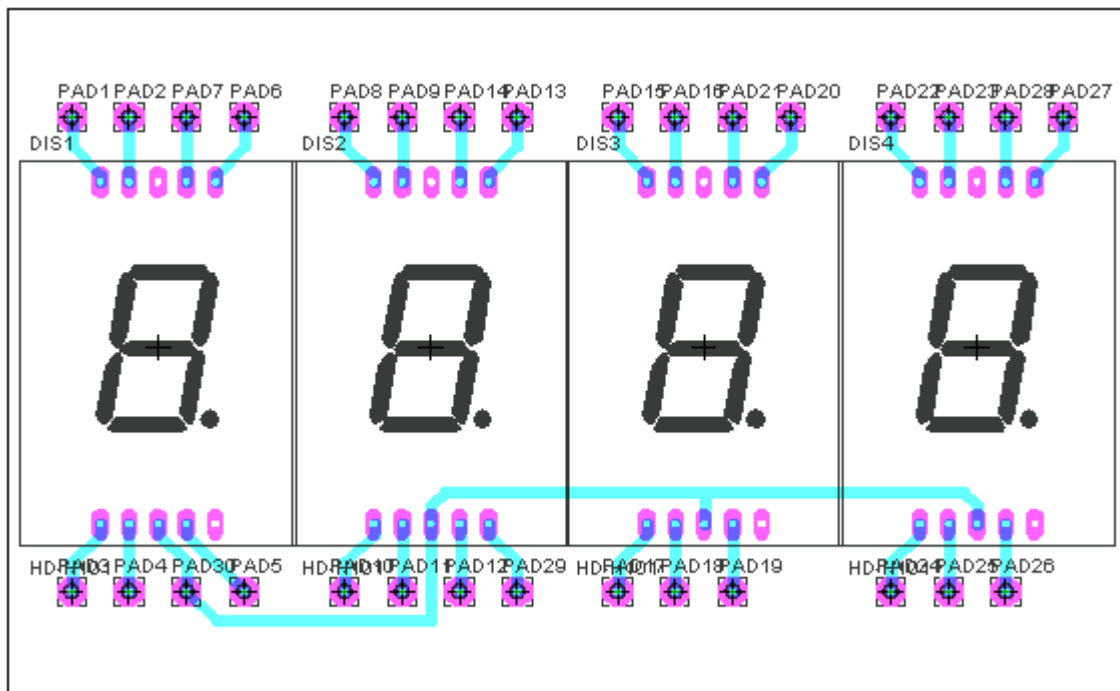




Obr.17 - Schémata

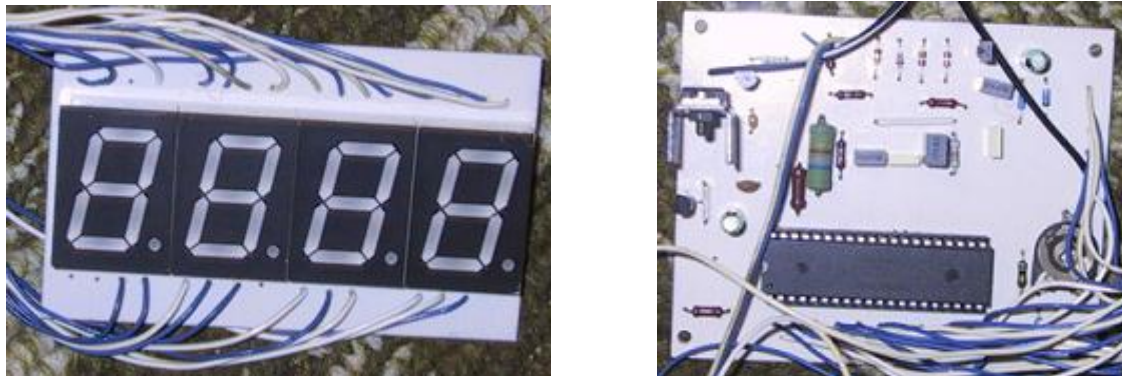
### 2.6.3 Tištěný spoj (DPS)





Obr.18 – Motivy DPS + osazení

## 2.6.4 Fotografie funkčního vzorku



Obr.19 – Funkční vzorky

## 2.7 Transformátory

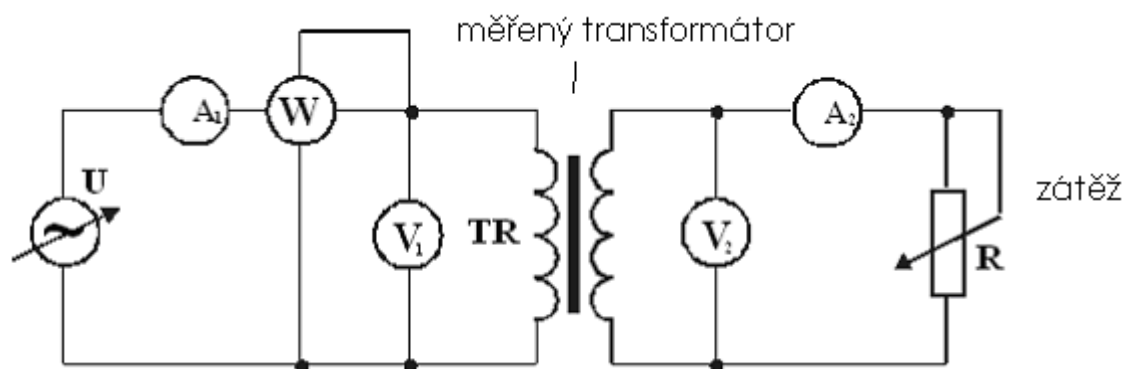
### 2.7.1 Obecné pojednání o transformátorech

Transformátor je netočivý stroj pro transformaci napětí. Transformace může být směrem nahoru nebo dolů, což vyjadřuje převod  $p$ . Transformátor se skládá min. ze dvou cívek – primární a sekundární. Sekundárních může být více, popřípadě může být s odbočkami. Jestliže obsahuje pouze jednu cívku, nejedná se o transformátor, ale o tlumivku. Cívky jsou navinuté na kostřičce, která je nasazena na magnetickém obvodu, který tvoří jádro složené z jednotlivých plechů kvůli ztrátám. Transformátory se používají jak pro úpravu velikosti napětí, tak jako galvanické oddělení. (tzv. oddělovací transformátory s převodem 1:1). Transformátory pracují pouze se střídavým napětím.

### 2.7.2 Hlavní transformátor

Transformátor je klasické konstrukce. Jádro tvoří EI plechy. Vinutí je původní. Jelikož se jedná o starý transformátor, byl počítán na napětí 220V. Dnes se používá 230V, což vede k mírnému zvýšení napětí na sekundární straně. Štítkové hodnoty jsou příkon 200VA,  $U_1 = 220V$ ,  $U_2 = 24V$  a  $I_2 = \text{max. } 8,3A$ . Díky 230V je na sekundární straně místo 24V přibližně 26V, což není na závadu, neboť po usměrnění dostaneme asi 37V a filtrační kondenzátory jsou na 40V. Celý transformátor je robustně zpracovaný. Obě vinutí jsou vyvedena na šrouby, které jsou přichyceny na izolačních nástavcích.

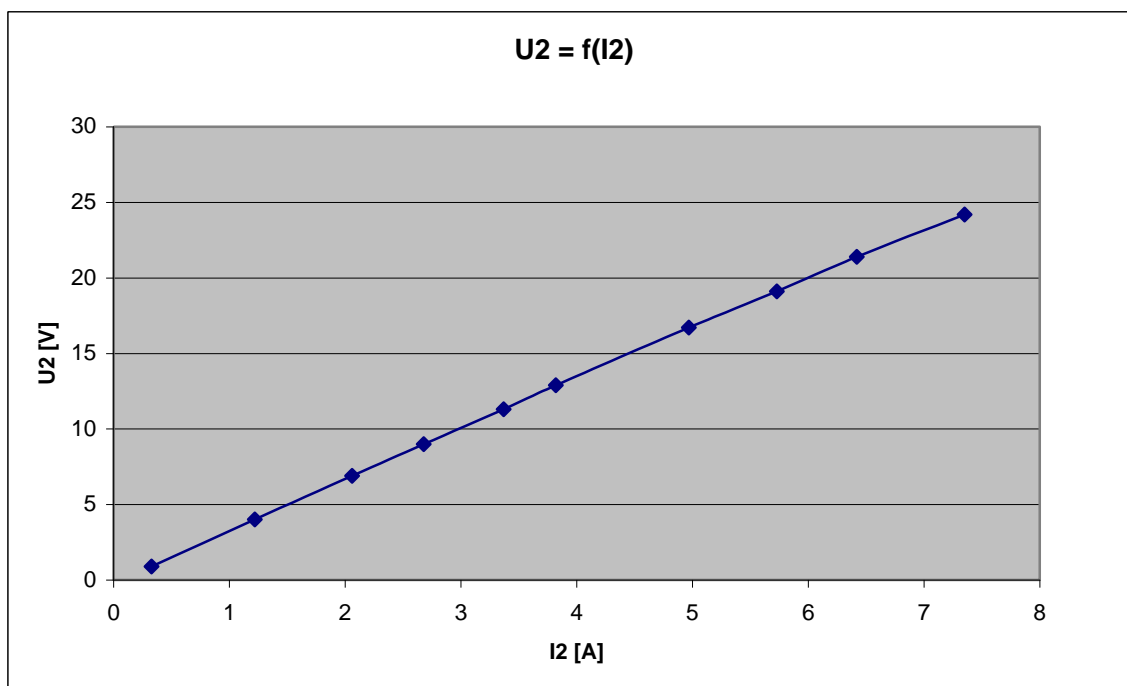
Součástí transformátoru jsou i přichytné nožičky. Do zdroje jsem tento transformátor umístil naležato. Na jeho funkci to nemá vliv. S transformátorem jsem udělal několik měření, abych zjistil některé další parametry. Konkrétně mě zajímala účinnost, ztráty a vnitřní odpor. Zapojení měřicího obvodu následuje.



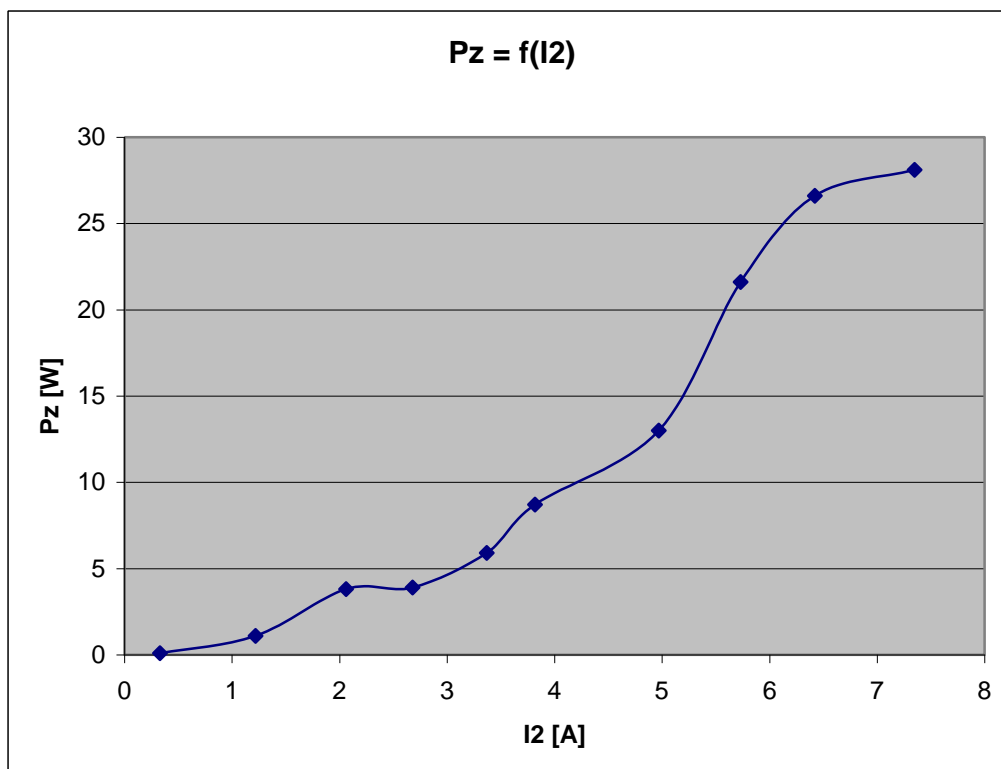
Obr.20 - Schéma

Měření jsem provedl pod dohledem pana ing. Kunce ve školní laboratoři. Při měření jsem použil čtyři multimetry. Dva zapojené jako voltmetry a dva jako ampérmetry. Dále byl použit regulovatelný autotransformátor a jeden wattmetr. Zátěž byl výkonný reostat z odporového drátu. Wattmetrem jsem měřil příkon transformátoru, ampérmetrem A1 vstupní proud a voltmetrem V1 vstupní napětí. Napětí a proud na zátěži měřil ampérmetr A2 a voltmetr V2. Pro připojení proudové cívky wattmetru jsem použil šroubovacích kablíků. Při prvním zapnutí jsem pomalu zvyšoval vstupní napětí a kontroloval jsem, jestli ručička wattmetru nejde „za roh“. V případě, že by šla, musely by se prohodit kablíky k napěťové cívce. Během měření jsem kontroloval, abych nepřetížil wattmetr. Celé měření probíhalo tak, že jsem nastavil max. hodnotu vstupního napětí a pak jsem nastavil velikost zatěžovacího odporu, aby jím protékal proud přibližně 7,3A. Následně jsem pak vstupní napětí snižoval a zapisoval naměřené hodnoty. Nakonec jsem odpojil zátěž, změřil napětí naprázdno a příkon naprázdno neboli ztráty v mag. obvodu. Tabulku naměřených hodnot zde neuvádím. Přibližné hodnoty lze vyčíst i z grafu. Pokud jsem měřil správně, zjistil jsem, že tento transformátor má poměrně dobrou účinnost (asi 85%). Taktéž je

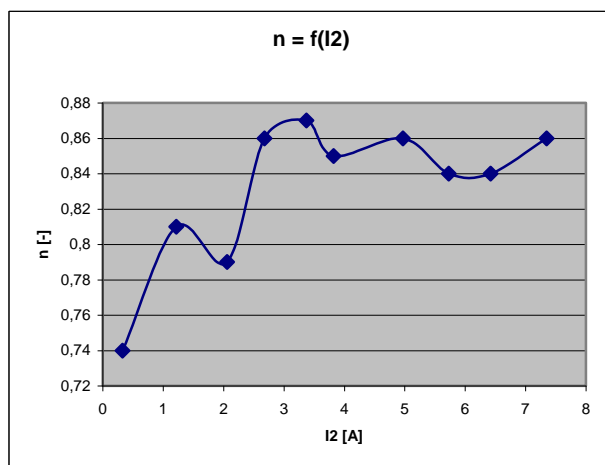
z grafu vnitřního odporu vidět, že po šesti ampérech začíná být transformátor měkký. Proto jsem zdroj stavěl do šesti ampér.



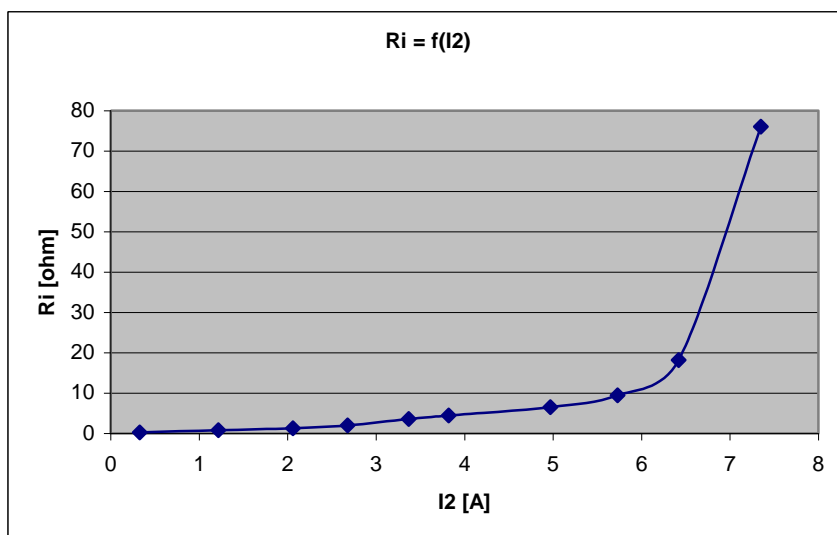
Obr.21 - Tento graf dokazuje lineární odporovou zátěž.



Obr.22 - Ztráty



Obr.23 - Účinnost



Obr.24 - Vnitřní odpor

### 2.7.3 Fotografie použitého transformátoru

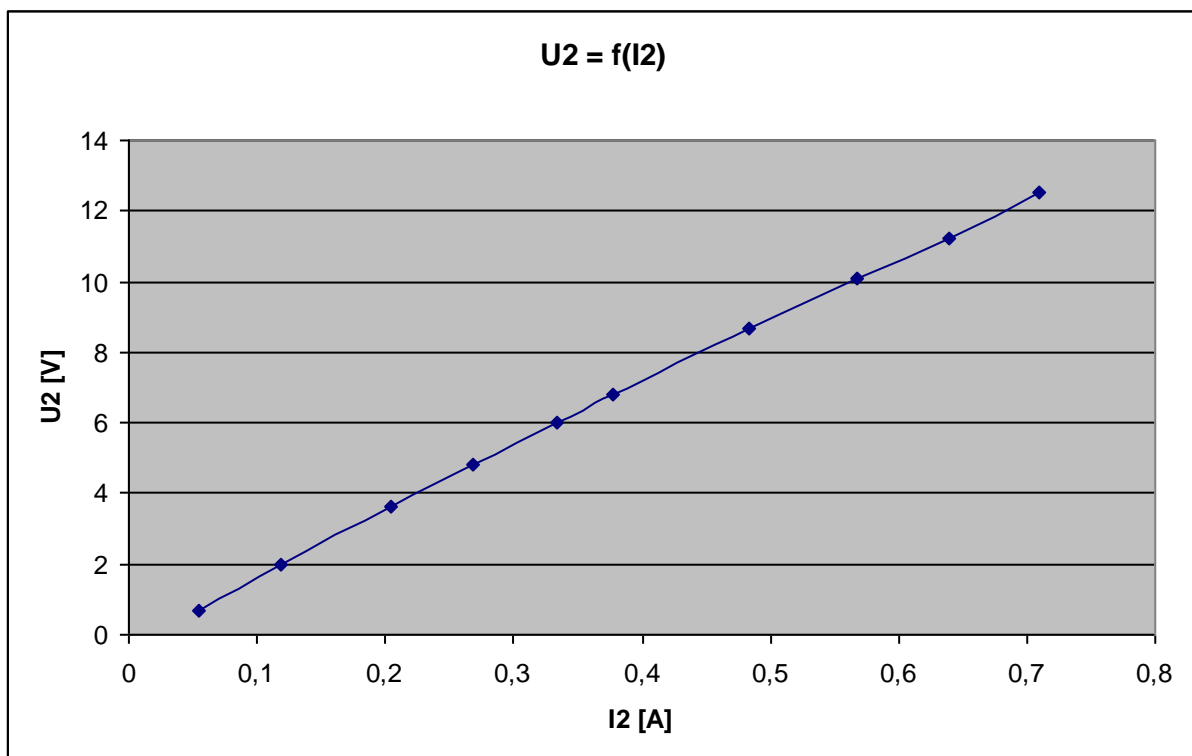


Obr.25 – Hlavní transformátor

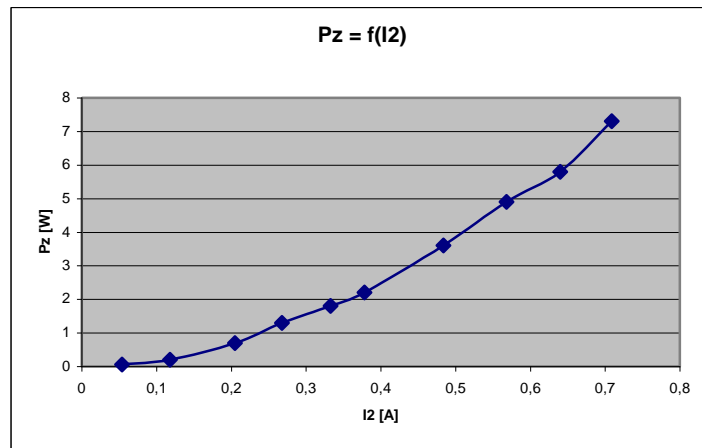


## 2.7.4 Pomocný transformátor

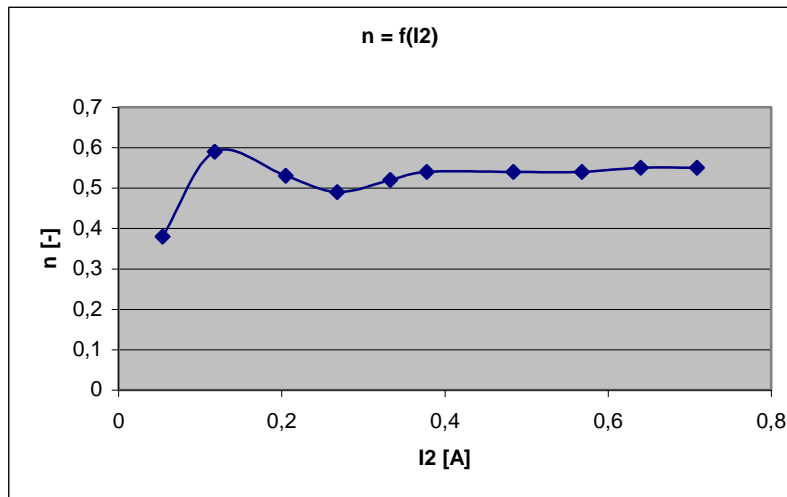
Pomocný transformátor slouží k napájení pomocných zdrojů, které napájí SOFT-START, měřidlo a přepínání měřených veličin. Transformátor má původní vinutí. Pochází ze staré televize a je na EI plechách. Transformátor obsahuje dvě sekundární vinutí doplněné o trubičkovou pojistku. Každé je na 0,7A, jedno má napětí 12V a druhé 25V. Opět se ale jedná o transformátor počítaný na 220V, takže sekundární napětí jsou trochu vyšší. Ve zdroji jsem využil pouze jedno sekundární vinutí na 12V. Na pomocném transformátoru jsem provedl stejná měření jako na hlavním, abych je mohl ze zajímavosti porovnat. Z těchto grafů je jasně vidět výkonnostní rozdíl obou transformátorů. Tímto měřením jsem dokázal, že účinnost transformátoru se vzrůstajícím výkonem roste a naopak vnitřní odpor klesá. Z toho vyplývá, čím větší bude transformátor, tím tvrdší zdroj to bude. Vyšší účinnost zase udrží ztráty v přijatelných mezích.



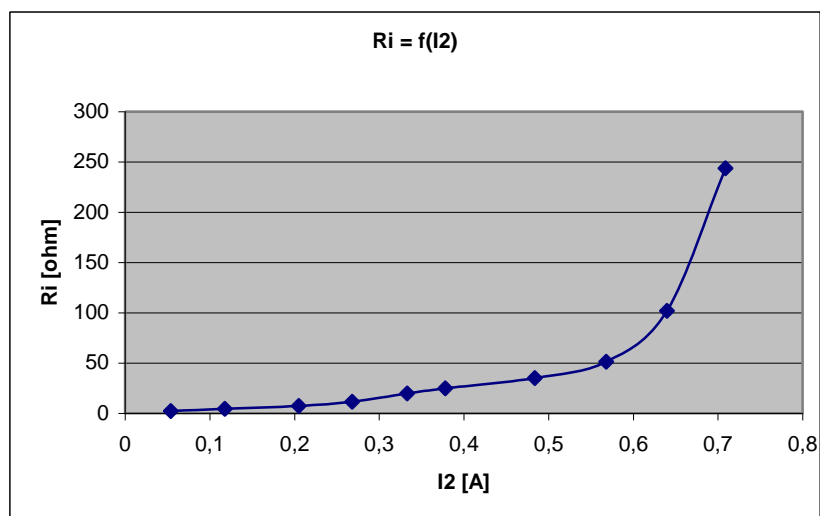
Obr.26 - Tento graf dokazuje lineární odporovou zátěž.



Obr.27 - Ztráty



Obr.28 - Účinnost



Obr.29 - Vnitřní odpor

## 2.7.5 Fotografie použitého transformátoru



Obr.30 – Pomocný transformátor

## 2.8 Usměrňovač

### 2.8.1 Obecné pojednání o usměrňovačích

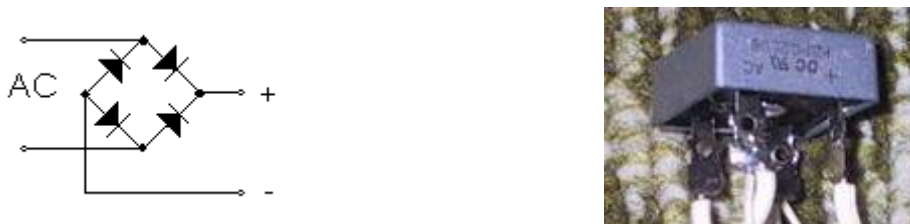
Usměrňovače, jak jejich název napovídá, slouží k usměrnění střídavého napětí. Čili z napětí střídavého získáme pulzující napětí stejnosměrné. Usměrňovače mohou být jednofázové, třífázové, ale i vícefázové. Podle druhu se ještě rozdělují na jednocestné, dvoucestné a můstkové. Jednocestný usměrňovač se takřka nepoužívá, neboť jeho hlavní nevýhodou je, že přenáší jen polovinu výkonu. Jeho použití je možná jen v kapacitních násobičích. Dvoucestný usměrňovač má stejné parametry jako můstkový, ale potřebuje transformátor s vyvedeným středem vinutí. Tento typ se hodně používal v minulosti, kdy nebyli dostupné (nebo velmi drahé) polovodičové součástky. Důvod byl jasný. Oproti můstkovému zapojení potřeboval jen dvě diody, které byly ale v závěrném směru namáhány dvakrát větším napětím. Dnes se až na malé výjimky používá můstkové zapojení a to jednofázové i třífázové, protože nepotřebuje složitý transformátor a diody jsou dnes levné a snadno dostupné.

### 2.8.2 Zvolené řešení

Ve zdroji jsem samozřejmě použil jednofázový můstkový usměrňovač. Skládá se čtyř usměrňovacích diod. V dnešní době je ho možné koupit i jako jeden blok. Diody jsou zapojeny a integrovány v jediném pouzdru, které přijde přišroubovat na chladič. Já jsem použil typ KBPC2506F. Tento můstek má parametry 600V a 25A. Je tedy bohatě předimenzovaný a skoro se nezahřívá. Vývody má na konektory typu FASTON. Nicméně jsem je

nevyužil a vodiče na ně připájel. Vnitřní zapojení je na následujícím obrázku. Můstek jsem umístil na společný chladič s koncovým tranzistorem. Mohl jsem to udělat, neboť tento můstek nemá „ živý “ obal jako je tomu u samostatných výkonových diod. Můstek se k transformátoru připojí přes pojistku F2 o hodnotě 12A.

### 2.8.3 Fotografie použitého můstku



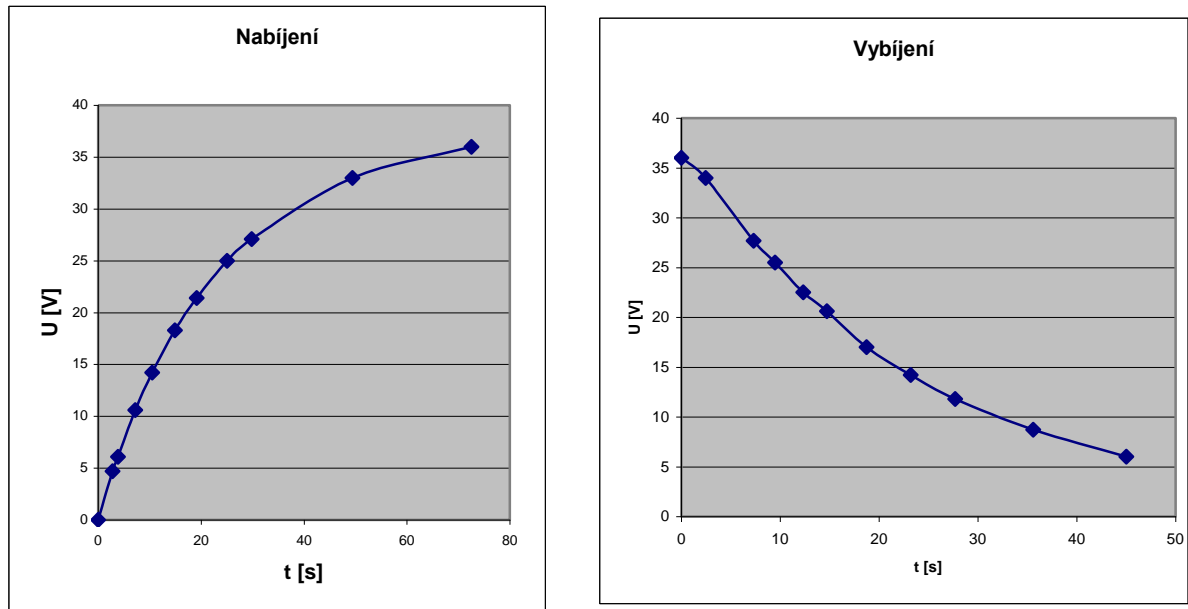
Obr.31 – Zapojení + foto můstku

## 2.9 Filtrace napětí

### 2.9.1 Elektrolytické kondenzátory

Filtrace slouží k filtrování neboli vyhlazení pulzujícího usměrněného napětí. Zavádí se z toho důvodu, že některé obvody nemohou pracovat s pulzujícím napětím. Jedná se především o elektroniku. Filtry mohou být pasivní (C-R-C, C-L-C) nebo aktivní s tranzistorem. Záleží na způsobu použití. Já jsem ve zdroji použil nejjednodušší řešení – pouze kondenzátory. Podařilo se mi sehnat několik průmyslových kondenzátorů Sprague 10 000uF na 40V. Ve zdroji jsem použil šest těchto kondenzátorů v paralelním zapojení. Tedy na zvýšení kapacity. Kondenzátory mají hliníkové vývody kvůli snížení odporu s vnitřním závitem M5. Každý kondenzátor je uchycen jedním šroubem M8. Jelikož se elektrolytické kondenzátory vyrábějí ve velké toleranci, zajímalo mě, jak velké bude odchylka od štítkových 60 000uF. Bohužel to nelze změřit napřímo. Zvolil jsem tedy nepřímou metodu měření pomocí časových dějů (nabíjení a vybíjení kondenzátoru). Rozhodl jsem se tedy všem šesti kondenzátorům společně změřit nabíjecí a vybíjecí křivky, z nichž jsem si dopočítal skutečnou kapacitu. Ta mi vyšla 64 898uF, což mě potěšilo. Skoro 5 000uF jako bonus. Nabíjecí a vybíjecí křivka je na následujících grafech. Jedná se o exponenciální průběh. Při

měření byly použity stopky, které se zapínaly a vypínaly společně se spínačem, kterým jsem připojoval kondenzátory ke zdroji a pak k zátěži. Bylo nutné si přibližně spočítat časovou konstantu a podle ní stanovit velikost rezistoru, který se připojí do serie ke kondenzátorům. Je to z důvodu zpomalení nabíjení a vybíjení. Jinak bych veličiny nestíhal odečítat.



Obr.32 – Nabíjecí a vybíjecí křivka

## 2.9.2 Fotografie použitých kondenzátorů



Obr.33 – Filtrační kondenzátory

## 2.10 Hlavní část zdroje

### 2.10.1 Popis zapojení

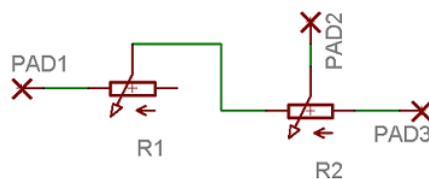
Doposud jsem popisoval víceméně pomocné obvody, které zlepšují vlastnosti a komfort ovládání tohoto zdroje. Tento blok se stará o samotnou

regulaci výstupního napětí a proudu. Jak jsem psal v technických parametrech, jedná se o klasické lineární zapojení založené na operačních zesilovačích. Hlavní velkou nevýhodou je jeho účinnost. Tento typ zdroje není zrovna nejehospodárnější, neboť se na koncovém tranzistoru mění velké množství energie na teplo. Nicméně podstatná výhoda je, že oproti spínaným zdrojům s velkou účinností, je velice jednoduchý. Dá se postavit i s menší úrovní znalostí oproti spínanému, kde už to tak jednoduché není.

Základní schéma zdroje jsem převzal ze zdroje, který měl maximální dovolený proud 3A. Ve schématu jsem upravil hodnoty součástek tak, abych mohl regulovat výstupní proud až do 6A.

Na PAD15 se přivede + napájení, na PAD14 – napájení. Jelikož operační zesilovače potřebují symetrické napájení, je zde i přivedené střídavé napětí na PAD16 a PAD23. Já jsem ho přivedl ze vstupů usměrňovacího můstku. Přivedené napětí je zmenšeno úbytkem na rezistoru R2. Následně je pomocí kondenzátorů C10, C2 a diod D3 a D4 získáno záporné napětí oproti PADu14, které je dále pomocí parametrického stabilizátoru stabilizováno a vyhlazeno (T1, R3, D6, C9). Kladné napájecí napětí OZ je rovněž stabilizováno a vyhlazeno (T4, R7, D8, C6). Přivedené střídavé napětí je rovněž využito pro signalizační diodu pojistky F2. Jedná se o jednocestný usměrňovač a předřadný odpor (R23, D10). Na PAD21, 22 se připojí LED dioda. Na PAD19, 20 se připojí signalizační dioda pojistky F3, která je připojena na PAD24, 25. Rezistory R22, 21 a 17 jsou předřadné odpory. Tři jsem použil z toho důvodu, aby se na nich rozložilo napětí, neboť na nich dohromady musí být úbytek asi 34V při 20mA. Je možné je nahradit jedním s větším ztrátovým výkonem. Informaci o velikosti výstupního proudu získáváme pomocí úbytku (OZ pracují pouze s napětím) na výkonovém rezistoru 0,47R. Na neinvertující vstup IC1A je přivedeno napětí za rezistorem a na invertující před rezistorem. IC1A je tedy komparátor, který porovnává dvě napětí lišící se o úbytek na výkonovém rezistoru. Úbytek můžeme ovlivnit potenciometrem, který je zapojen na neinvertující vstup. Tím se nastavuje proudové omezení. Trimrem R1 se nastaví nejmenší omezovaný proud. Na výstupu je přes tranzistor T2 spínána dioda LED připojená na PAD26, 27. Ta signalizuje proudové omezení. Samotné ovládání

regulačního členu (koncový tranzistor) obstarává IC1B. Na jeho invertující vstup je přivedena informace z minus pólu za rezistory 0,47R. Na neinvertující vstup je přivedena informace o nastaveném výstupním napětí pomocí potenciometrů. Původně ve zdroji byl na proud i napětí pouze jeden potenciometr, nicméně většina profesionálních zdrojů má na každou veličinu dva. Každý s jinou ohmickou hodnotou pro jemné a hrubé nastavení hodnoty. Toto zapojení jsem použil i já. Zapojení potenciometrů mezi sebou je na následujícím obrázku.



Obr.34 – Zapojení potenciometrů

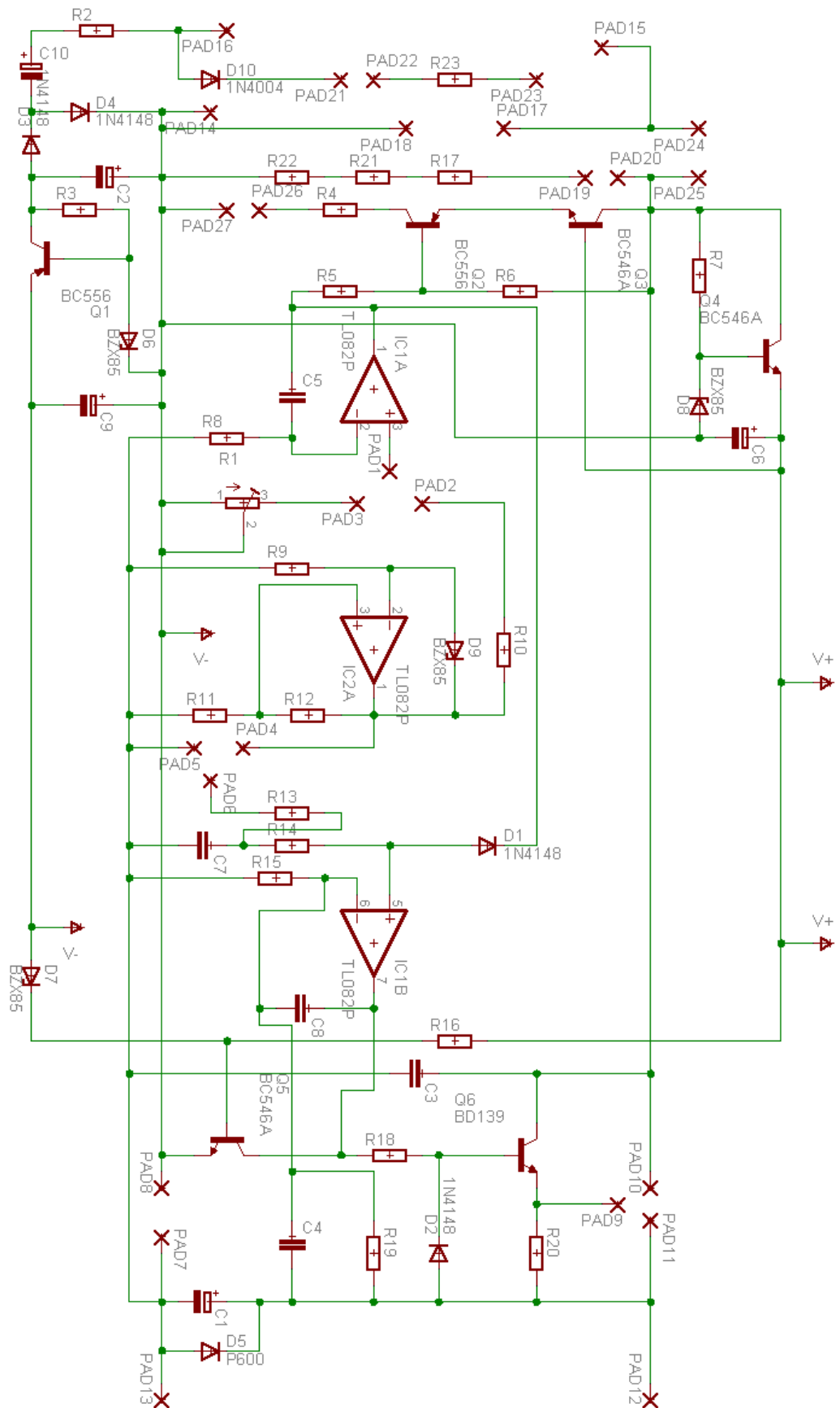
Toto zapojení přijde zapojit na PAD4, 5, 6 pro napětí (na PAD6 přijde PAD2) a na PAD1, 2, 3 pro proud (na PAD1 přijde PAD2). Na neinvertující vstup IC1B je ještě přes diodu D1 přivedena informace o nastavení proudu. Výstupem IC1B se již ovládá báze tranzistoru T6. Je zde nutný, neboť IC1B nemá dostatečně výkonný výstup, aby mohla ovládat výkonový tranzistor. Tomuto zapojení tranzistorů se říká Darlingtonovo zapojení. Tranzistor T6 tedy už přímo ovládá koncový tranzistor připojený na PAD9, 10, 11 (PAD9 – báze, PAD10 – kolektor, PAD11 – emitor). Použil jsem typ KD607 (TESLA). Tranzistor se velmi silně zahřívá a je umístěn na chladiči. Původně jsem použil tranzistor zahraniční výroby, nicméně po třech odpálených kusech, jsem zdroj osadil právě KD607. TESLA tranzistory snesou i horší pracovní podmínky. Dioda D5 slouží jako ochrana proti prepólování a C1 jako konečné dofiltrování napětí. PAD12 se připojí přes pojistku F4 k výstupní zdírce plus a PAD13 k minus. Změna regulace proudu se nastaví změnou hodnoty rezistoru R10. Na PAD6, 7 se připojí sérioparalelní kombinace výkonných rezistorů 0,47R/10W. DPS hlavní části jsem navrhl ručně, neboť používám free verzi Eaglu 4.16r2, kde je velikost navrhované desky omezena na rozměry 10x8cm. Z tohoto důvodu zde motiv DPS nepřikládám. Pouze kvůli přehlednosti jsem překreslil schéma zapojení.

**Seznam součástek :**

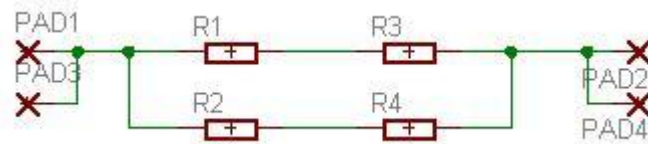
R1	100R, trimr	1x
R2	82R	1x
R3, R4, R6, R7, R9, R14	2k2	6x
R5, R8, R12	10k	3x
R10	25k	1x
R11	6k8	1x
R13, R15, R16	18k	3x
R17, R21, R22	570R	3x
R18, R20	1k	2x
R19	47k	1x
R23	1k8	1x
C1	100uF/63V, elektrolytický radiální	1x
C2, C10	47uF/50V, elektrolytický, radiální	2x
C3, C7	100nF/keramický	2x
C4, C5, C8	330pF/keramický	3x
C6	4,7uF/63V, elektrolytický, radiální	1x
C9	100uF/25V, elektrolytický, radiální	1x
D1, D2, D3, D4	1N4148	4x
D5	P600	1x
D6, D9	BZX85/5V6	2x
D7	BZX85/3V3	1x
D8	BZX85/33V	1x
D10	1N4001	1x
T1, T2	BC556	2x
T3, T4, T5	BC546A	3x
T6	BD139	1x
IC1, IC2	TL082	2x
Koncový tranzistor	KD607	1x
Výkonné rezistory	0,47R/10W	4x



## 2.10.2 Schéma zapojení

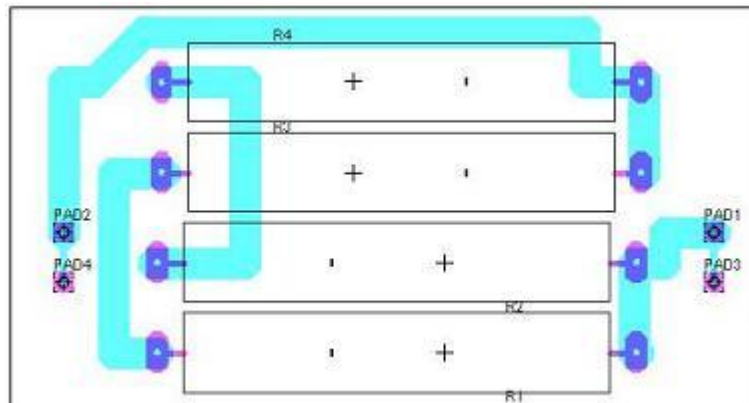
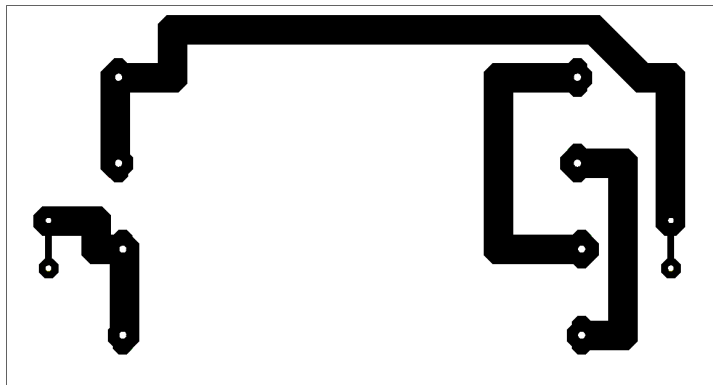


Obr.35 - Schéma



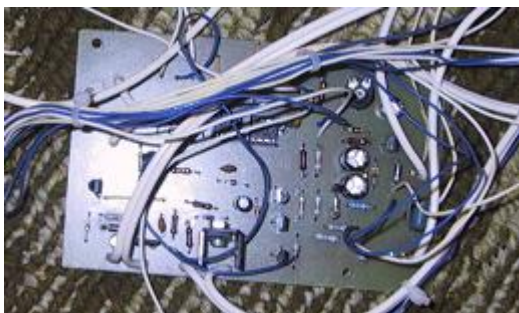
Obr.36 – Schéma

### 2.10.3 Tištěný spoj (DPS)



Obr.37 – Motiv DPS + osazení

### 2.10.4 Fotografie funkčního vzorku



Obr.38 - Funkční vzorky

## **3 Konstrukce, mechanická část**

### **3.1 Krabice**

#### **3.1.1 Rozhodnutí o typu a tvaru krabice**

Nejdříve jsem si musel rozmyslet, jak budu tento zdroj chtít využívat. Chtěl jsem, aby na pohled vypadal jako profesionální výrobek, který bude mít přehledně rozmístěné ovládací prvky. Na výběr jsou dva typy krabic. Stojaté provedení nebo ležaté (tzv. „desktop“). Mě se více zamlouvalo ležaté provedení kvůli rozmístění prvků. Velmi se mi zalíbil orientační návrh zveřejněný na HW serveru. Splňovalo to všechny moje kritéria. Navrhl jsem si rozmístění jednotlivých prvků na panelu a vše ve skutečné velikosti narýsoval, abych měl jistotu, jak to bude vypadat ve skutečnosti. Velmi podstatný pro mě byl v tuto fázi vzhled. Z tohoto důvodu jsem zvolil u měřicího přístroje poměrně velký displej, který vzhled panelu výrazně ovlivnil. Vzhledem k velikosti krabice jsem se rozhodl chladič koncového tranzistoru umístit vně krabice na zadním panelu. Opět v tom hrál vzhled. Použil jsem hezký profil, který dobře rozvádí teplo. Při zkouškách zdroje se ukázalo, že jsem se rozhodl správně i z funkčního hlediska. V praxi se totiž chladič, třebaže má poměrně velké rozměry, silně zahřívá nad teploty 80 °C. Kdyby byl umístěn uvnitř krabice, vše by se od něj zahřívало. Minimálně by to mělo vliv na elektrolytické kondenzátory, které by v takovéto teplotě rychle vysychali.

#### **3.1.2 Popis výroby**

Po komplexním návrhu tvaru, typu a rozmístění prvků jsem zvolil krabici, která se skládá ze dvou U profilů, které jsou následně sešroubovány k sobě. Toto řešení bylo nejjednodušší a nejrychlejší na výrobu. Jako materiál jsem zvolil plech tloušťky 1mm. Plech o této tloušťce se velmi snadno ohýbá a tvaruje. Narýsovaný a připravený plech jsem vystříhl na ručních tabulových nůžkách. Plech jsem ohnul pomocí kladiva ve svěráku a to tak, že jsem ho upnul do svěráku mezi dva úhelníky a ohnul. Plech je slabý a jde to docela dobře. Ke konci je nutno doladit ohyb kladivem. Ne však na přímo. Použil jsem širší kus dřeva, aby úder nezanedbal stopy

(prohlubně po kladivu). Tím byly profily hotové. Jelikož jsem si nedokázal představit, jak přesně budou jednotlivé věci uvnitř zdroje umístěny, postupoval jsem postupně, jak probíhala stavba zdroje. Začal jsem upevněním největších věcí. To znamená transformátory a filtrační kondenzátory. Na zadní panel jsem umístil síťovou zásuvku a připevnil chladič. Chladič má dole vyříznutý roh, aby do zásuvky nezasahoval. Celý je přichycen k zadnímu panelu šesti šrouby M3, které jsou od chladiče odizolovány izolačními průchodkami. Na chladiči je totiž kolektor výkonového tranzistoru ( je to tzv. „ živý “ chladič). Na přední panel jsem umístil kolébkový síťový vypínač s doutnavkou, sadu indikačních LED diod, pojistky, přepínač pro měřicí přístroj, displej, výstupní svorky a ovládací potenciometry. Vlivem ohřevu součástek i zadní části krabice (kvůli chladiči), jsem do vrchního dílu krabice vyvrtal chladičí mřížky. Chtěl jsem něco extra, proto jsem si navrhl šikmo zkosené pásy děr, které na sebe na jednotlivých stranách navazují. Myslím, že to vypadá mnohem efektněji, než jen vložená rovná mřížka. Celkem je to 819 děr, které jsem musel nejprve předvrtat, pak vyvrtat vrtákem 4mm a nakonec zahlubit otřepty z obou stran. Ve výsledku je to tedy, jako kdybych vrtal 3276 děr (vrtal jsem to několik hodin v kuse). V závěru práce je vše rozkresleno. Spodní a vrchní díl krabice jsou sešroubovány prostřednictvím ocelového hranolku 5x5mm (na obrázku označený červenou barvou), ve kterém jsou vyřezány závity M3. Hranolky jsou přivařeny ke spodnímu dílu za pomoci elektrické svářečky (na obrázku jsou to modré tečky). Vhodnější by bylo to svářet „ COčkem “, neboť „ elektrika “ takto slabý plech dost propaluje. Po přivaření hranolků se plech trochu zkroutil. Způsobilo to pnutí materiálu při sváření, nicméně není to na závadu. Následně jsem všechny díry provrtal. Ve vrchním dílu jsem je rozšířil na 3mm a do hranolků jsem dořízl závity. Vše jsem dělal postupně, aby se vůči sobě díry nepohnuly. Vždy jsem vyvrtal jednu díru, rozdělal vyřízl závit, znovu zadělal a dotáhl šroubek. Je to pracné, ale měl jsem jistotu, že to bude pasovat. Na obrázku označená zelená část s číslem 5 je držák spínacího tlačítka (přepínání měřených veličin). Má tvar trochu roztaženého Z. Na závěr výroby bych chtěl zmínit pevnost krabice. Plech 1mm není moc, ale je

vyztužen hranolky a po sešroubování se krabice zpevnila natolik, až mě to mile překvapilo.

### 3.1.3 Fotografie vyrobené krabice



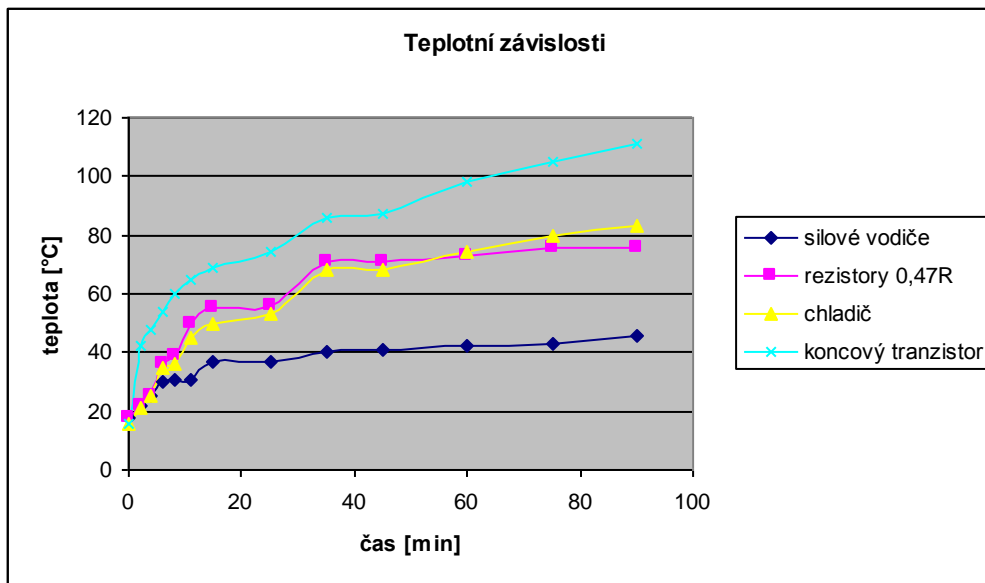
Obr.39 – Vyrobená krabice

## Zhodnocení

Uvedený zdroj má jistě ještě mnoho nedostatků. Moje očekávání ale splnil. SOFT-START pro výkon 200VA není nutný, nicméně jsem ho použil, neboť počítám se současným zapnutím více spotřebičů. V tomto případě by mě výkon 200VA již mohl vyházovat jističe. Velice výhodný je též při napájení

z mobilních generátorů a měničů nebo v instalacích se slabším jištěním. Zdroj jsem postavil tak, aby upoutal svým vzhledem a vybavil obvody, které značně rozšiřují jeho použitelnost a bezpečnost ovládání. Jednotlivé signalizační LED diody mě informují o aktuálním stavu zdroje. Jedná se například o signalizaci činnosti SOFT-STARTU. Samozřejmě za cenu větší složitosti. Celý zdroj jsem postavil v kombinaci černé, bílé a uvnitř i modré barvy. Zdroj se svou konstrukcí nehodí k mobilnímu provozu, neboť váží 12 kilogramů. Co se týče velikosti filtračních kondenzátorů, je zvolena poměrně značná hodnota, ale je pravda, že velikost zvlnění je téměř nulová. Čitelnost hodnoty měřené veličiny je díky velkému LED displeji i za ostrého slunce přímo vynikající. Ovládací prvky jsou pohodlně rozloženy. Ve zdroji je použito celkem 5 pojistek. Jedna je u sekundárního vinutí pomocného transformátoru a ostatní rozmístěny již mezi bloky zdroje. Chrání především hlavní transformátor a filtrační kondenzátory. Jsou to nejdražší položky a také destrukce takto velkých kondenzátorů by byla nebezpečná jak pro obsluhu tak pro ostatní části zdroje. Zdroj se nehodí k hrubému fyzickému zacházení z důvodu hmotnosti jednotlivých prvků.

Jelikož se zdroj při zatížení velice zahřívá, rozhodl jsem se ho dlouhodobě otestovat na 3/4 výkonu (tedy 4A). Jako zátěž jsem použil automobilovou žárovku. Hodnoty měření během zatěžování byly 13,3V a 4A. Celé měření trvalo 1,5 hodiny v kuse. Po této době jsem se přiblížil s teplotou koncového tranzistoru k maximu (naměřeno 111°C, max.  $t = 120^{\circ}\text{C}$  podle katalogu). Měření jsem tedy ukončil, ale myslím, že 1,5 hodiny je dostatečná výdrž. Teplota jádra hlavního transformátoru se vyšplhala na 42°C. Měřil jsem nejvíce zatěžované části zdroje. Vše je vyneseno do jednoho grafu. Z toho je jasně vidět, že se nejvíce hřeje tranzistor. Jeho teplota roste přibližně exponenciálně (teplota se nejvíce zvyšuje na začátku). Strmost je tím větší, čím je větší odebíraný proud. Měření jsem provedl krátkodobě i při odběru 6A. Teploty dosáhly stejných úrovní již po 10 minutách. Naopak při menším odběru by mohl zdroj pracovat takřka neomezenou dobu.



Obr.40 – Teplotní závislosti

## Závěr

Díky množství schémat, DPS a obrázků je práce trochu delší než je potřeba. Nicméně jsem považoval za vhodné doplňovat text obrázky funkčních vzorků apod.

Při navrhování elektroniky jsem se dopustil několika chyb. Některé jsem odstranil již při pokusných zapojeních. Jednalo se o drobné chyby. Například výkonný rezistor 0,47R pro snímání úbytku se velmi rychle rozpálil. Nahradil jsem ho tedy již zmíněnou sérioparalelní kombinací čtyř těchto rezistorů. Ztrátové teplo se mezi ně rozloží. Problémy s odvodem tepla jsem měl hlavně u koncového tranzistoru. Měl jsem ho odizolovaný od chladiče slídovou podložkou. Nechtěl jsem, aby chladič byl „živý“. Nakonec jsem slídovou podložku nepoužil, neboť tvořila příliš velkou překážku pro odvod tepla z tranzistoru do chladiče. Na problém jsem narazil i u ovládání měřicího přístroje. Původně jsem zamýšlel elektronickou verzi, nicméně po odzkoušení zapojení s relátkou jsem se rozhodl pro mechanickou verzi. Ta je hlavně o dost jednodušší, ale je pravda, že má o něco větší spotřebu. DPS s rozvodem síťového napětí jsem zvolil z několika důvodů. Při pokusném zapojení jsem všechny vodiče připájel přímo na síťový vypínač, což se ukázalo jako nevyhovující, neboť hrozilo mechanické poškození vypínače. Na již zmíněnou DPS jsem zrovna umístil i část SOFT-STARTU. Při

překreslování a navrhování DPS jsem nepozorností zapomněl na několik spojů u měřicího přístroje a displeje. Hotové a osazené DPS jsem ale už neupravoval a chybějící spoje nahradil kablíky. Při výrobě chladicích mřížek jsem zvolil rastr jednotlivých děr 5mm z toho důvodu, že jsem ji nerýsoval, ale využil jsem běžného čtverečkovaného papíru. Značně mi to urychlilo práci.

Při měření zatěžování zdroje, jsem si všiml jednoho většího nedostatku. Hlavní transformátor mám uchycený jen z jedné strany a jinak je volně položen na dně krabice. Uchycení je mechanicky pevné, ale při činnosti transformátor a dno krabice brní v rytmu 50Hz. Samozřejmě funkčně to nevadí, ale při delším provozu je to nepříjemné.

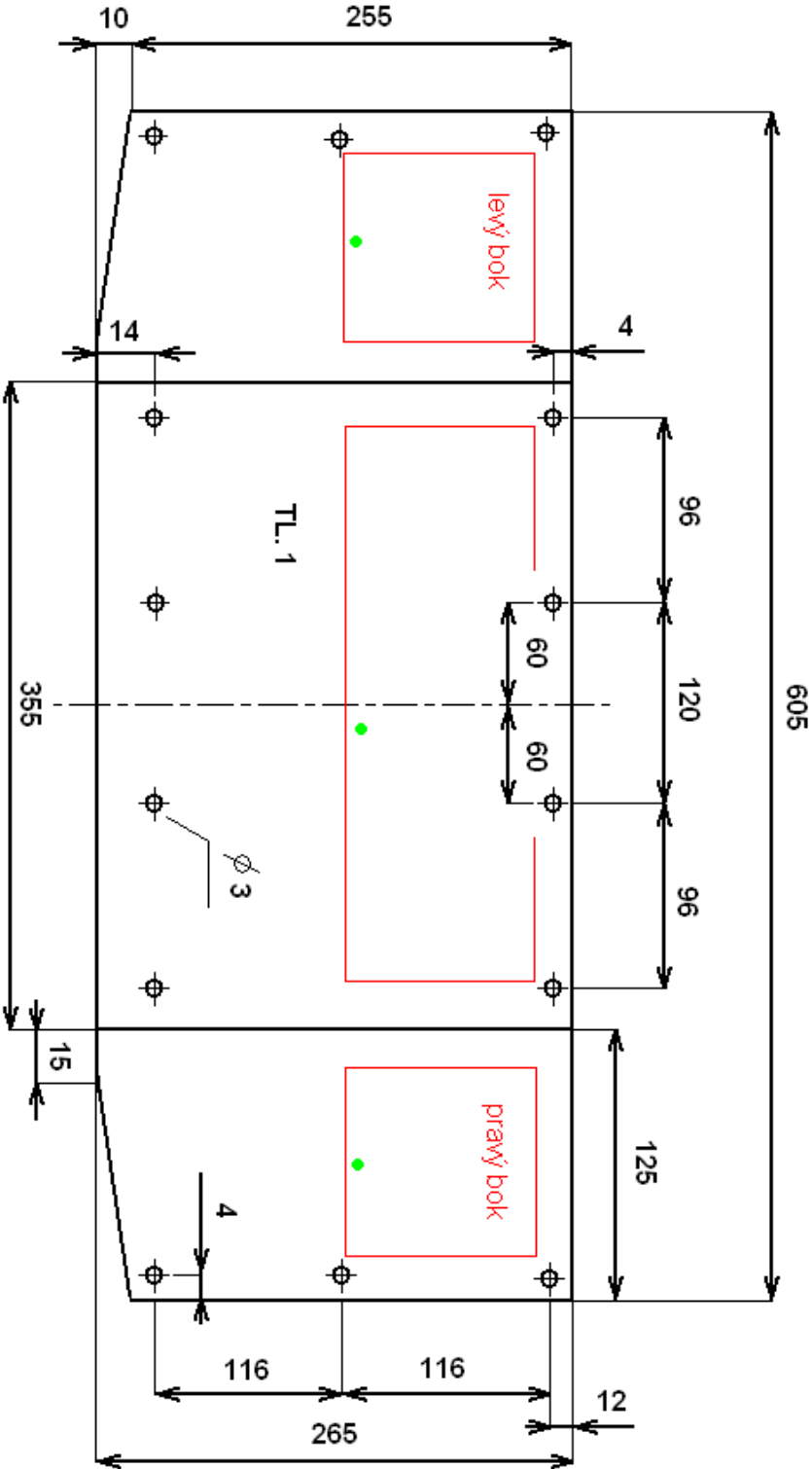
Obvodové řešení zdroje není složité, ale je náročné na orientaci a pečlivost. Celý zdroj jsem stavěl po chvilkách asi 4,5 měsíce, neboť jsem pořád něco měnil nebo vylepšoval. Po finanční stránce mě stál něco okolo 2000 Kč i s konstrukčním materiálem.

## **Seznam použité literatury a internet. zdrojů**

- <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART231-Konstrukce-laboratorniho-zdroje-0---30V---0---5A.html>
- <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART1628-Laboratorni-zdroj-0-30V-2mA-3A.html>
- [http://djpeak.cz/elektrotechnika/zdroj\\_27V/zdroj.htm](http://djpeak.cz/elektrotechnika/zdroj_27V/zdroj.htm)
- Napájecí zdroje 1, Krejčířík Alexandr
- Napájecí zdroje 2, Krejčířík Alexandr
- Lineární napájecí zdroje, Krejčířík Alexandr
- Katalog GM electronic
- Přehled diskrétních polovodičových součástek TESLA – katalog
- Studijní materiály týkající se zdrojů ( <http://maly.unas.cz/> )
- Datasheet KD607
- Datasheet ICL7107 + popis digitálního voltmetru (dokumentace EZK)
- [http://www.alunet.cz/produkty/#druhy\\_krok](http://www.alunet.cz/produkty/#druhy_krok)



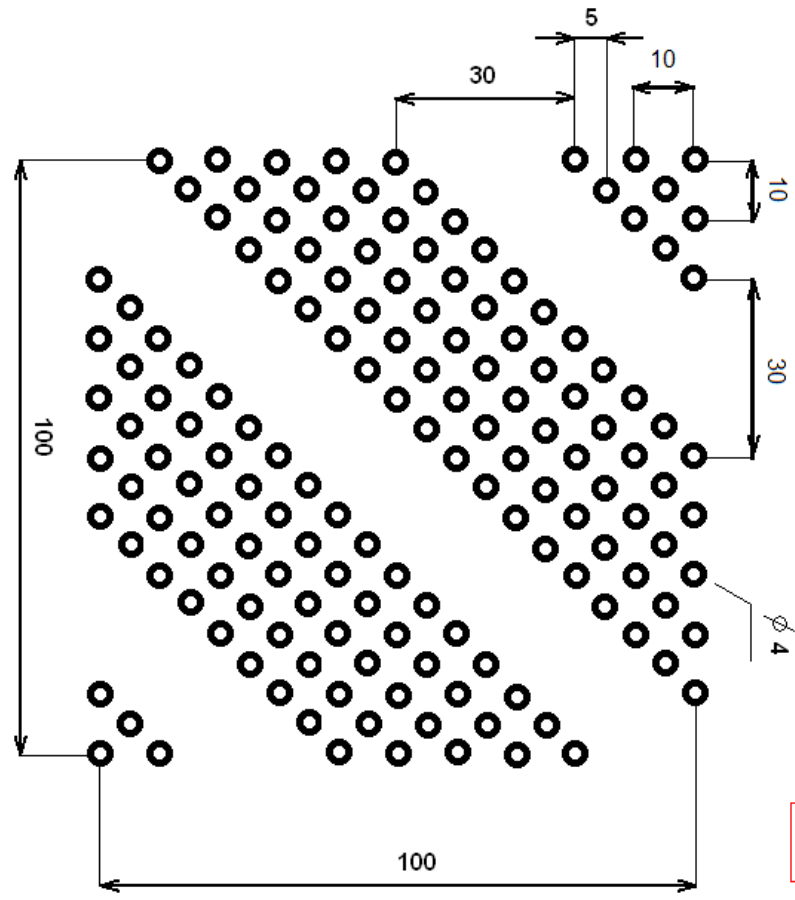
**Příloha**



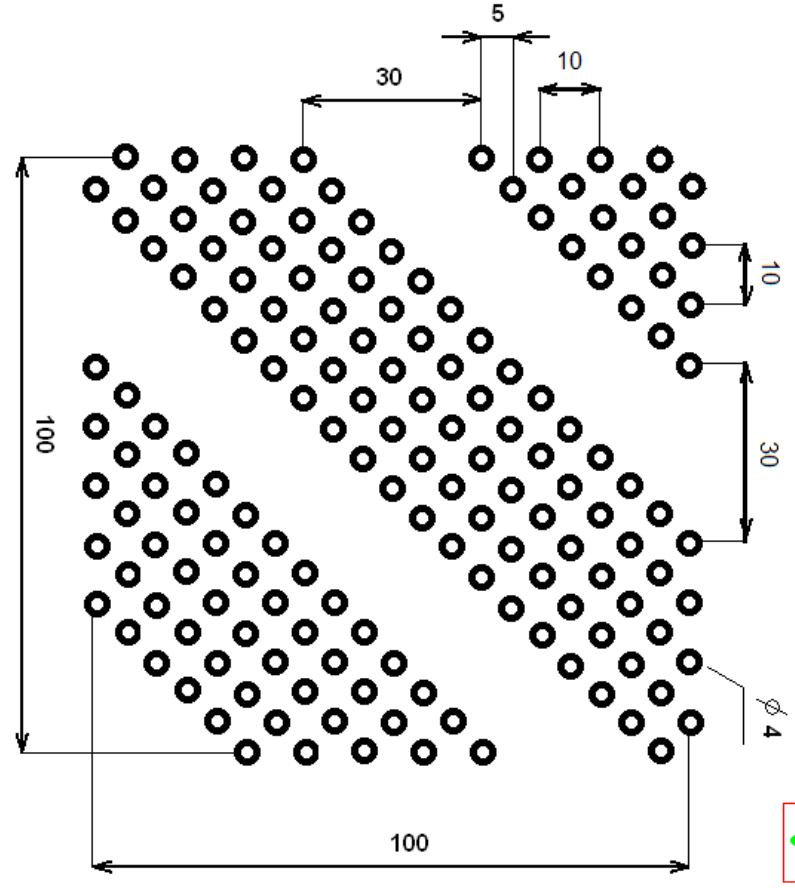
Vrchní část krabice (narovnaný tvar)  
umístění větracích otvorů (odvětrání krabice)

Obr.41 – Vrchní díl

Struktura chladicích otvorů na levém boku vrchní části krabice

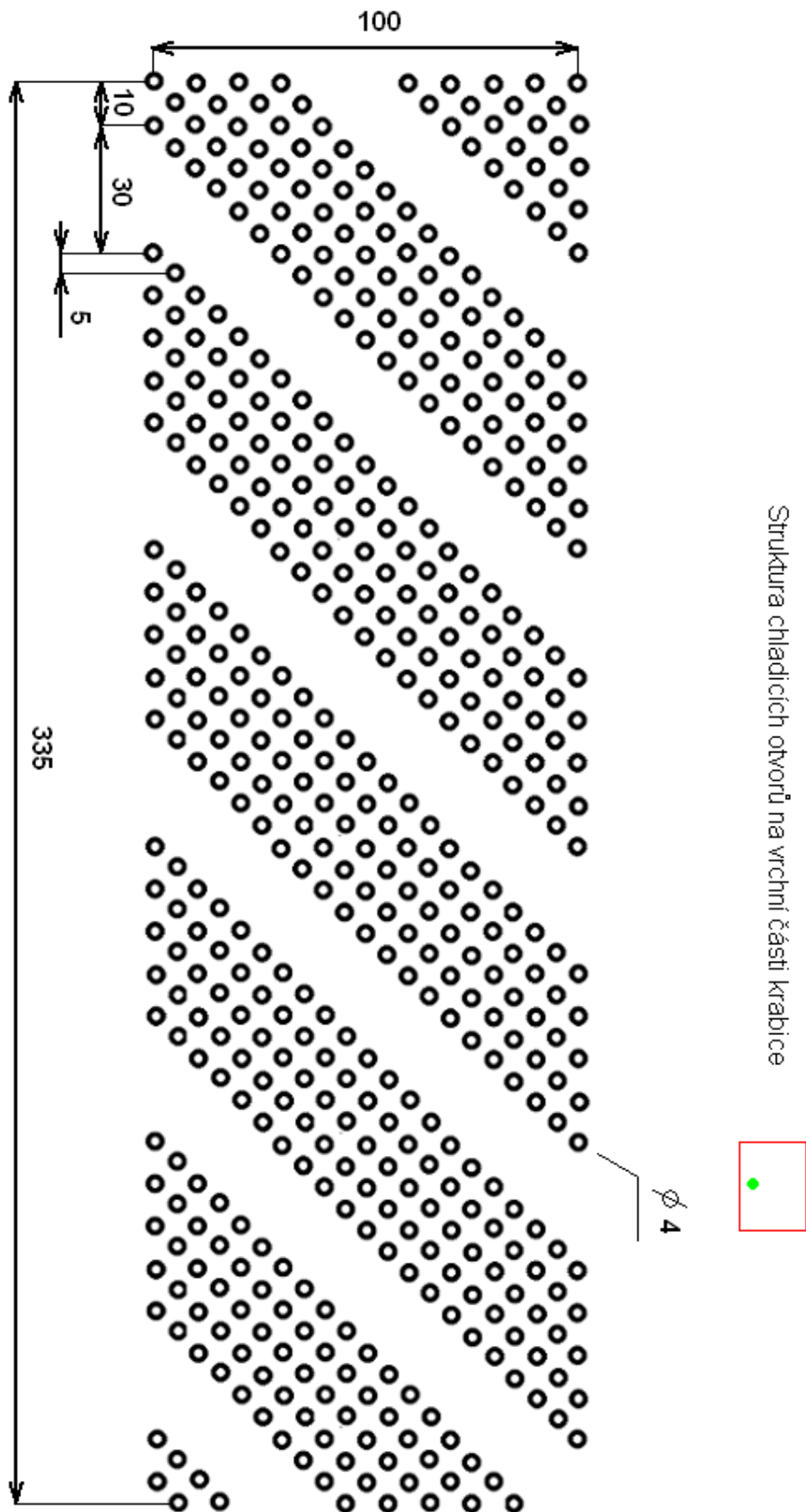


Struktura chladicích otvorů na pravém boku vrchní části krabice



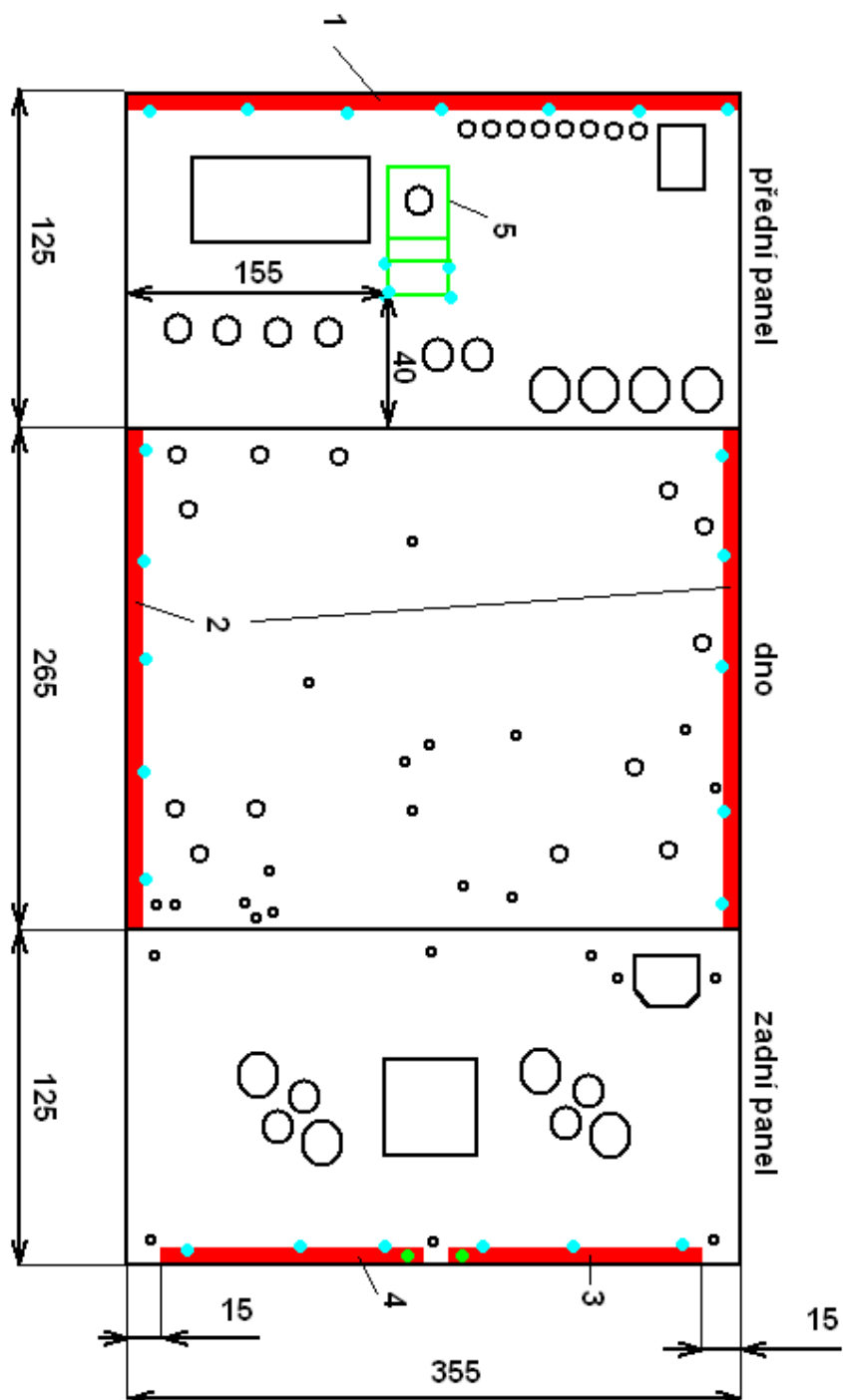
Obr.42 – Boční chladicí mřížky

Struktura chladících otvorů na vrchní části krabice



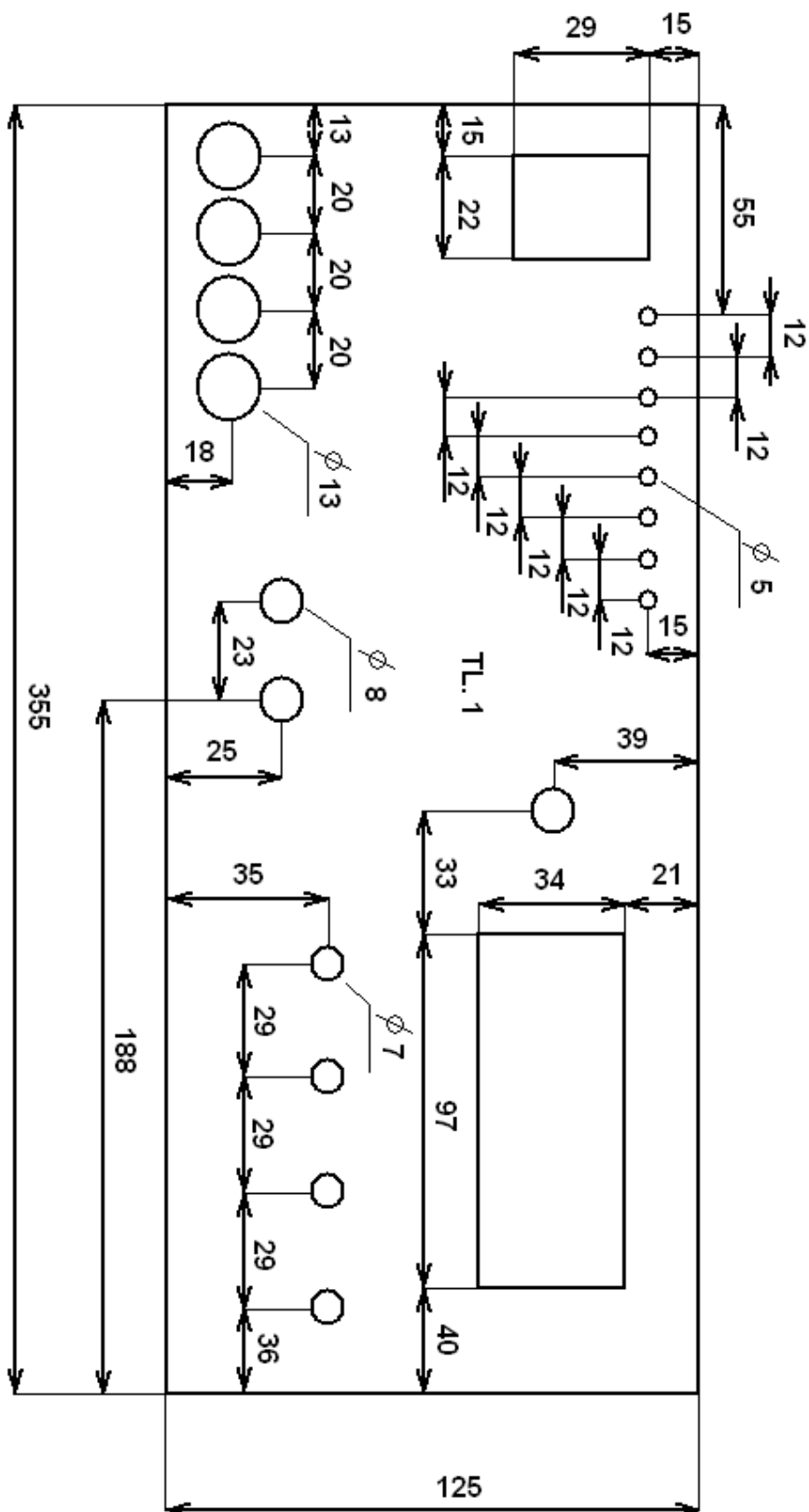
Obr.43 – Vrchní chladicí mřížka

Základní náčrtes spodní části krabice včetně základních rozměrů

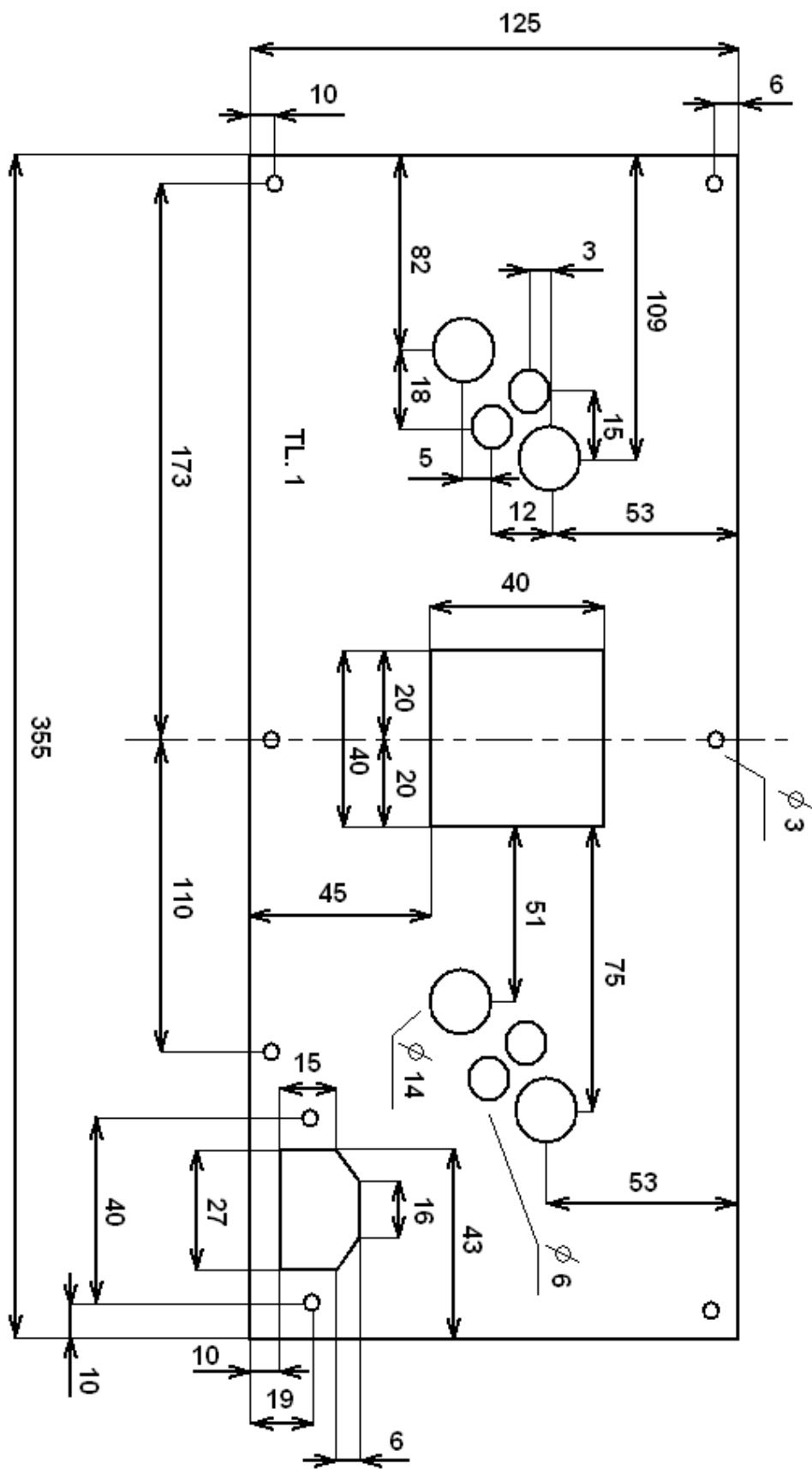


Obr. 44 – Orientační náčrtes spodního dílu

Přední panel

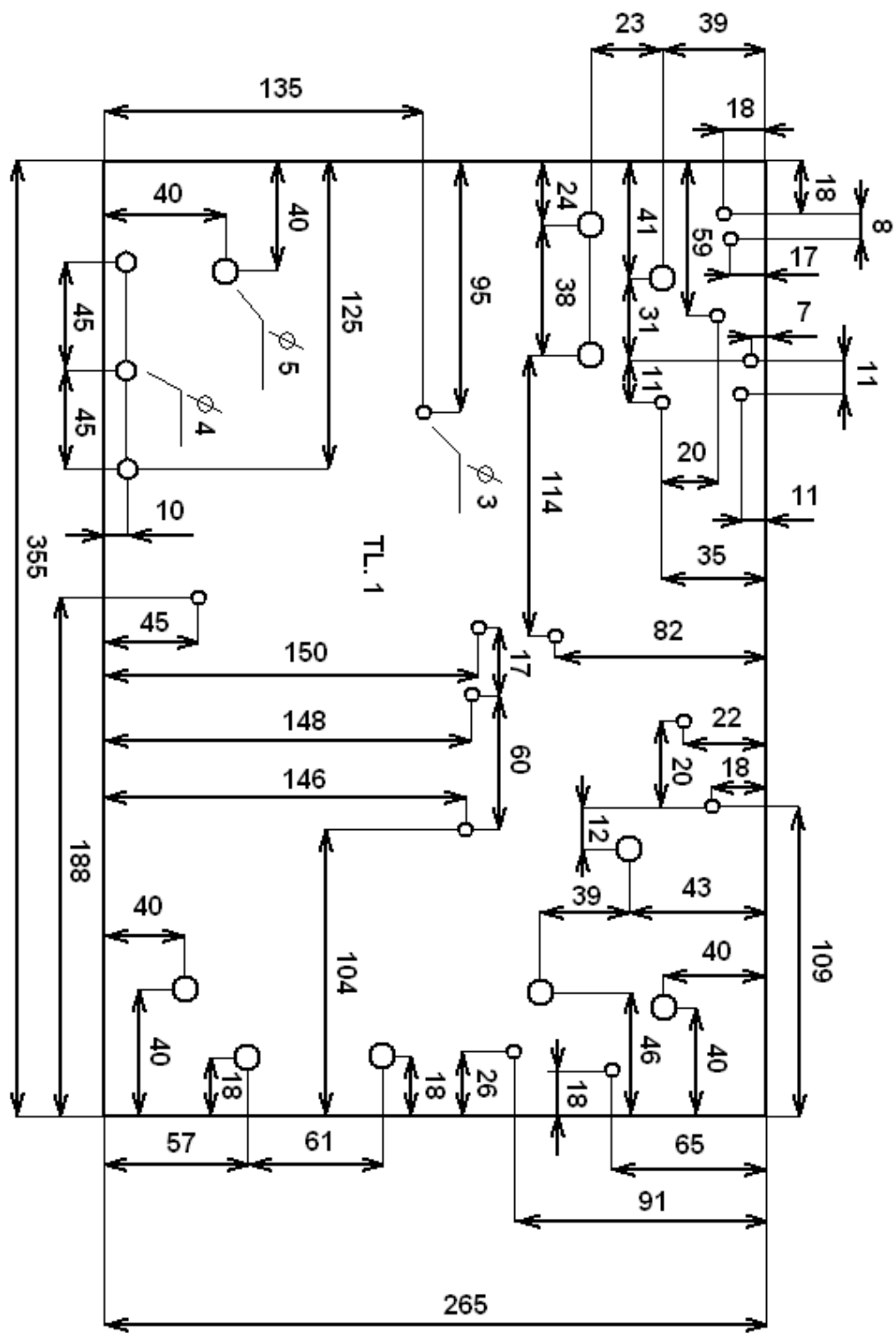


Obr.45 – Přední panel



Zadní panel

Obr. 46 – Zadní panel



Obr. 47 - Dno

Dno



Obr.48 – Zdroj v rozsypu





Obr.49 – Dokončený a plně funkční laboratorní zdroj 0-30V, 0-6A