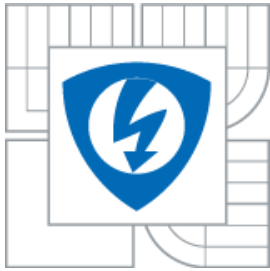




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# AUTONOMNÍ VENKOVNÍ SYSTÉM PRO PĚSTOVÁNÍ ROSTLIN

AUTONOMOUS OUTDOOR SYSTEM FOR GROWING PLANTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

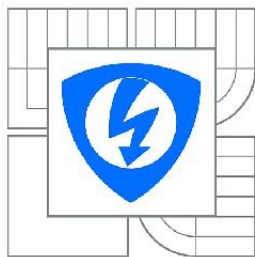
Bc. Dominik Schmidt

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Petržela, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Bc. Dominik Schmidt

**ID:** 125306

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

### Autonomní venkovní systém pro pěstování rostlin

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Promyslete si možnosti realizace venkovního uzavřeného skleníku z hlediska vytvoření a udržení definovaných klimatických podmínek, a to přes letní i zimní období. Systém by měl určitě obsahovat vodní trysky, čerpadlo, generátor mlhy, zářivku a Peltierův článek. Tyto periferie by měly být řízeny separovanou analogovou řídicí jednotkou.

Navrhněte a realizujte kompletní systém kontroly klimatu a tento implementujte do reálného skleníku. Systém ověřte dlouhodobým měřením a výsledky diskutujte. Dbejte přitom i na konstrukční část problému s tím, aby byl daný systém kontroly klimatu maximálně univerzální, tedy variabilní.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PETRŽELA, J. Teorie elektronických obvodů. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2012.

[2] DOSTÁL, T. Analogové elektronické obvody. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 21.5.2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Petržela, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**

*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**

Tato diplomová práce pojednává o možnostech udržování vhodných klimatických podmínek ve venkovním skleníku. Pro růst rostlin je důležitá vhodná teplota, vlhkost a dostatečný přísun vody. Cílem práce je navrhnout a zkonstruovat zařízení, které bude udržovat předem definované podmínky ve skleníku při minimálních požadavcích na údržbu. Zařízení využívá analogové řízení pomocí fotorezistoru či termistoru. Pro napájení se využívají DC – DC měniče.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Skleník, klimatické podmínky, Peltierův článek, mlžič, analogové řízení.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with maintaining possibilities for appropriate climatic conditions in outdoor greenhouse. The importance for growing plants is an appropriate temperature, humidity and adequate supply of water. The aim of the study is to suggest an apparatus sustaining beforehand defined conditions in the greenhouse with minimal requirements for maintenance. Apparatus uses analogue control by applying photoresistor and thermistor. For power supply are DC-DC converters used.

## **KEYWORDS**

Greenhouse, climatic conditions, Peltier module, fogger, analogue control.

SCHMIDT, D. *Autonomní venkovní systém pro pěstování rostlin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2015. 39 s., 18 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Petřela, Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Autonomní venkovní systém pro pěstování rostlin 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 20.5.2015

.....

(podpis autora)

# PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Petrželovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 20.5.2015

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Technické předpoklady</b>	<b>2</b>
1.1 Materiál a konstrukce skleníku .....	2
1.2 Spínané zdroje.....	2
1.2.1 Porovnání spínaných a lineárních zdrojů.....	2
1.2.2 Snižující měnič .....	3
1.2.3 Zvyšující měnič.....	3
1.2.4 Invertující měnič .....	4
<b>2 Části systému</b>	<b>5</b>
2.1 Zavlažování.....	5
2.1.1 Čerpadlo.....	5
2.1.2 Rozvod vody .....	6
2.1.3 Napájení a řízení .....	7
2.1.4 Naměřené výsledky zdroje pro čerpadlo .....	11
2.2 Zvyšování vzdušné vlhkosti.....	12
2.2.1 Mlžič .....	12
2.2.2 Ventilátor .....	13
2.2.3 Napájení a časování mlžiče.....	13
2.3 Osvětlení .....	14
2.3.1 Diody .....	15
2.3.2 Konstrukce diodových řad .....	16
2.3.3 Řízení intenzity osvětlení.....	17
2.3.4 Napájení .....	18
2.3.5 Výsledky měření obvodů pro osvětlení .....	20
2.4 Vytápění.....	22
2.4.1 Peltierův článek.....	22
2.4.2 Regulace topení.....	23
2.4.3 Zdroj pro vytápění .....	30
2.4.4 Měření zdroje pro peltierův článek.....	35

<b>3</b>	<b>Zdroj napájení</b>	<b>37</b>
3.1	Transformátor .....	37
3.2	Místkový usměrňovač .....	37
3.3	Filtrační kondenzátory .....	38
<b>4</b>	<b>Závěr</b>	<b>39</b>
	<b>Literatura</b>	<b>40</b>
<b>A</b>	<b>Fotodokumentace</b>	<b>42</b>
A.1	Deska pro světla, čerpadlo a mlžič .....	42
A.2	Deska pro Peltierův článek .....	43
<b>B</b>	<b>část zařízení pro peltierův článek</b>	<b>43</b>
B.1	Obvodové zapojení pro řízení peltierova článku .....	43
B.2	Deska plošného spoje pro řízení peltierova článku – top .....	45
B.3	Deska plošného spoje pro řízení peltierova článku – bottom .....	46
B.4	Osazovací výkres .....	47
B.5	Seznam součástek .....	47
<b>C</b>	<b>část zařízení pro světla, čerpadlo a mlžič</b>	<b>50</b>
C.1	Obvodové zapojení pro světla, čerpadlo a mlžič .....	50
C.2	Deska plošného spoje pro světla, čerpadlo a mlžič – top .....	52
C.3	Deska plošného spoje pro světla, čerpadlo a mlžič – bottom .....	53
C.4	Osazovací výkres .....	53
C.5	Seznam součástek .....	54
<b>D</b>	<b>Zapojení filtračních kondenzátorů</b>	<b>56</b>
D.1	Obvodové zapojení filtračních kondenzátorů .....	56
D.2	Deska plošného spoje pro filtrační kondenzátory – bottom .....	56
D.3	Osazovací výkres: .....	56
D.4	Seznam součástek .....	57

# ÚVOD

V této práci byl navržen a realizován systém, který se snaží maximálně ulehčit obsluhu venkovního skleníku pro pěstování rostlin. Jmenovitě se jedná o řízení osvětlení, zavlažování, zvyšování vzdušné vlhkosti, topení a chlazení.

V kapitole nazvané Technické předpoklady jsou obsaženy informace o konkrétních rozměrech skleníku a použitých materiálech a dále krátký úvod do spínaných zdrojů.

Kapitolu Části systému je možno považovat za těžiště práce. Zde jsou v jednotlivých podkapitolách řešeny konkrétní části systému. V úvodu každé podkapitoly je řečeno, jaké mechanické a elektrické komponenty budou pro danou část použity, následně se podkapitola věnuje řízení jednotlivých komponent. Podkapitola je zakončena návrhem vhodného napájecího zdroje, převážně spínaného snižujícího měniče napětí.

V závěrečné kapitole je rozebráno napájení pomocí toroidního transformátoru. Užitý toroid má dvě sekundární vinutí, z nichž první napájí čerpadlo, světlo a mlžič a druhé vinutí napájí Peltierův článek. V této kapitole je rovněž vyřešeno usměrnění a filtrace napájecího napětí.

# 1 TECHNICKÉ PŘEDPOKLADY

V práci je uvažován polykarbonátový skleník o rozměrech 650\*300\*1100mm, který je vnitřními policemi rozdělen na 3 patra. Každé patro je zapotřebí zvlášť osvětlovat a též přívod vody bude zprostředkován pro každé patro.

## 1.1 Materiál a konstrukce skleníku

Jako materiál skleníku je použit polykarbonát. Jedná se o plast ze skupiny termoplastů. Má dobré optické i mechanické vlastnosti. Desky z polykarbonátu se používají mimo jiné třeba na zastřešení pergol, bazénů apodobně.



Obrázek 1 Struktura polykarbonátových desek [1].

Mezi jeho další vlastnosti patří lehká opracovatelnost – lze řezat okružní pilou či pilou na železo. Moderní polykarbonátové desky mají vrchní vrstvu opatřenou UV ochranou, čímž je zajištěna vyšší životnost těchto desek.

Konstrukci skleníku tvoří rovnoramenné L profily, ke kterým lze polykarbonátové desky buď přišroubovat, nebo přinýtovat.

## 1.2 Spínané zdroje

V této kapitole budou probrány základní typy spínaných měničů. Rovněž bude provedeno porovnání s lineárními měniči.

### 1.2.1 Porovnání spínaných a lineárních zdrojů

Jednou z největších výhod spínaných zdrojů je bezesporu jejich vyšší účinnost v porovnání s lineárními regulátory. Vyšší účinnost též znamená menší ztráty na zdroji a tudíž možnost využití menších, či dokonce žádných chladičů. Využitím menších

chladičů je možno dosáhnout menších rozměrů.

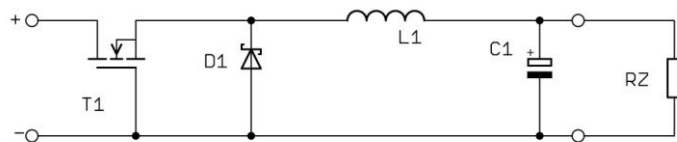
Další výhodou spínaných zdrojů je lepší možnost filtrace zbytků střídavé složky výstupního napětí, což je dáno použitím vysokých spínacích kmitočtů. Použití vysokých kmitočtů s sebou nese komplikace v nutnosti užití součástek, které jsou na tyto pracovní frekvence stavěné a jejichž cena je vyšší než součástky pro lineární regulátory.

Nevýhodou spínaných zdrojů je obtížnější návrh než v případě lineárních měničů, zato ale mohou nabývat hodnot výstupního napětí vyššího, nižšího či invertovaného ke vstupnímu napětí. Lineární regulátory umožňují pouze snížení napětí.

Výhodou lineárních regulátorů je naopak obvodová jednoduchost zapojení a nízký výstupní šum. Lze je velmi dobře použít tam, kde není velký úbytek napětí, či tam, kde není požadován velký výkon [2].

### 1.2.2 Snižující měnič

Též nazýván buck či step – down. Jedná se o neizolovaný měnič na nižší napětí. Mezi jeho výhody patří jednoduchá konstrukce a nízká cena. Nevýhodou je možnost zničení tranzistoru při zkratování výstupu. Zapojení je znázorněno na obrázku 2.

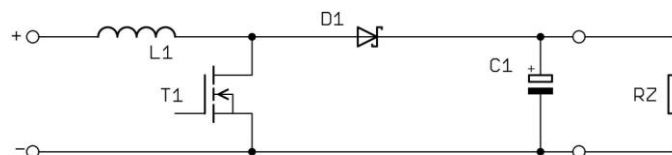


Obrázek 2 Zapojení snižujícího měniče.

Princip spočívá v tom, že při sepnutí tranzistoru teče proud přes cívku do zátěže. Cívka se chová jako spotřebič a napětí je na ní ve stejném smyslu s protékajícím proudem. Po rozpojení se cívka začne chovat jako zdroj, vybíjí se za pomoci diod, čímž dochází ke změně polarity napětí. Při sepnutí tranzistoru dojde k nabití kondenzátoru. Po rozpojení se změni polarita proudu kondenzátorem a kondenzátor se vybíjí do zátěže, čímž proudově pomáhá cívce. Růst kapacity kondenzátoru má za následek menší zvlnění výstupního napětí [2].

### 1.2.3 Zvyšující měnič

V angličtině označovaný jako step up či boost. Přednostmi tohoto způsobu zvýšení napětí je to, že není potřeba využít transformátor, nevýhodou je vysoké výstupní zvlnění při nízké střídě spínání tranzistoru. Zapojení je znázorněno na obrázku 3.

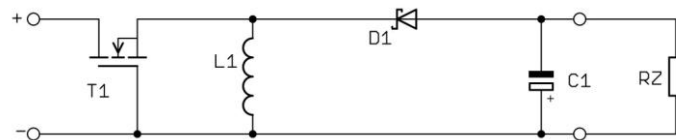


Obrázek 3 Zapojení zvyšujícího měniče.

Během sepnutí tranzistoru pracuje cívka jako spotřebič a roste na ní proud. Po rozpojení zůstává směr proudu stejný, ale dojde ke změně směru napětí, takže napětí na cívce a zdroji se nyní sečtou, čímž dojde k sepnutí diody, která až do této chvíle byla záporně polarizovaná napětím na kondenzátoru. Po sepnutí diody proud teče do zátěže a výstupního kondenzátoru. Po opětovném sepnutí tranzistoru dojde vlivem vyššího napětí na výstupním kondenzátoru k opětovnému zavření diody. Z principu je zřejmé, že nejnižší napětí, které může tento zdroj dodávat je napětí vstupní [2].

#### 1.2.4 Invertující měnič

I u tohoto měniče pracuje cívka v režimu jak špotřebiče, tak zdroje. Je-li tranzistor sepnut, pak proud zdroje protéká přes tento tranzistor do cívky, kde dochází k jeho nárůstu. Při vypnutí tranzistoru zůstává zachován směr proudu cívky, ale mění se směr napětí, které nyní prochází přes zátěž a diodu. Dochází k nabití kondenzátoru a nárůstu napětí na zátěži. Zapojení invertujícího měniče je možno vidět na obrázku 4 [2].



Obrázek 4 Zapojení invertujícího měniče.

## 2 ČÁSTI SYSTÉMU

V následující kapitole jsou rozebrány jednotlivé části systému. Jmenovitě jde o zavlažování, generátor mlhy, osvětlení a vytápění. U každé dílčí části jsou rozebrány požadavky na tuto součást, technické řešení a dále možnosti řízení a napájení.

### 2.1 Zavlažování

Pro správný růst rostlin je nezbytným předpokladem dostatek vláhy. Cílem této kapitoly je navrhnout takový systém, který jednotlivým rostlinám zajistí dostatečný přísun vody. Je zapotřebí nalézt čerpadlo o vhodném výkonu, dále zvolit vhodné kapače či trysky, které budou umožňovat volbu intenzity zavlažování. Dále je žádoucí nalézt vhodný způsob rozvodu vody po skleníku tak, aby nezabíral příliš místa a zároveň měl dostatečnou kapacitu.

Není nutné zavlažovat neustále, proto je zapotřebí tuto mechanickou část doplnit kromě vhodného zdroje pro čerpadlo také o systém, který zaručí spínání zavlažování na vhodnou dobu přesně podle požadavků uživatele.

Voda pro zavlažování bude umístěna v externí nádržce a z té je potřeba ji dostat i do horního patra skleníku a překonat tak výškový rozdíl 110 cm.

#### 2.1.1 Čerpadlo

Na trhu je dostupná celá řada čerpadel pro akvarijní, či terarijní účely. Bohužel velká většina z nich má průtok v řádu desítek litrů za minutu. To pro účely zavlažování není žádoucí. Naopak je zapotřebí průtok relativně malý, aby bylo možno regulovat intenzitu zavlažování pomocí doby, kterou je čerpadlo v provozu. Při velkém průtoku by tato regulace byla velmi nepřesná čidokonce úplně nemožná.

Jako vhodná lze považovat čerpadla na napájecí napětí 12 V, jako například čerpadlo SI56 firmy Malapa. Další čerpadla, která pracují na 12 V se používají v automobilech. Hlavní částí ostřikovačů je malé 12 V čerpadlo doplněné nádobou na kapalinu a vhodnou tryskou.

Například čerpadlo z vozu Škoda Felicia s katalogovým označením 115-930290 má následující parametry:

- Napájecí napětí 12V
- Max. proud 2,5 A při rozběhu čerpadla
- Pracovní proud 1,5 A
- Průtok cca 3 l/min
- Je samonasávací
- Konektory faston vidlice 6,3mm

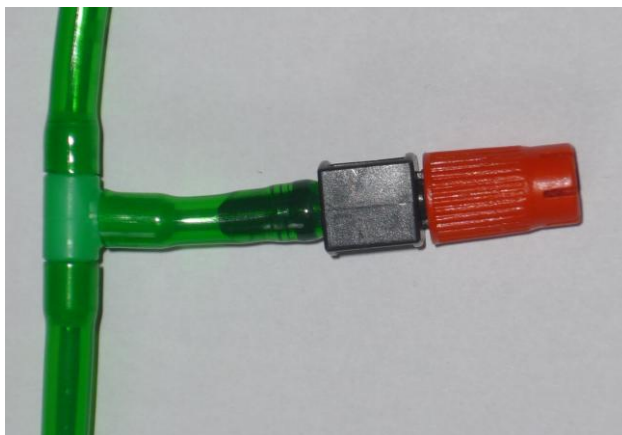
Výhodou tohoto čerpadla je rovněž jeho cena. Nevýhodou je to, že nemůže být trvale sepnuto po dobu větší než jednotky minut – hrozilo by přehřátí. Jednotky minut pro zavlažování stačí, a proto není důvod toto čerpadlo nepoužít. Čerpadlo je znázorněno na obrázku 5 [3].



Obrázek 5 Čerpadlo ostřikovačů z vozidla Škoda Felicia

### 2.1.2 Rozvod vody

Je zapotřebí rozvést vodu z čerpadla k jednotlivým kapačům (tryskám). Jsou zvoleny kapače s regulovatelným průtokem vody od značky Gardena. Tyto kapače se montují do hadice o průměru 13 mm. Zároveň umožňují regulaci v množství vody v rozsahu 0-20 l za hodinu [3]. Kapač je znázorněn na snímku 6.



Obrázek 6 Regulovatelná tryska firmy Gardena zapojená do systému.

Protože je průměr hadice doporučený pro montáž trysek příliš velký (13mm), je potřeba napojení kapačů vyřešit jinak. Hadice o daném průměru je pro dané množství vody a velikost skleníku nevhodná a překážela by. Napojení kapačů kolmo na hadici je tudíž nereálné. Zbývá možnost napojit kapač podélně, jak je to znázorněno na obrázku 6.

Hadička má vnitřní průměr 4mm a tryska vnější průměr větší, což je patrné na snímku 6. Řešením je hadičku nejprve nasunout na půlkulaté kleště a rozevřením čelistí trochu zvětšit její průměr. Následně je zapotřebí kapač rychle nasadit, protože hadička

se brzy vrátí na svůj původní průměr, což v tomto případě znamená větší pevnost napojení.

Podobným způsobem napojíme hadičky na t-kusy. Díky čemuž vznikne rozvod vody pro patro, připojení t-kusu k hadičkám a ke kapači je znázorněno na obrázku 6. Na každé patro případnou tři kapače. Vzdálenosti jsou zvoleny tak, aby rovnoměrně pokryly patro.

Pro připojení čerpadla je zapotřebí použít hadici o větším vnitřním průměru, konkrétně 6 mm. Redukce průměru je tvořena zasunutím tenčí hadičky do tlustší, kterou je nejprve nutno opět rozšířit pomocí kleští. Výsledný spoj je vhodné zpevnit pomocí objímky z drátu, tak jak je znázorněno na obrázku 7. Všechny spoje je v případě potřeby možno zpevnit pomocí lepidla.



Obrázek 7 Zpevnění spoje dvou hadic za pomoci objímky z drátu.

### 2.1.3 Napájení a řízení

Pro napájení čerpadla je zapotřebí 12V napětí a možnost proudového odběru 1,5A. Nicméně při rozběhu čerpadla tento proud může vzrůst až na cca 2,5A proto je zdroj zvolen silnější. Výstupem zdrojové části je napětí o velikosti 25,5 V. Je zapotřebí měnič napětí typu step-down.

Vhodný a velmi dobře dostupný měnič je LM2576HV v provedení s nastavitelným výstupním napětím. Vlastnosti snižujícího měniče jsou [5]:

- Vstupní napětí až 45 V
- Výstupní proud až 3A
- Nastavitelné výstupní napětí v rozsahu 1,23 – 37 V
- Vyžaduje pouze 6 externích součástek
- Interní oscilátor 52 kHz
- Nízká spotřeba v pohotovostním režimu
- Vypnutí při přehřátí a proudová ochrana

V tabulce 1 je popis pinů součástky, Při pohledu zepředu je první pin součástky vlevo.

Tabulka 1. Popis pinů měniče [5]

pin	název	popis
1	Vstup	Kladné napájecí napětí obvodu LM2576. Pro minimalizování napěťových špiček a dodání potřebných proudů je zapotřebí připojit vstupní kondenzátor
2	Výstup	Emitter interního spínače. Saturační napětí tohoto spínače je 1,5V. Oblast DPS připojená k tomuto pinu by měla být co nejmenší, kvůli minimalizaci vazby k citlivým obvodům.
3	Zem	Zemnicí pin. Je vhodné celý obvod zemnit v jednom bodě, nebo použít zemnicí desku.
4	Zpětná vazba	Tento pin je přímý vstup chybového zesilovače, nastavení výstupního napětí je provedeno připojením odporového děliče.
5	On/Off	Pin řídicí vypínání spínaného regulátoru připojením logických úrovní na tento pin. Při vypnutí regulátoru je spotřeba měniče 80 $\mu$ A.

Pro návrh konkrétních parametrů součástek je použito návrhových vztahů a poznámek z datasheetu [5]. Pro zahájení návrhu jsou známy tyto parametry:

- $V_{out} = 12 \text{ V}$
- $V_{in(max)} = 25,5 \text{ V}$
- $I_{out(max)} = 2,5 \text{ A}$

Výpočet výstupního napětí dle vztahu:

$$V_{out} = V_{ref} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right), \quad (1)$$

kde  $V_{ref}$  je dáno 1,23 V a rezistor  $R1$  může být v rozsahu mezi 1 – 5 k $\Omega$ . Kvůli dobré stabilitě je vhodné použít 1% metalizované rezistory. Vztah lze upravit:

$$R2 = R1 \left( \frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right) = 1000 \left( \frac{12}{1,23} - 1 \right) = 8,75 \text{ k}\Omega, \quad (2)$$

Hodnota rezistoru  $R1$  je zvolena 1k $\Omega$ . Pro rezistor  $R2$  použijeme nejbližší nižší rezistor z řady E24 tj. 8,2 k $\Omega$ , v důsledku čehož bude výstupní napětí nižší než 12 V.

Vstupní kondenzátor by měl mít malý ekvivalentní sériový odpor, dále jen ESR. Slouží k zamezení velkých výkyvů napětí a ke stabilizaci činnosti měniče. Je vhodné použít hliníkový či tantalový elektrolytický kondenzátor. Kondenzátor by měl být situován co nejbližše pouzdru měniče. Vhodná kapacita kondenzátoru je 100  $\mu$ F.

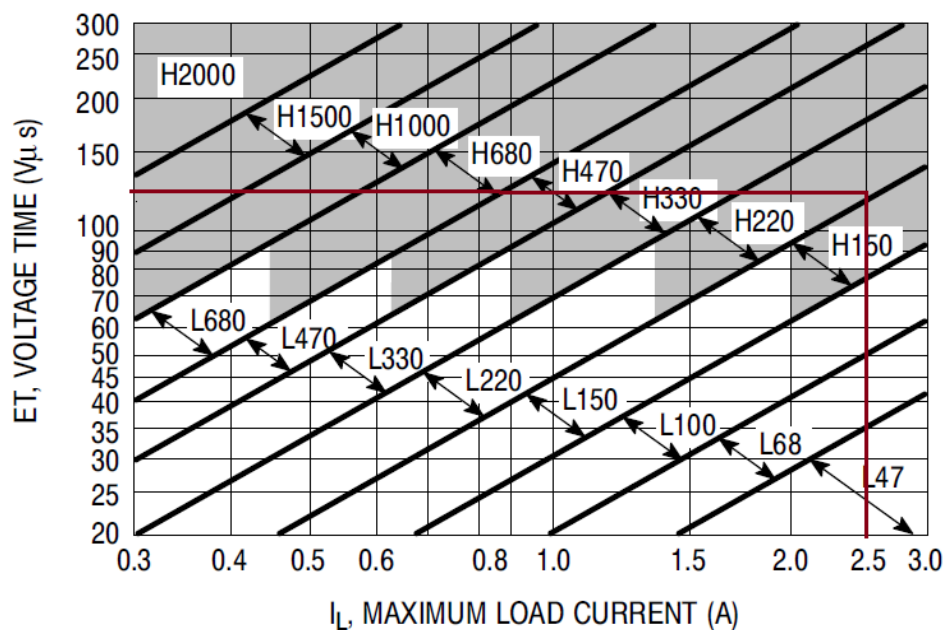
Maximální proud protékající diodou usměrňovače může překročit maximální proud do zátěže. Proto je nutné volit maximální proudovou zatížitelnost diody jako 1,2 násobek maximálního proudu do zátěže. V případě, že maximální proud do zátěže je 2,5 A, musí dioda zvládnout 3 A. Je též vhodné, aby dioda měla maximální proud roven proudovému limitu měniče, aby zvládla výstup nakrátko. Závěrné napětí diody má být minimálně 1,25 krát větší, než maximální vstupní napětí tj. větší 32,5V. Vhodná dioda

je 1N5822, jejíž parametry jsou: maximální tvalá hodnota proudu 3 A, maximální blokující stejnosměrné napětí 40 V.

Pro volbu vhodné cívky je zapotřebí znát konstantu napětí cívky \* mikrosekunda ( $E \cdot T$ ):

$$E \times T = (V_{in} - V_{out}) \frac{V_{out}}{V_{in}} \times \frac{10^6}{F(\text{Hz})} = (25,5 - 12) \frac{12}{25,5} \times \frac{10^6}{52000} = 122V \times \mu s, \quad (3)$$

kde  $F(\text{Hz})$  je spínací frekvence měniče 52 kHz. Za pomoci této konstanty a znalosti maximálního proudu je možno určit kód cívky tak, jak je to naznačeno na obrázku 8.



Obrázek 8 Kódy cívek v závislosti na konstantě  $E \cdot T$  a velikosti proudu. [5]

Na vodorovné ose se nalezne maximální hodnota proudu a na svislé konstanta  $E \cdot T$  průsečík určí kód cívky, která zároveň udává její velikost. V tomto případě kód H220 značí, že cívka má velikost  $220 \mu\text{H}$ . Vybraná cívka musí být vhodná pro pracovní frekvenci 52 kHz. Rovněž musí zvládnout jmenovitý proud o velikosti  $1,15 \cdot$  proud do zátěže, tudíž musí zvládat proud 2,875 A. Je použita cívka DPU220A3, která zvládá proudy do 3A [6].

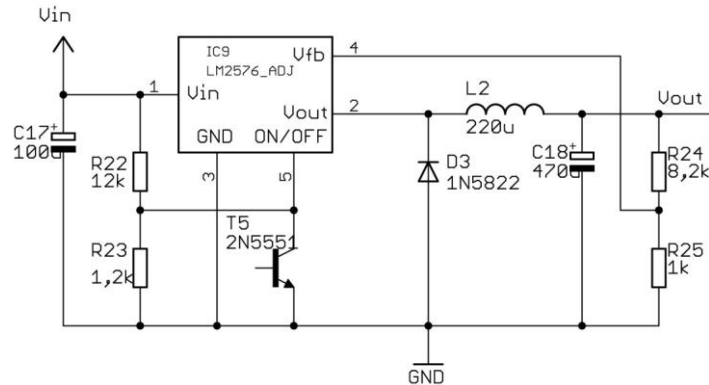
Pro správný chod měniče musí výstupní kondenzátor vyhovovat rovnici:

$$C_{out} \geq 13\,300 \frac{V_{in(max)}}{V_{out} \times L[\mu H]} = 13\,300 \frac{26}{12 \times 220} = 130,9 \mu F \quad (4)$$

Pro dosažení vhodného zvlnění výstupního napětí je vhodné zvolit několikrát větší hodnotu, než je vypočtená. Obecně lze konstatovat, že elektrolytické kondenzátory pro vyšší napětí mají nižší ESR, proto napětí kondenzátoru by mělo být minimálně 1,5 krát

vyšší než výstupní napětí v tomto případě tedy minimálně 18 V. Vhodná velikost výstupního elektrolytického kondenzátoru tedy je 470  $\mu$ F a napětí 35 V.

Nyní jsou známy hodnoty všech komponent pro správnou funkci měniče a zapojení je znázorněno na obrázku 9.



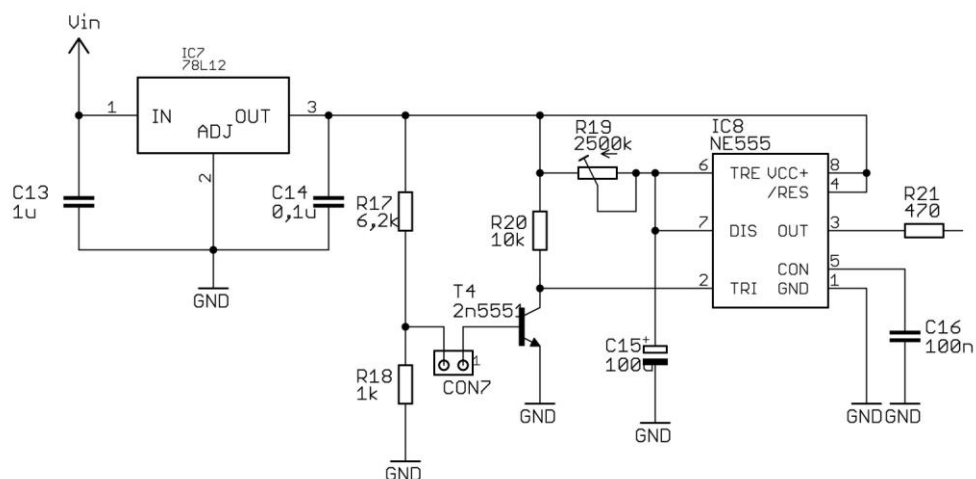
Obrázek 9 Zapojení měniče pro napájení čerpadla.

Vzhledem k tomu, že čerpadlo bude spouštěno na určitý čas je dobré zapojení doplnit o možnost vypnutí měniče. K tomu lze využít pin 5. Pokud je na tento pin přivedeno napětí v rozmezí 1,4 až napájecí napětí je regulátor vypnut. Zapnutí regulátoru lze zajistit přivedením nižšího napětí či uzemněním. Vyšší napětí je přivedeno přes odporový dělič složený z rezistorů R22, R23 a uzemnění je řešeno pomocí tranzistoru T5. Jak je patrné z obrázku 9 řízení je možné změnou napětí na bázi. Napětí na rezistoru R23 je dáno vztahem:

$$U_{R23} = V_{in} \frac{R_{23}}{R_{22} + R_{23}} = 25,5 \frac{1,2}{12 + 1,2} = 2,31 \text{ V}, \quad (5)$$

kde za R je dosazeno v kiloohmech. Jak je zřejmé rovnice splňuje výše popsanou podmínku, aby napětí, které vypíná měnič bylo vyšší než 1,4 V.

Tranzistor T5 je spínán impulzem o uživatelem definované době trvání. K generování spínacího signálu je využito zapojení s časovačem 555. Délka trvání sepnutí lze volit pomocí odporového trimru R20 v rozsahu 0 – 250 s. Výstup, což je R21 je připojen na bázi tranzistoru T5. Zapojení časovače je znázorněno na obrázku 10 [7].



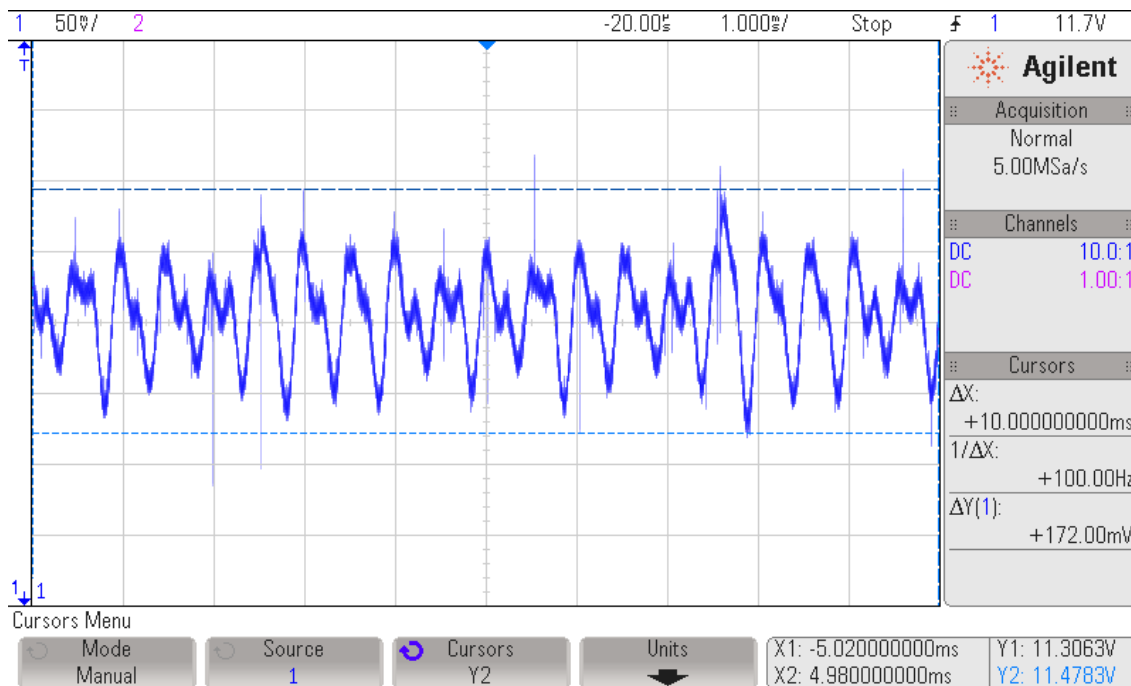
Obrázek 10 Zapojení časovače s 555.

V obrázku číslo 10 je znázorněn lineární regulátor, který napájí obvod NE555. Jedná se o regulátor 78L12 s fixním výstupním napětím 12V, který je doplněn o kondenzátory dle doporučení datasheetu [8].

Z této kapitoly je zřejmé, že zdroj je schopen dodat 2,5A, což stačí pro většinu čerpadel pracujících s napětím 12V. Je tedy možno čerpadla jednoduše vyměnit, za předpokladu, že se vhodně upraví napojení rozvodu vody na čerpadlo a rovněž bude upravena doba zavlažování v závislosti na průtoku.

#### 2.1.4 Naměřené výsledky zdroje pro čerpadlo

Na obrázku 11 je znázorněn průběh výstupního napětí zdroje pro čerpadlo. Je patrné, že výstupní zvlnění je 172mV. Napětí kolísá v rozsahu 11,3-11,47V, což je méně než požadovaných 12 V. Vzhledem k tomu, že čerpadlo je stejnosměrným motorem, dojde pouze k malému poklesu otáček čerpadla, což v této aplikaci nevádí.



Obrázek 11 Zvlnění výstupního napětí zdroje pro čerpadlo.

## 2.2 Zvyšování vzdušné vlhkosti

Pro zvýšení vlhkosti ve skleníku je nutné rozprášit malé kapičky vody do prostoru. K tomuto účelu se prodávají terarijní mlhovače. Protože je vnitřek skleníku členitý, bude mlhovač doplněn o malý stejnosměrný ventilátor, aby se mlha dostala do všech částí skleníku.

### 2.2.1 Mlžič

Vhodným mlhovačem je výrobek firmy Exo Terra. Tento mlhovač se umísťuje do dolní části skleníku do nádržky s vodou. Důležité je, aby mlhovač byl celý ponořen. Nejlépe funguje při ponoření 5 – 30 mm pod vodní hladinu. Mlhovač se uvede do provozu zapojením do elektrické sítě. Základní vlastnosti mlhovače Exo Terra jsou [5]:

- Napájecí napětí 24 V
- Potřebný proud cca 1,2 A
- Rozšíří do vzduchu přibližně 200 ml vody za hodinu
- Indikátor on/off
- Automatické vypínání v případě poklesu vody pod minimální úroveň

Mlhovač je vybaven keramickou membránou, která má omezenou životnost. Nutnost výměny membrány poznáme podle toho, že svítí indikátor on/off, ale přístroj negeneruje mlhu – keramická membrána je spotřební součástí, která lze samostatně zakoupit[5].



Obrázek 12 Mlžič Exo Terra [5].

K tomu, aby mlha byla vhodně rozprostřena po skleníku je zapotřebí doplnit mlhovač o malý ventilátor, který mlhu rozptýlí. K tomuto účelu postačí malý stejnosměrný ventilátor.

### 2.2.2 Ventilátor

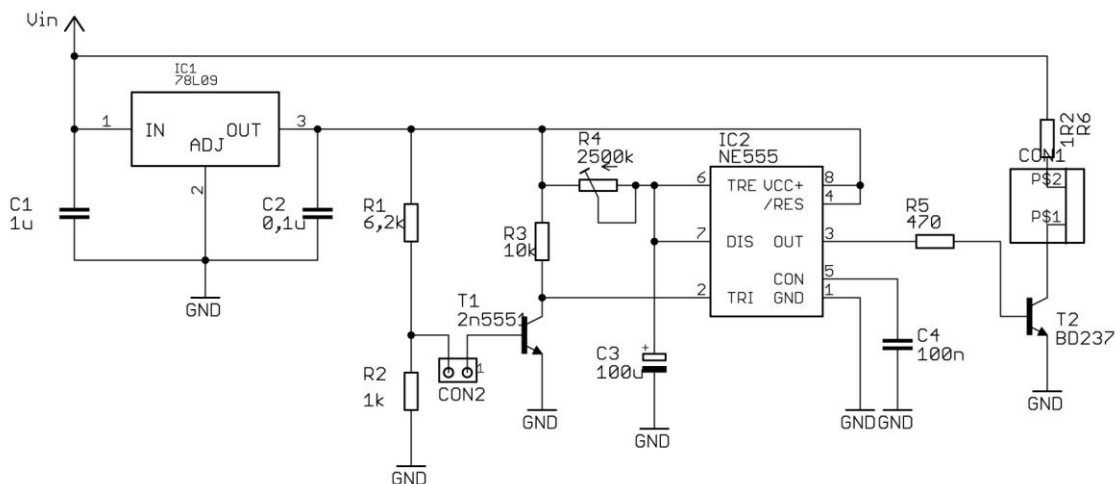
Jako vhodný ventilátor se jeví ventilátor Sunon MC30060V2-A99 [10]. Tento ventilátor má následující parametry:

- Rozměry 30\*30 mm
- Napájecí napětí 5 V DC
- Příkon 0,36 W
- Otáčky 7500 RPM
- Průtok vzduchu 6,29 m<sup>3</sup>/h
- Hlučnost 24 dBA
- Hmotnost 6g

Otáčky ventilátoru je možné řídit změnou napájecího napětí.

### 2.2.3 Napájení a časování mlžiče

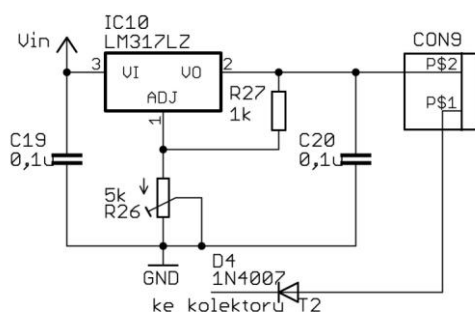
K spínání mlžiče využijeme opět zapojení s časovačem 555, známé z kapitoly 2.1.3. Výstupem zapojení bude ovládný tranzistor T2, který spíná zem zátěže. Rezistor R6 je drátový s výkonem 5W a má za cíl snížit napájecí napětí na hodnotu vhodnou pro mlžič. Úbytek napětí na rezistoru by měl být cca 1,5V, což při proudu obvodem 1,2A znamená, že rezistor má mít velikost 1,25  $\Omega$ . Je použit rezistor z řady E12 o velikosti 1,2  $\Omega$ . Celkové zapojení je na obrázku 13.



Obrázek 13 Zapojení spínání mlžiče.

Protože časovač 555 potřebuje pro svou činnost napětí podstatně nižší než  $V_{cc}$ , které činí 25,5V, je potřeba použít třísvorkový stabilizátor. Stačí typ s pevným výstupním napětím, zde typ 78L09 s výstupním napětím 9 V. Stabilizátor je doplněn o vstupní a výstupní kondenzátor.

Napájení ventilátoru je řešeno velmi podobně, pouze s tím rozdílem, že ventilátor vyžaduje napájecí napětí 5V. Možnost regulovat změnu otáček souvisí s možností měnit napětí na ventilátoru, proto je použit třísvorkový stabilizátor s nastavitelným výstupním napětím, kde napětí lze měnit pomocí trimru R26. Napětí pro ventilátor lze měnit v rozsahu 1-7V. Uzemnění se spíná přes tranzistor T2, stejně jako zem mlžiče. Protože mlžič má napětí 24 V a ventilátor jen 5 V, je nutné umístit diodu D4, aby nedošlo ke zničení ventilátoru přivedením opačně polarizovaného vysokého napětí, než pro jaké je ventilátor určen. Umístění diody je znázorněno na obrázku 14 s tím, že její katoda je připojena ke kolektoru tranzistoru T2.



Obrázek 14 Zapojení zdroje a nastavení otáček pro ventilátor.

## 2.3 Osvětlení

Osvětlení má za úkol dodat dostatek světla. Kromě tohoto požadavku je dobré, aby bylo osvětlení dobře regulovatelné, kompaktních rozměrů a vhodné mechanické konstrukce.

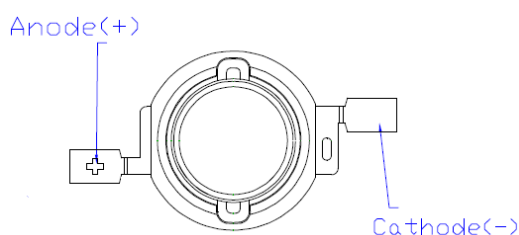
V akvaristice se hojně využívá osvětlení pomocí zářivkových trubíc. Pro regulaci těchto trubíc je nutné užívat regulovatelný elektronický předřadník. Jeho cena není příznivá,

což v kombinaci s požadavky na velmi dobré uchycení patic a stejnou délku přívodů k paticím (u regulovatelných zářivek může i toto zapříčinit rozdílné chování jednotlivých trubice) předurčuje, že tato práce se nadále žářivkovým trubicím věnovat nebude [11].

Vhodnějším prvkem pro osvětlení se jeví výkonové diody. Ty lze regulovat a jsou podstatně menší než žářivková trubice. Pro osvětlení jednoho patra skleníku se ukázalo, že postačuje použití deseti jednowattových diod.

### 2.3.1 Diody

Použity jsou 1W xenonové diody výrobce OptoSupply s obchodním označením OSM5XZE1E1E. Vyznačují se vysokým světelným tokem, vysokou energetickou účinností a dlouhou životností.



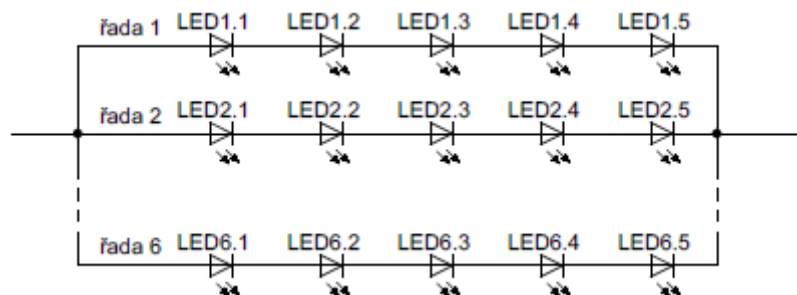
Obrázek 15 Vývody diody [12].

Parametry diody jsou [12]:

- $I = 400 \text{ mA}$
- $U = 3 - 3,5 \text{ V}$  typ  $3,3 \text{ V}$
- Svítivost  $90 \text{ lm}$
- Vyzařovací úhel  $140^\circ$
- Závěrné napětí  $5 \text{ V}$

Požadavkem je 10 diod na patro a patra jsou celkem 3. Z toho vyplývá, že je zapotřebí zapojit celkem 30 diod, a to tak, abychom splnili jejich napěťové i proudové požadavky. Je zřejmé, že bude nutno zvolit vhodnou sério - paralelní kombinaci tak, aby nehrozilo překročení maximálního proudu, a zároveň aby nebylo vyžadováno příliš vysoké napětí.

Bylo navrženo zapojení dle obrázku 16, kde je znázorněno, že bude zapojeno 5 diod do série v 6 paralelních větvích. To znamená, že zdroj bude dodávat  $6 \cdot 400 \text{ mA}$  tj.  $2,4 \text{ A}$ . Napětí, které bude zdroj dodávat se může pohybovat v rozsahu  $15 - 17,5 \text{ V}$ .



Obrázek 16 Zapojení diod.

### 2.3.2 Konstrukce diodových řad

Diody je nutno umístit na pevnou podložku, která bude mít potřebné vlastnosti tak, aby zároveň byla nosným prvkem. Podložka by zároveň neměla stínit ve skleníku, proto je vhodný průhledný materiál. Díky své snadné opracovatelnosti je vhodný polymethylakrylát, běžně známý pod označením plexisklo.

K plexisklu lze diody připevnit za pomoci lepidla, nejlépe takzvaně vteřinového. Vzhledem k tomu, že je plexisklo plast a vysoké teploty nemusí snášet dobře, je vhodné provést zátěžový test. Plexisklo dobře snáší teploty do 80°C při vyšších teplotách začíná měknout a při teplotě okolo 150 °C se již dá jednoduše tvarovat, čehož se využívá v průmyslu[13].

Již zhotovená diodová řada byla testována hodinu při plném výkonu a nebylo pozorováno měknutí plexiskla, či jiný problém, který by byl překážkou pro užití plexiskla.

Na jednu řadu připadá 5 diod a délka této řady je ve skleníku 65 cm. Diody jsou rozloženy rovnoměrně, proto vzdálenost mezi diodami 10,8 cm. Tato vzdálenost bude i mezi krajními diodami a stěnou skleníku. Jednotlivé diody jsou spojeny vodičem užívaným v cívkách to znamená izolovaným lakováním. Vždy v místě napájení diody na vodič je potřeba tuto izolaci odstranit zničením. Po napojení je potřeba spoj znovu zaizolovat. K tomu lze využít tekutou izolační pásku firmy Star brite [14]. Tato páska se nanáší štětcem a úplně zaschne po 24h. Přívody jsou provlečeny na začátku plexiskla vždy nahoru a zpět dolů. Toto provlečení má za úkol zamezit vytržení, či jinému poškození podobného charakteru při manipulaci s výrobkem. U poslední diody je vodič provlečen na druhou stranu desky a po této se vrací zpět. Vzhledem k tomu, že je tato vzdálenost velká, je potřeba zamezit vodiči v pohybu. Toho se docílí fixováním vodiče k plexisklu pomocí lepidla. Aby nijak neutrpěla estetická stránka věci je toto vhodné provádět v místech, kde je na protější straně dioda. Diodová řada je patrná na snímku 17.

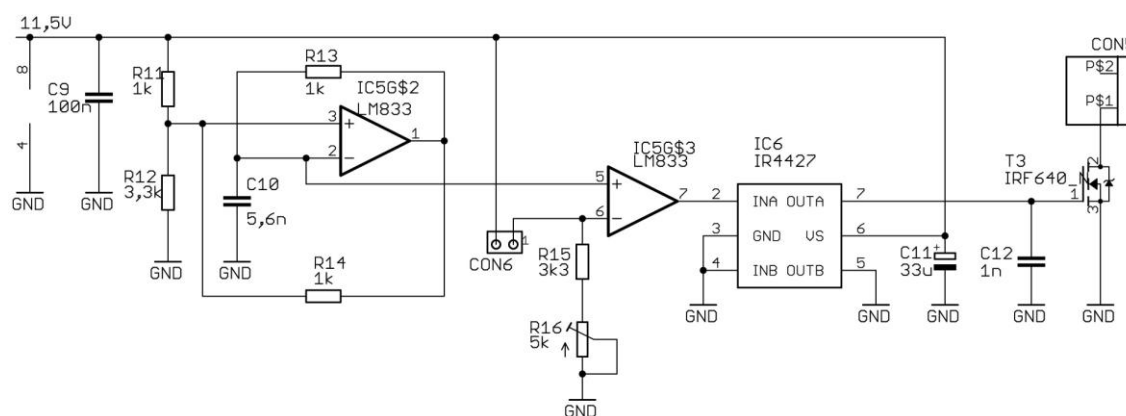


Obrázek 17 Zapojení diodové řady.

### 2.3.3 Řízení intenzity osvětlení

Intenzita osvětlení musí být říditelná v rozsahu 0 – 100 %. Rovněž je požadováno, aby systém byl autonomní, což znamená, že intenzitu bude řídit snímač osvětlení. Pro analogové řízení tomuto nejvíce vyhoví fotorezistor.

Světla jsou řízena za pomoci pulzně šířkové modulace. Principiálně je toho dosaženo tak, že je generován trojúhelníkový signál, který porovnáváme na komparátoru s úrovní signálu z fotorezistoru. Výstupem komparátoru je pulzně šířková modulace, kterou bude řízen unipolární tranzistor. K tomu je nejprve potřeba upravit náběžné a sestupné hrany pomocí tzv. gate driveru. Schéma tohoto zapojení je na obrázku 18. Protože operační zesilovač ani obvod IR4427 nemohou pracovat s napájecím napětím, bude jim napětí upraveno pomocí třisvorkového stabilizátoru, který bude mít výstupní napětí 11,5 V. K nezapojenému pinu konektoru 5 bude přivedeno výstupní napětí měniče pro světla.



Obrázek 18 Řízení intenzity osvětlení.

Generátor trojúhelníkového signálu vychází z relaxačního oscilátoru, ale vzhledem k tomu, že je použito nesymetrické napájení, je zapotřebí použít na kladném vstupu operačního zesilovače odporový dělič tvořený rezistory R11 a R12. Význam rezistoru R14 spočívá v tom, že jeho použitím dojde ke snížení frekvence oscilátoru a zvýšení špičkového napětí, což je dáno tím, že do obvodu zavádí hysterezi.

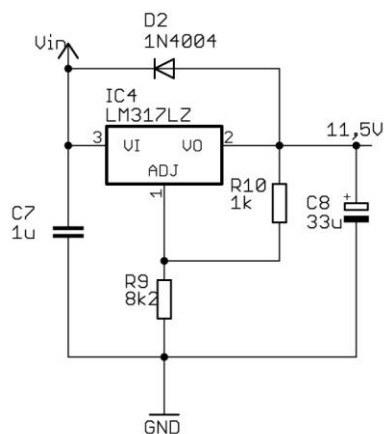
Ke konektoru 6 je připojen dvoužilový vodič na jehož konci je sonda tvořená fotorezistorem VT93N2 [15] Sonda je umístěna na vhodném místě ve skleníku, tak aby byla co nejméně ovlivněna svitem diod. Fotorezistor má za tmy odpor 500 k $\Omega$ , při osvětlení 10 lux má typický odpor 48 k $\Omega$ , ale mezní hodnoty mohou být o polovinu nižší či vyšší. Z tohoto důvodu jsou velikosti rezistorů R15 a R16 zvoleny na základě experimentu a nikoli výpočtu. Trimrem R16 lze nastavovat světelnou úroveň při které začnou diody svítit.

Výstupem komparátoru je signál, který má dlouhé náběžné i sestupné hrany. Pro spínání unipolárního tranzistoru je vhodné strmost hran zvýšit. K tomu je využit obvod IR4427 [16]. Jedná se o vysokorychlostní driver výkonových mosfetů, kde výstupy jsou ve fázi se vstupy. Napájecí napětí pro obvod je v rozsahu -0,3 až 25V, výstupní napětí v rozsahu -0,3 až napájecí napětí + 0,3V, vstupní taktéž. Protože obsahuje dva kanály a využíván bude pouze jeden, je potřeba nepoužitý vstup a výstup uzemnit.

Rozhodovací úrovně jsou:

- Nízké vstupní napětí do 0,8 V
- Vysoké vstupní napětí větší než 2,7 V

Jak bylo popsáno výše, napětí pro operační zesilovač musí být upraveno. K tomu se využije obvod s LM317LZ v zapojení dle obrázku 19.



Obrázek 19 Zapojení stabilizátoru napětí pro napájení operačního zesilovače

Výstupní napětí obvodu LM317 je dáno [17]:

$$V_o = 1,25 \left( 1 + \frac{R_9}{R_{10}} \right) + I_{adj} \times R_2, \quad (6)$$

kde  $V_o$  je výstupní napětí.  $I_{adj}$  má hodnotu menší než  $100\mu\text{A}$ , proto jej je možno zanedbat a psát:

$$V_o = 1,25 \left( 1 + \frac{R_9}{R_{10}} \right) = 1,25 \left( 1 + \frac{8,2k}{1k} \right) = 11,5V \quad (7)$$

Dioda D2 zabránuje vybití kondenzátoru C8 přes integrovaný obvod, v případě, kdy je na vstupu zkrat.

### 2.3.4 Napájení

Z kapitoly věnující se diodám 2.3.1 je již známo, že pro diodové řady je potřeba napájení 15- 17,5 V a proud 2,4A. Otestováním jedné diodové řady bylo zjištěno, že vhodné napájecí napětí je 16V. Pro tyto velikosti napětí a proudu je možno opět použít měnič LM 2576 s nastavitelným výstupem.

Návrhové vztahy jsou známy z kapitoly 2.1.3. Pro zahájení návrhu jsou potřeba následující parametry:

- $V_{out} = 16 \text{ V}$
- $V_{in(max)} = 25,5 \text{ V}$

- $I_{out(max)} = 2,4 \text{ A}$

Pro výpočet odporového děliče určujícího výstupní napětí je užito vztahu (2), kam jsou dosazeny výše uvedené parametry:

$$R7 = R8 \left( \frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right) = 1000 \left( \frac{16}{1,23} - 1 \right) = 12k\Omega, \quad (8)$$

přičemž pro  $R8$  je zvolena velikost  $1 \text{ k}\Omega$ . Hodnota  $12 \text{ k}\Omega$  je přímo z řady E24, a proto ji je možno použít.

Vstupní kondenzátor bude elektrolytický s nízkým ESR o velikosti  $100 \mu\text{F}$ . Maximální proudová zatížitelnost diody je 1,2 násobek maximálního proudu do zátěže. V tomto případě tedy musí dioda při proudu do zátěže  $2,4\text{A}$  zvládat  $2,88 \text{ A}$ . Závěrné napětí diody má být minimálně 1,25 krát větší, než maximální vstupní napětí tj. větší  $32\text{V}$ . Vhodná dioda je 1N5822, jejíž parametry jsou: maximální tvalá hodnota proudu  $3 \text{ A}$ , maximální blokující stejnosměrné napětí  $40 \text{ V}$ . Dále je potřeba spočítat konstantu napětí cívky \* mikrosekunda ( $E \cdot T$ )

$$E \times T = (V_{in} - V_{out}) \frac{V_{out}}{V_{in}} \times \frac{10^6}{F(\text{Hz})} = (25,5 - 16) \frac{16}{25,5} \times \frac{10^6}{52000} = 115 \text{ V} \times \mu\text{s} \quad (9)$$

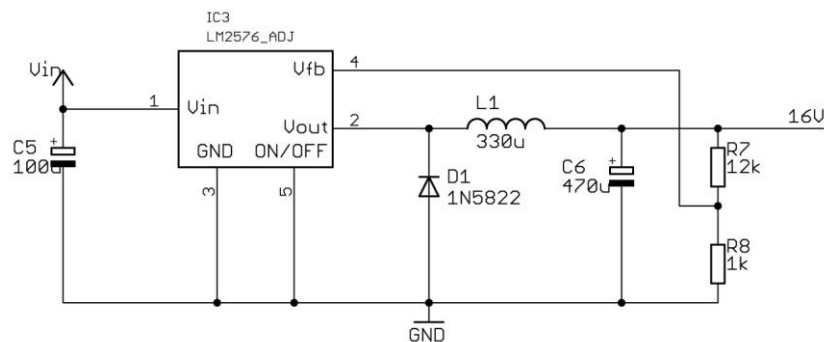
Stejným způsobem jako pro čerpadlo odečteme z obrázku 8 kód pro cívku. Kód H330 značí, že cívka má velikost  $330\mu\text{H}$ . Vybraná cívka musí být vhodná pro pracovní frekvenci  $52 \text{ kHz}$ . Rovněž musí zvládnout jmenovitý proud o velikosti  $1,15 \cdot$  proud do zátěže, tudíž musí zvládat proud  $2,76 \text{ A}$ . Jako vhodná se jeví cívka DPT330A3, která je konstruovaná pro maximální proud  $3\text{A}$  [18].

Pro správný chod měniče musí výstupní kondenzátor vyhovovat rovnici:

$$C_{out} \geq 13\,300 \frac{V_{in(max)}}{V_{out} \times L[\mu\text{H}]} = 13\,300 \frac{25,5}{16 \times 220} = 96,3 \mu\text{F} \quad (10)$$

Pro dosažení vhodného zvlnění výstupního napětí je vhodné zvolit několikrát větší hodnotu než je vypočtená. Napětí kondenzátoru by mělo být minimálně 1,5 krát vyšší než výstupní napětí v tomto případě, tedy minimálně  $27 \text{ V}$ . Vhodná velikost výstupního elektrolytického kondenzátoru tedy je  $470 \mu\text{F}$  a napětí  $35 \text{ V}$ .

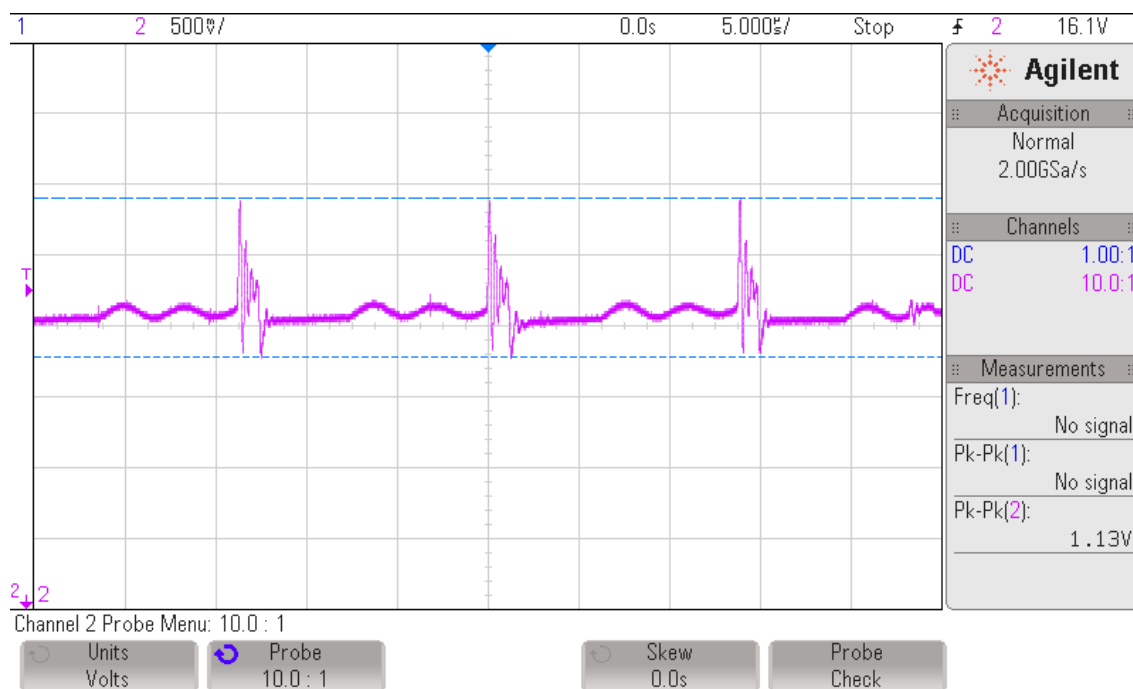
Nyní jsou známy hodnoty všech komponent pro správnou funkci měniče a zapojení je znázorněno na obrázku 20.



Obrázek 20 Zapojení měniče pro napájení diodových řad.

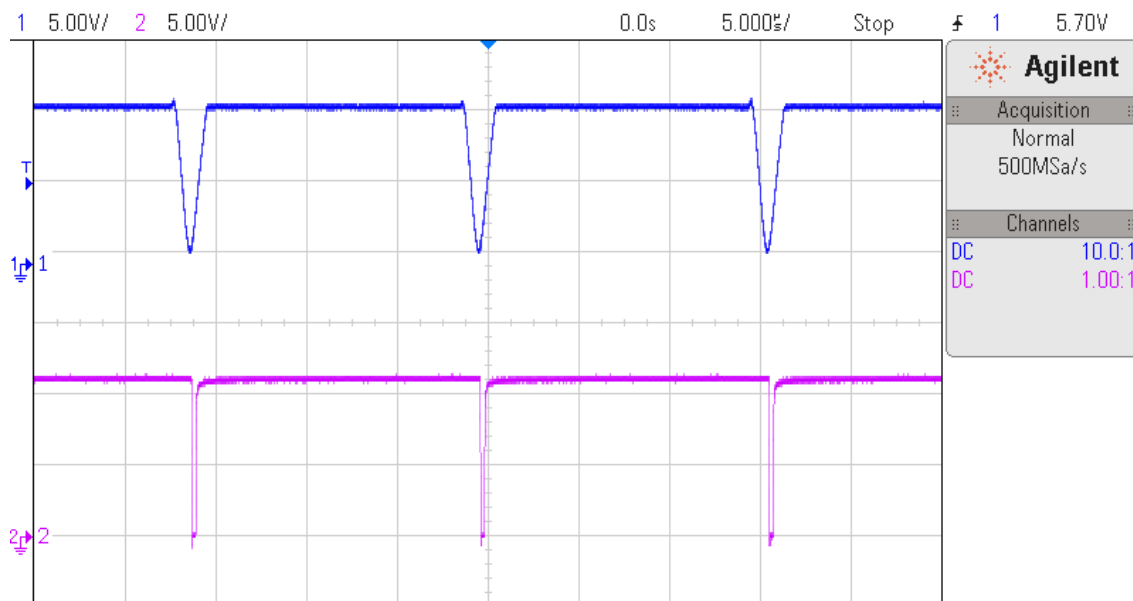
### 2.3.5 Výsledky měření obvodů pro osvětlení

Na snímku 21 je znázorněno zvlnění výstupního napětí, které činí 1,13V. Výstupní napětí je 16,2V. Frekvence spínání naměřená osciloskopem je 77 kHz, což přesahuje výrobcem udávaných fixních 52 kHz o polovinu.



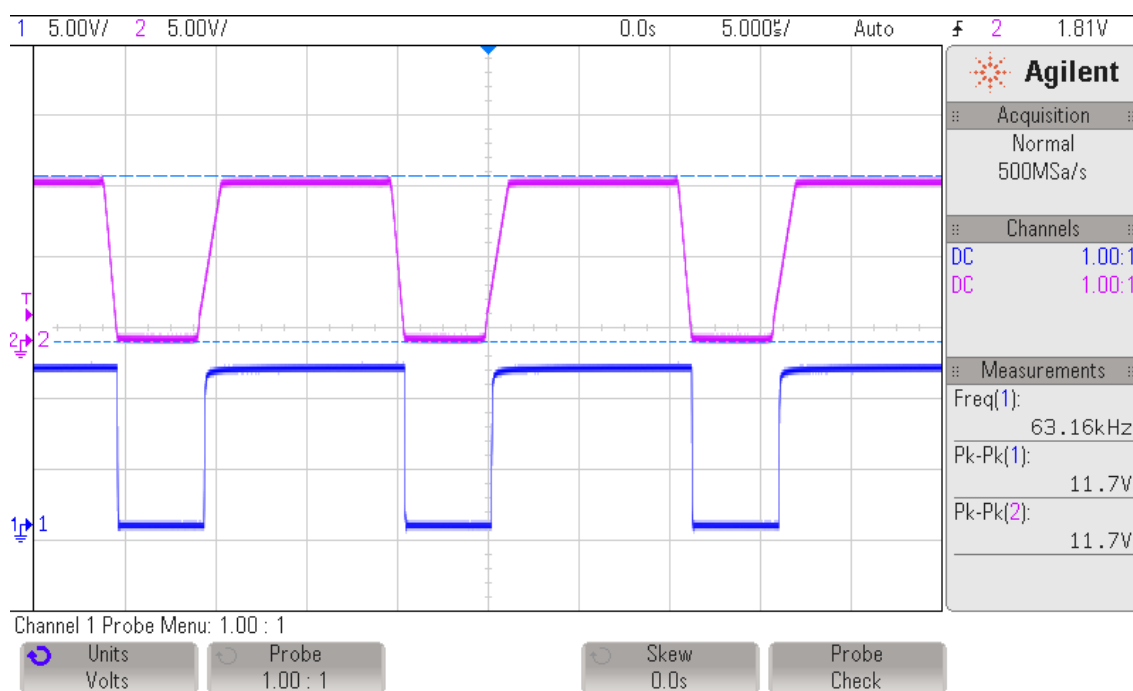
Obrázek 21 Zvlnění výstupního napětí zdroje pro led diody.

Účinky obvodu IR4427, který má zlepšit strmost hran signálu spínacího výstupní tranzistor T3 jsou patrné z obrázků 22-24. Výrazné zlepšení spínání je patrné na snímku 24.

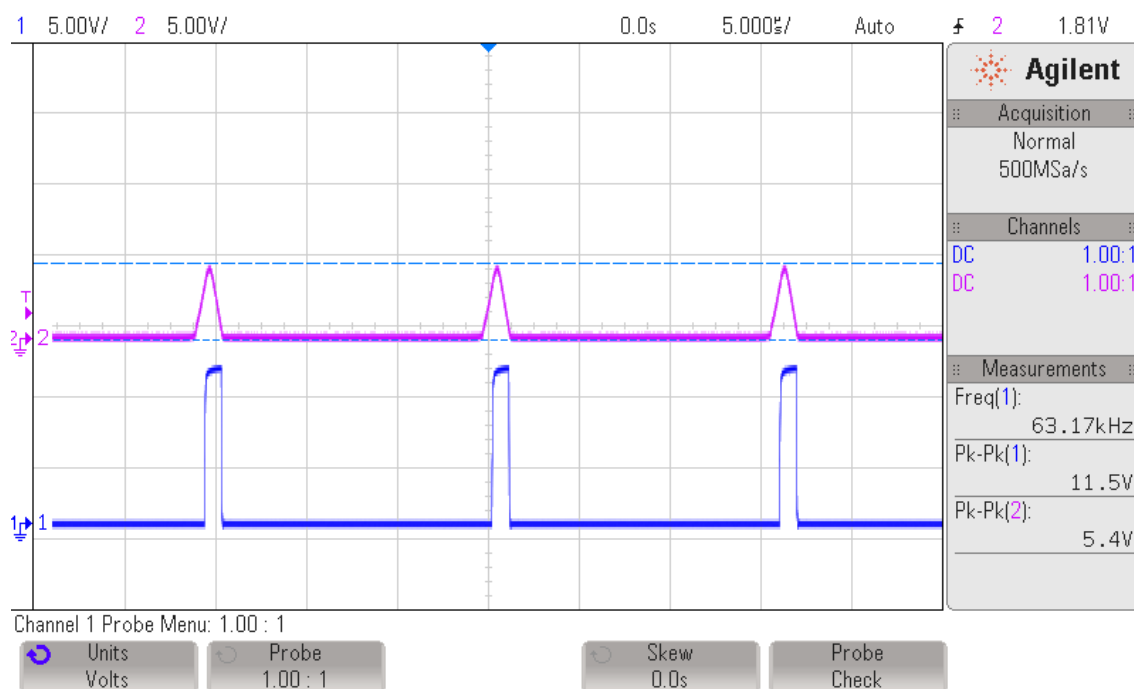


Obrázek 22 Vliv obvodu IR4427 při vysoké hodnotě střidy.

Na obrázku 22 je doba trvání náběžné hrany před úpravou  $1,06 \mu\text{s}$  a doba trvání sestupné hrany  $620 \text{ ns}$ . Po úpravě je doba trvání náběžné hrany  $44 \text{ ns}$  a doba trvání sestupné hrany  $24 \text{ ns}$ .



Obrázek 23 Úprava náběžných a sestupných hran pomocí obvodu IR4427.



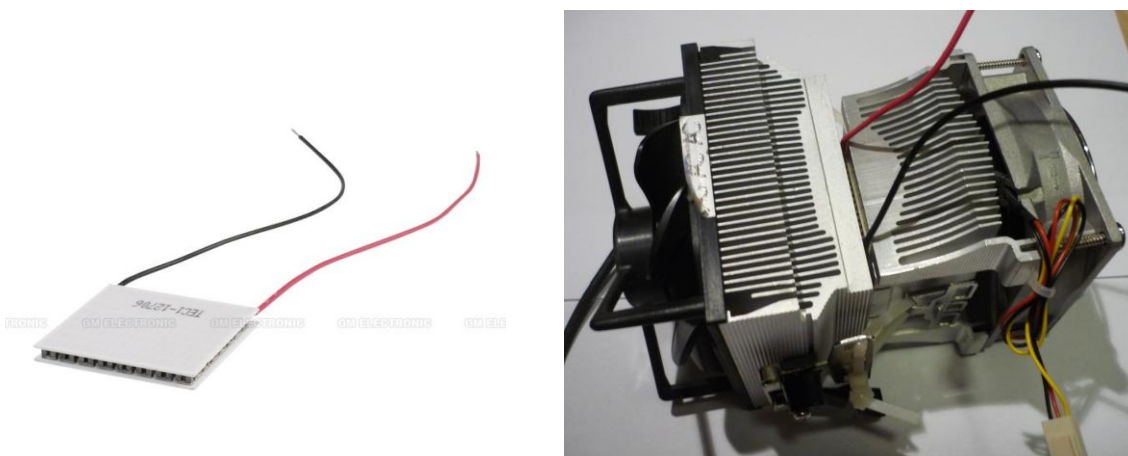
Obrázek 24 Vliv obvodu IR4427 při velmi nízké hodnotě střidy.

## 2.4 Vytápění

K udržování dostatečně vysoké teploty, zejména na jaře a na podzim, je zapotřebí zdroj tepla. Během léta je zase vhodné teplotu snížit. Vhodným prvkem, který kombinuje ohřev i chlazení je peltierův článek. Je použit článek TEC1-12706 o výkonu 63W. Pro rozvod tepla po skleníku je použit chladič s ventilátorem, který pochází z počítače, který je připojen na jednu stranu článku. Rovněž pro odvod chladu z druhé strany článku je použit podobný chladič.

### 2.4.1 Peltierův článek

Je použit článek TEC1 - 12706, který lze běžně zakoupit v obchodech s elektronickými součástkami.



Obrázek 25 Peltierův článek TEC1 – 12706 [19]

Tento článek má následující vlastnosti [19]:

- Rozměry 40\*40\*3,8 mm
- $I_{\max} = 6,4$  A
- $U_{\max} = 15,4$  V
- Maximální výkon 63 W

Tento článek bude z obou stran chlazen/zahříván chladiči z počítače. Součástí těchto chladičů jsou i ventilátory, takže jsou schopné velmi dobře odvádět teplo.

## 2.4.2 Regulace topení

Topení na rozdíl od čerpadla nelze spínat na určitý čas. Pakliže by tento typ spouštění byl použit, hrozilo by přetápění, případně přechlazení, nebo na druhé straně nevytopení či nechlazení prostoru. Vytápění je tedy zapotřebí řešit pomocí součástky reagující na teplotu. Vhodnou součástkou je termistor. V tomto případě od firmy Vishay, který má při 25 °C odpor 15 kΩ. [20]. Závislost odporu tohoto termistoru na teplotě se neudává graficky nýbrž tabulkou hodnot 2, případně výpočtovými vztahy.

Tabulka 2. Hodnoty termistoru v rozmezí teplot užitých v této práci [20].

T (°C)	R (kΩ)
15	22,87
20	18,47
25	15
30	12,25
35	10,07

Pro určení velikosti odporu při libovolné teplotě lze užít následujícího interpolačního předpisu:

$$R_{(T)} = R_{ref} \times e^{\left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}\right)}, \quad (11)$$

kde  $A, B, C$  a  $D$  jsou konstanty závislé na použitém materiálu. Pro tento konkrétní termistor jsou hodnoty v tabulce 3.  $R_{ref}$  je hodnota odporu při 25 °C, zde 15 kΩ.  $T$  je teplota v Kelvinech.

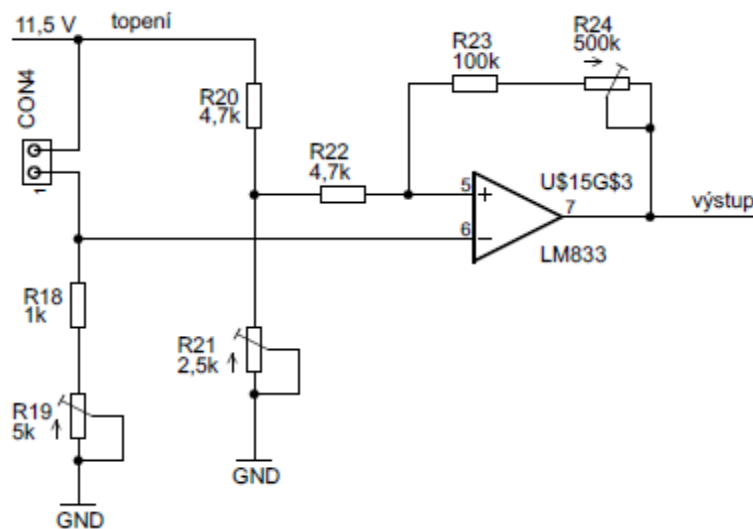
Tabulka 3. Hodnoty konstant [20].

A	-13,8973
B (K)	4557,725
C (K <sup>2</sup> )	-98275
D (K <sup>3</sup> )	-7,522357E+06

Jako vhodný způsob, podle čehož při použití termistoru rozhodovat o spínání, se jeví použití komparátoru s operačním zesilovačem. Aby bylo získáno napětí pro porovnávání, je nutné použít dva odporové děliče. První se skládá z termistoru a rezistoru, a je nastaven tak, aby rozdíl napětí na tomto děliči při vhodném rozdílu teplot byl několik desetin voltu. Druhý dělič určuje porovnávací úroveň. Popsané zapojení je velmi jednoduché a funkční. V případě, že u vyhřívání (invertující zapojení komparátoru) klesne teplota pod rozhodující úroveň, na výstupu komparátoru se objeví napájecí napětí a přes níže popsané obvody dojde k sepnutí H – mostu tak, aby peltierův článek topil.

Výše popsaný princip má velkou nevýhodu a tou je vysoká rychlost, kterou termistor reaguje na změnu teploty. V praxi by zapojení fungovalo tak, že by peltierův článek začal topit, teplota na termistoru se rychle zvedla, článek by přestal topit, teplota klesla, čímž by opět došlo k tomu, že by termistor dal pokyn k topení.

Je zcela evidentní, že zapojení vyžaduje úpravu tak aby výše popsaný jev nenastával. Je tudíž nutno zavést hysterezi. Článek začne topit, když teplota klesne pod požadovanou úroveň a bude topit tak dlouho dokud nedosáhne teploty o několik stupňů vyšší než spínací. Zapojení, tohoto komparátoru s hysterezí je na obrázku 26.



Obrázek 26 Zapojení komparátoru pro topení.

Pro invertující zapojení z Obr 26 lze vypočíst hodnoty horního překlápěcího napětí do +11,5 V a dolního překlápěcího napětí do záporného napájecího napětí v tomto případě se jedná o zem, dle vztahů [21] :

$$U_{p+} = U_r \frac{R_{23}}{R_{22} + R_{23}} + U_s \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{23}} \quad (12)$$

$$U_{p-} = U_r \frac{R_{23}}{R_{22} + R_{23}} - U_s \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{23}} \quad (13)$$

Rozdíl mezi  $U_{p+}$  a  $U_{p-}$  udává hysterezi, lze tedy psát:

$$H = 2 \times U_s \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{23}}, \quad (14)$$

kde  $U_s$  značí napájecí napětí, v tomto případě 11,5V.

Hodnoty  $U_{p+}$  a  $U_{p-}$  jsou dány napětím na odporovém děliči s termistorem (termistor je připojen k CON4). Topení má sepnout při 15 °C a vypnout při 20 °C. Z tabulky 2, která udává závislost odporu termistoru na teplotě se zjistí  $R_{15^\circ\text{C}} = 22,87 \text{ k}\Omega$  a  $R_{20^\circ\text{C}} = 18,47 \text{ k}\Omega$ . Zvolí se velikost rezistoru R18 tak, aby napětí na rezistoru R18 bylo kolem 3V.

$$U_{p+} = U_{R18} = U_s \frac{R_{18}}{R_{18} + R_{20^\circ\text{C}}}, \quad (15)$$

v rovnici 15 je známo napětí  $U_{R18} = U_{p+} = 3\text{V}$ ,  $U_s$  je napájecí napětí v tomto případě 11,5V. Je upraveno a dosazeno:

$$R_{18} = \frac{U_{R18}}{U_s - U_{R18}} R_{20^\circ\text{C}} = \frac{3}{11,5 - 3} 18,47\text{k} = 6,51\text{k}\Omega \quad (16)$$

Kvůli větší možnosti změn uživatelem se užije 2,7 k $\Omega$  v kombinaci s trimrem  $R_{19}$  o velikosti 5 k $\Omega$ . Nyní jsou známy velikosti rezistorů a je nutné dopočítat velikost napětí  $U_{p-}$ . Analogie dosazení známých veličin do vzorce je stejná jako výše, proto:

$$U_{p-} = U_{R18} = U_s \frac{R_{18}}{R_{18} + R_{15^\circ\text{C}}} = 11,5 \frac{6,51\text{k}}{6,51\text{k} + 22,87\text{k}} = 2,54 \text{ V} \quad (17)$$

Hystereze vzniklá změnou na termistoru je tedy 0,46V a komparátor musí být nastaven na takovou či menší hodnotu hystereze, aby byla zajištěna jeho funkčnost.

Vyjde se z rovnic (12) a (13), v kterých nejsou známy velikosti rezistorů  $R_{22}$  a  $R_{23}$ . Je zvolena velikost rezistoru  $R_{22} = 4,7 \text{ k}\Omega$  a velikost  $U_r = 2,9\text{V}$ . A dopočítáno:

$$R_{23} = \frac{U_s R_{22} - U_{p+} R_{22}}{U_{p+} - U_r} = \frac{11,5 * 4,7\text{k} - 3 * 4,7\text{k}}{3 - 2,9} = 399 \text{ k}\Omega \quad (18)$$

Kvůli možnosti uživatelského nastavení se použije rezistor  $R_{23} = 100 \text{ k}\Omega$ , který se doplní trimrem  $R_{16}$  o velikosti 500 k $\Omega$ . Následně se dopočítá  $U_{p-}$ :

$$U_{p-} = U_r \frac{R_{23}}{R_{22} + R_{23}} - U_s \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{23}} = 2,9 \frac{399\text{k}}{4,7\text{k} + 399\text{k}} - 11,5 \frac{4,7\text{k}}{4,7\text{k} + 399\text{k}} = 2,73 \text{ V} \quad (19)$$

Z uvedeného je zřejmé, že obvod má nastaveno  $U_{p+} = 3\text{V}$  a  $U_{p-}$  je 2,73V, je tedy zjevné, že byla splněna podmínka daná rozhodovacími úrovněmi, které

nastavuje termistor.

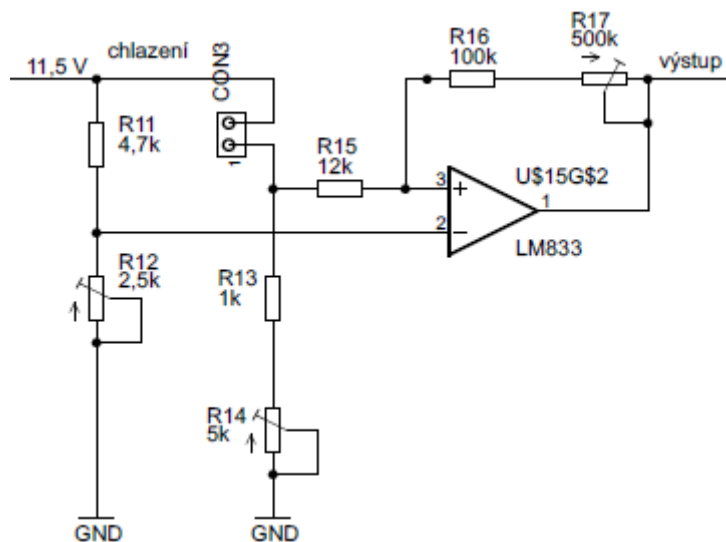
Nyní jsou známy hodnoty všech součástek v obvodu. Odporové trimry umožňují doladit hysterezi a úroveň napětí v obvodu, což bude potřeba vzhledem k toleranci u termistoru (5%) a kvůli možnosti úprav spínacích teplot. Trimrem  $R_{16}$  lze nastavovat velikost hystereze. Pomocí trimru  $R_{21}$  a rezistoru  $R_{22}$  se nastavuje  $U_r$  na velikost 2,9V.

Zapojení pro regulaci chlazení funguje na velmi podobném principu. Jediným rozdílem je to, že místo invertujícího zapojení je použito zapojení neinvertující. Tím se změní i návrhové vztahy; místo vztahů číslo (12) a (13) použijeme [21]:

$$U_{p+} = U_r \frac{R_{15} + R_{16}}{R_{16}} + U_s \frac{R_{15}}{R_{16}} \quad (20)$$

$$U_{p-} = U_r \frac{R_{15} + R_{16}}{R_{16}} - U_s \frac{R_{15}}{R_{16}} \quad (21)$$

Zapojení neinvertujícího komparátoru je znázorněno na obrázku 27.



Obrázek 27 Zapojení komparátoru s hysterezí pro řízení chlazení

Chlazení je spouštěno při teplotě 35 °C tj  $R_{35} = 10,07 \text{ k}\Omega$  a vypnuto při teplotě 30°C,  $R_{30} = 12,25 \text{ k}\Omega$ . Termistor je připojen ke konektoru con3. Při zanedbání vlivu zpětné vazby (to jest rezistorů  $R_{15}$ ,  $R_{16}$  a  $R_{17}$ ) můžeme spočítat napětí pro překlápění komparátoru:

$$U_{p+} = U_{R13} = U_s \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{35^\circ\text{C}}} \quad (22)$$

Napětí  $U_{R13}$  je zvoleno 3 V. Proto je možno psát:

$$R_{13} = \frac{U_{R13}}{U_s - U_{R13}} R_{35^\circ C} = \frac{3}{11,5 - 3} 10,07k = 3,55 k\Omega \quad (23)$$

Kvůli větší možnosti změn uživatelem se užije 1 k $\Omega$  v kombinaci s trimrem  $R_{14}$  o velikosti 5 k $\Omega$ . Nyní jsou známy velikosti rezistorů a je nutné dopočítat velikost napětí  $U_{p-}$ . Dosazení známých veličin do vzorce je stejné jako výše, proto:

$$U_{p-} = U_{R13} = U_s \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{30^\circ C}} = 11,5 \frac{3,55k}{3,55k + 12,25k} = 2,58 V \quad (24)$$

Rozdíl  $U_{p+}$  a  $U_{p-}$  udává hysterezi, v tomto případě 0,42V. Nyní je zapotřebí dopočítat hysterezi tak, aby docházelo k překlopení komparátoru na daných napěťových úrovních. Jsou známy rovnice (20) a (21), ve kterých zůstávají neznámé velikosti  $R_{15}$ ,  $R_{16}$  a  $U_r$ .  $R_{15}$  je zvoleno 12 k $\Omega$ ,  $U_r$  je zvoleno 2,65V. Nyní je možno dopočítat:

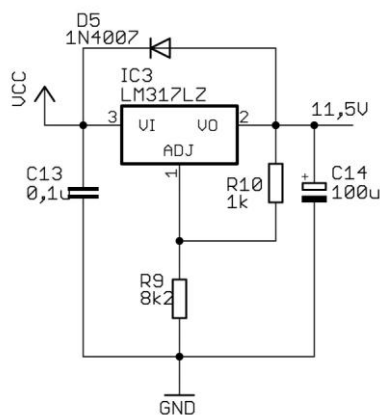
$$R_{16} = \frac{U_r + U_s}{U_{p+} - U_r} * R_{15} = \frac{2,65 + 11,5}{3 - 2,65} * 12k = 485 k\Omega \quad (25)$$

Aby bylo možno uživatelsky donastavit hysterezi, použije se rezistor  $R_{16}$  o velikosti 100 k $\Omega$  spolu s odporovým trimrem o velikosti 500 k $\Omega$ .  $U_{p-}$  pak bude:

$$U_{p-} = 2,65 \frac{12 + 485}{485} - 11,5 \frac{12}{485} = 2,53 V \quad (26)$$

Vzhledem k tomu, že  $U_{p-}$  je nižší než požadované, bude komparátor vypínat chlazení při nižší teplotě, než bylo vyžadováno, což v daném případě nevádí, protože rozdíl teploty bude téměř zanedbatelný.

Pro napájení komparátorů zesilovačů je využit obvod LM317LZ, jehož zapojení je zřejmé z obrázku 28:



Obrázek 28 Obvod pro napájení komparátorů.

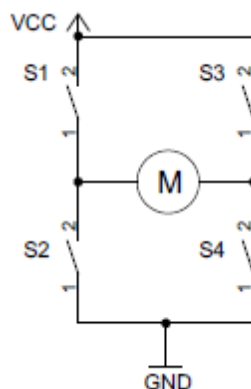
Výstupní napětí obvodu LM317 je dáno vztahem (27):

$$V_o = 1,25 \left( 1 + \frac{R_9}{R_{10}} \right) = 1,25 \left( 1 + \frac{8,2k}{1k} \right) = 11,5V \quad (27)$$

Dva výše uvedené komparátory jsou schopny řídit, zda má peltierův článek topit či chladit. Peltierův článek má dva vývody a po připojení na napájecí napětí jedna strana článku hřeje a druhá chladí. Prohozením těchto dvou přívodů se docílí toho, že se funkce stran prohodí, tj. ta která topila, bude chladit a naopak.

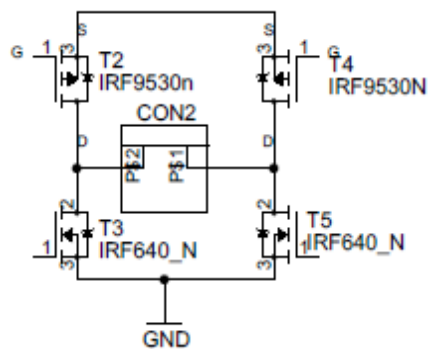
Je zapotřebí navrhnout princip, který by umožnil prohodit polaritu, bez nutnosti zásahu obsluhy. Lze použít H – most, který se běžně používá pro řízení směru otáčení stejnosměrných elektrických motorů.

Princip tohoto zapojení je možno vysvětlit za pomoci obrázku 29. Má-li se motor otáčet jedním směrem je nutno sepnout spínače S1 a S4. Pro otáčení směrem opačným se sepnou spínače S2 a S3. Je nutno zamezit současnému sepnutí spínačů S1 a S2, případně S3 a S4, protože v těchto případech dochází ke zkratu. Pomocí současného sepnutí spínačů S1 a S3, nebo S2 a S4 se docílí toho, že motor brzdí. Ovládání rychlosti otáčení je umožněno spínáním spínačů v dolní polovině obrázku pomocí například pulzně šířkové modulace za předpokladu, že je k nim zapojen i správný spínač z horní poloviny. Pro zapojení s peltierovým článkem postačí možnost změny směru otáčení, respektive prohození polarity [22].



Obrázek 29 Principiální znázornění H – mostu

Jako spínače pro tento typ zapojení se používají unipolární tranzistory. Pro nízkonapěťovou stranu zde spínače S2 a S4 se využívají vždy tranzistory s kanálem N. Pro vysokonapěťovou stranu se využijí tranzistory P. Celkové zapojení je na obrázku 30. Spínané napětí se přivádí na source tranzistorů T2 a T4.



Obrázek 30 Zapojení H-mostu z unipolárních tranzistorů.

Tranzistory s P kanálem jsou rozepnuté, je-li jejich  $U_{gs}$  rovno nule. Se vzrůstajícím záporným napětím  $U_{gs}$  se otevírají. Vypnutí tranzistoru T2 a T4 se tedy docílí tak, že na gate je přivedeno napětí, které má stejnou velikost jako napětí na source. Tranzistory s N kanálem jsou při napětí  $U_{gs}=0V$  rozepnuté a sepnou při nárůstu napětí. Průběh spínání pro obě polaritu je přehledně znázorněn v tabulce 4, kde hodnota 1 značí kladné nenulové napětí vztažené k zemi a dostatečné pro změnu stavu tranzistoru.

Tabulka 4. Stav na tranzistorech.

	T2	T3	T4	T5
vypnuto	1	0	1	0
směr 1	0	0	1	1
směr 2	1	1	0	0

Řízení H – mostu je zajištěno pomocí mosfet driveru TC4469. Tento typ driveru má pro každý výstup dva vstupy. Vstup je konfigurován jako člen AND s invertorem na jednom vstupu. Základní vlastnosti driveru jsou [23]:

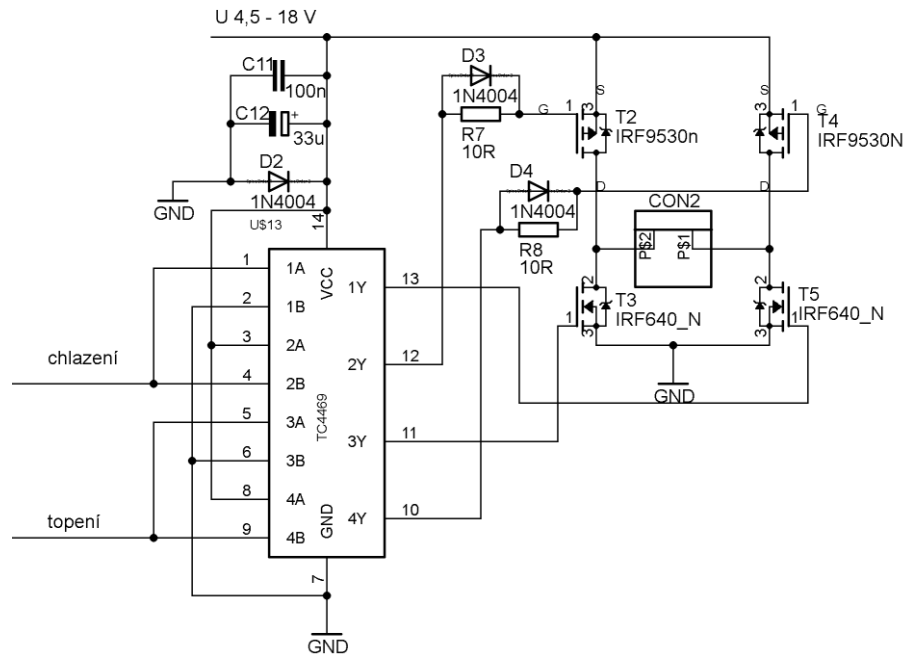
- Maximální špičkový výstupní proud 1,2A
- Pracuje v rozsahu 4,5 – 18 V
- Délka náběžné/sestupné hrany 25 ns

Použití tohoto driveru je dle výrobce vhodné mimo jiné pro řízení všech čtyř mosfet tranzistorů v H – mostu. Vstupní člen pracuje s logickými úrovněmi, kdy logická 1 je pro rozsah napětí od 2,4V do napájecího. Logická 0 je pro napětí nižší než 0,8V. Hodnota vysokého výstupního napětí je o 0,025V nižší než hodnota napájecího napětí. Nízké výstupní napětí je 0,15V. Pravdivostní tabulka pro obvod TC4469:

Tabulka 5. Pravdivostní tabulka obvodu TC4469 [23].

Vstupy		Výstup
A	B	Y
H	H	L
H	L	H
L	H	L
L	L	L

Nyní je zapotřebí navrhnout zapojení tak, aby pomocí signálů z komparátorů pro topení a chlazení bylo možné přes obvod TC4469 ovládat H-most a byly splněny obě předchozí tabulky. Vyjde se ze zapojení v datasheetu, které je upraveno pro připojení tranzistorů. Celkové schéma zapojení i s připojením tranzistorů je zřejmé z obrázku 31.



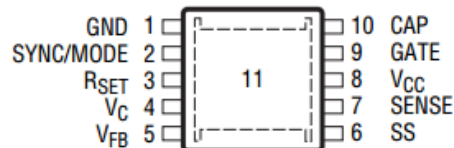
Obrázek 31 Zapojení obvodu TC4469 spolu s H – mostem.

### 2.4.3 Zdroj pro vytápění

Před zahájením návrhu zdroje byl peltierův článek změřen na laboratorním zdroji. Maximální dosažený proud byl 6,2 A při napětí 12V. Zdroj pro vytápění tedy bude navrhován pro dodání naměřených hodnot napětí a proudu. Na stránkách výrobce Linear Technology byl vybrán vhodný měnič LTC3824. Základní vlastnosti měniče jsou [24]:

- Rozsah vstupního napětí 4 – 60V
- Práce s velmi malým úbytkem napětí až 100% střída
- Nastavitelná spínací frekvence od 200 kHz do 600 kHz
- 8V, 2A řízení hradla pro mosfet s P kanálem
- Nastavitelný soft start
- Nastavitelný proudový limit

LTC3824 se dodává v jedenácti vývodovém pouzdře MSOP, jednotlivé vývody jsou znázorněny na obrázku 32.



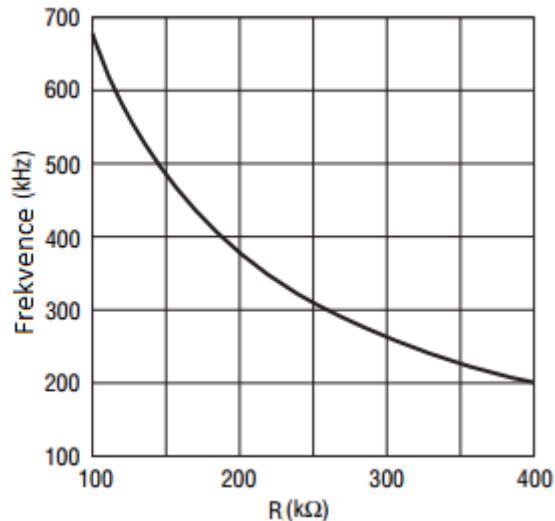
Obrázek 32 Zapojení vývodů měniče LTC3824 [24].

Popis jednotlivých vývodů je v tabulce 6.

Tabulka 6. Popis jednotlivých pinů LTC3824 [24].

Pin	Název	
1, 11	Gnd	Zem. Pad 11 musí být dobře připojen, pro dosažení požadovaného tepelného výkonu.
2	sync/mode	Určuje zda je nebo není povolen režim burst. Pro povolení tohoto režimu je nutno nechat tent pin nepřipojen, nebo na něj přivést napětí vyšší než 2V. V tomto případě jej necháme nepřipojen.
3	Rset	Rezistor připojený k romuto pinu nastavuje pracovní frekvenci měniče. Volba velikosti rezistoru se provádí dle grafu závislosti spínací frekvence na velikosti rezistoru, obrázek LL.
4	Vc	Pokud hodnota Vc na tomto pinu klesne pod úroveň 25mV měnič přejde do úsporného režimu.
5	Vfb	Odporový dělič připojený k tomuto pinu nastavuje výstupní napětí.
6	SS	Kapacitor připojený k tomuto pinu nastavuje za jak dlouho je na výstupu dosažena požadovaná úroveň. Typický čas pro dosažení požadované úrovně je dán rovnicí $t=(C*0,8V)/5\mu A$ .
7	Sense	Určuje proudový limit. Rezistor připojený mezi Vcc a sense nastavuje proudový limit na $100mV/R_{sense}$ .
8	Vcc	Určeno pro napájení. Blokovací kondenzátory je vhodné umístit co nejbliže.
9	Gate	pin pro řízení externího unipolárního tranzistoru typu P. Maximální špičkový řídicí proud je 2,5A a napětí 8V, pokud je napájecí napětí větší než 9V.
10	Cap	Kondenzátor s nízkým ESR o velikosti minimálně 0,1μF je vyžadován z tohoto pinu na Vcc k blokování interního regulátoru.

Nastavení spínací frekvence se provádí volbou velikosti rezistoru dle grafu závislosti spínací frekvence na velikosti rezistoru, obrázek 33. Spínací frekvence je stanovena na 380 kHz, a proto rezistor R1 zapojen mezi pin 3 a zem bude mít velikost 200kΩ.



Obrázek 33 Závislost spínací frekvence na velikosti rezistoru [24].

Nastavení výstupního napětí je prováděno přes odporový dělič. Zpětnovazební napětí je 0,8 V. Pro velikost výstupního napětí je dáno:

$$V_{out} = 0,8 \left( 1 + \frac{R_5}{R_6} \right) \quad (28)$$

$R_6$  je zvoleno 10kΩ,  $V_{out}$  je známo, proto je psáno:

$$R_5 = \left( \frac{V_{out}}{0,8} - 1 \right) R_6 = \left( \frac{12}{0,8} - 1 \right) 10 * 10^3 = 140k\Omega, \quad (29)$$

kde  $R_5$  je zvoleno nejbližší z řady E24 tudíž 180kΩ.

Zpětnovazební napětí 0,8 V platí v případě, že je regulátor v normálním provozu. Dojde-li ke zkratu a toto napětí klesne pod úroveň 0,5 V spínací frekvence bude redukována na 50 kHz, aby se cívka stihla vybit.

Výběr vhodné cívky je dán vztahy pro maximální proud cívkou:

$$I_{L(max)} = I_{out(max)} + \frac{I_{zvlnění}}{2}, \quad (30)$$

kde zvlnění proudu je dáno:

$$I_{zvlnění} = \frac{(V_{in} - V_{out}) * D}{f * L} \quad (31)$$

Frekvence je stanovena rezistorem  $R_I$  a střída je dána:

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} + V_D} = \frac{12 + 0,8}{25,5 + 0,8} = 0,48, \quad (32)$$

kde  $V_D$  je napětí diody D1 v propustném směru, v případě zde užití diody MBR20200ct je hodnota  $V_D$  rovna 0,8 V. Příliš malá indukčnost má za následek velké zvlnění výstupního proudu, výstupního napětí a také příliš velkých ztrát v jádru cívky. Velikost cívky se počítá dle vztahu:

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) * D}{f * 0,025 * I_{out(max)}} = \frac{(25,5 - 12) * 0,48}{380 * 10^3 * 0,05 * 6,2} = 55 * 10^{-6} H, \quad (33)$$

kde číslo 0,05 značí zvlnění výstupního proudu 5%. Cívka se použije o velikosti 68 $\mu$ H. Pak může být dle (31) dopočítáno:

$$I_{zvlnění} = \frac{(25,5 - 12) * 0,48}{380 * 10^3 * 68 * 10^{-6}} = 0,25 A \quad (34)$$

a spočten maximální proud cívkou dle (30):

$$I_{L(max)} = 6,2 + \frac{0,25}{2} = 6,325 A \quad (35)$$

Maximální proud cívkou musí být větší než spočtený, proto se použije cívka s maximálním proudem 10A [25].

Maximální výstupní proud, který je obvod schopen dodat, je dán vztahem:

$$I_{out(max)} = \frac{100mV}{R_3} - \frac{I_{zvlnění}}{2}, \quad (36)$$

což lze přepsat:

$$R_3 = \frac{100mV}{I + \frac{I_{zvlnění}}{2}} = \frac{100 * 10^{-3}}{6,2 + \frac{0,25}{2}} = 0,0158 \Omega, \quad (37)$$

Kde  $R_3$  značí rezistor, na němž se snímá maximální proud. Tento je nutno na desce plošných spojů umístit velmi blízko měniče. Rezistor o velikosti 0,0158  $\Omega$  se nevyrábí, proto se použije rezistor o velikosti 0,01  $\Omega$ .

Jedním ze základních požadavků na mosfet je, aby  $U_{gs}$  mělo hodnotu alespoň 10. Byl vybrán mosfet IRF 5305 [26], s  $U_{gs} = 20V$ .

Dioda je zatížena během vypnutí tranzistoru. Průměrný proud diodou je tedy dán kmitočtem pracovního cyklu tranzistoru. Nejhorší stav nastává při zkratu. Při této situaci musí dioda zvládat maximální proud po téměř celou dobu. Za normálního stavu

je proud diodou dán:

$$I_d = I_{out}(1 - D) = 6,2(1 - 0,48) = 3,22A \quad (38)$$

Vhodná dioda je MBR20200CT se závěrným napětím 200 V a maximálním proudem v propustném směru 20 A [27].

Vstupní kondenzátor je zapotřebí s nízkým ESR o dostatečné velikosti, tak aby zvládal maximální efektivní hodnotu proudu spínačem bez velkých přechodových napětí. Maximální efektivní hodnota proudu kondenzátorem je dána:

$$I_{rms} = I_{out(max)} \frac{V_{out}}{V_{in}} \sqrt{\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1} = 6,2 \frac{12}{25,5} \sqrt{\frac{25,5}{12} - 1} = 3,09 A \quad (39)$$

Jsou použity dva kondenzátory 470  $\mu$ F/35V každý s Irms 1,82A [28].

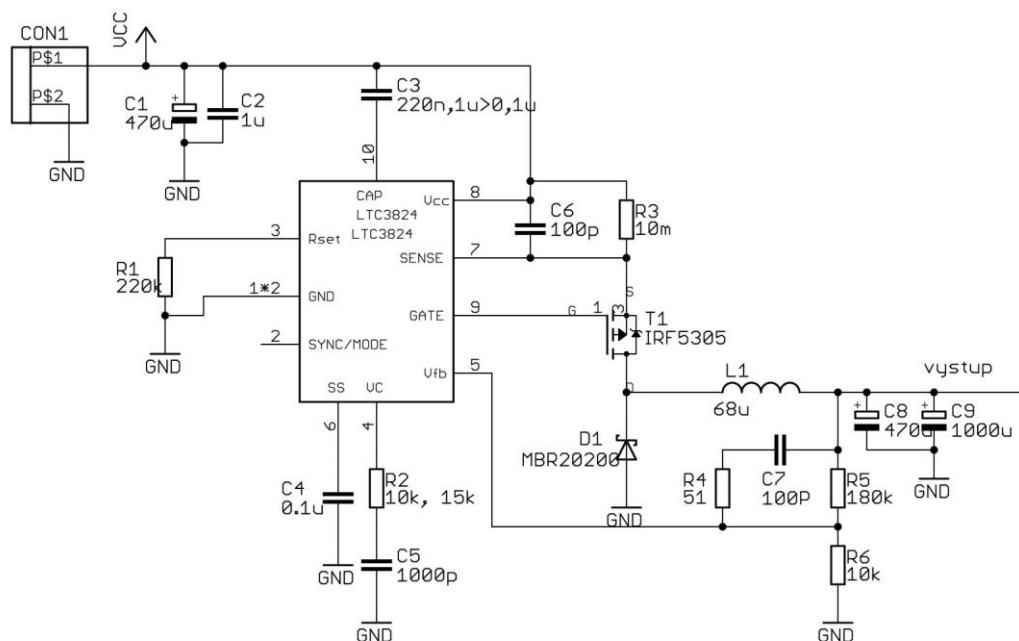
Minimalizace zvlnění výstupního napětí a přechodných jevů zátěže je dána ekvivalentním sériovým odporem výstupního kondenzátoru dle vztahu:

$$\Delta V_{out} \leq I_L \left( ESR + \frac{1}{8fC_{out}} \right), \quad (40)$$

kde  $C_{out}$  je 1000  $\mu$ F na 35V a má ESR rovno 0,018  $\Omega$  [28].

$$\Delta V_{out} \leq 6,325 \left( 0,018 + \frac{1}{8 * 350 * 10^3 * 1000 * 10^{-6}} \right) = 0,116 V \quad (41)$$

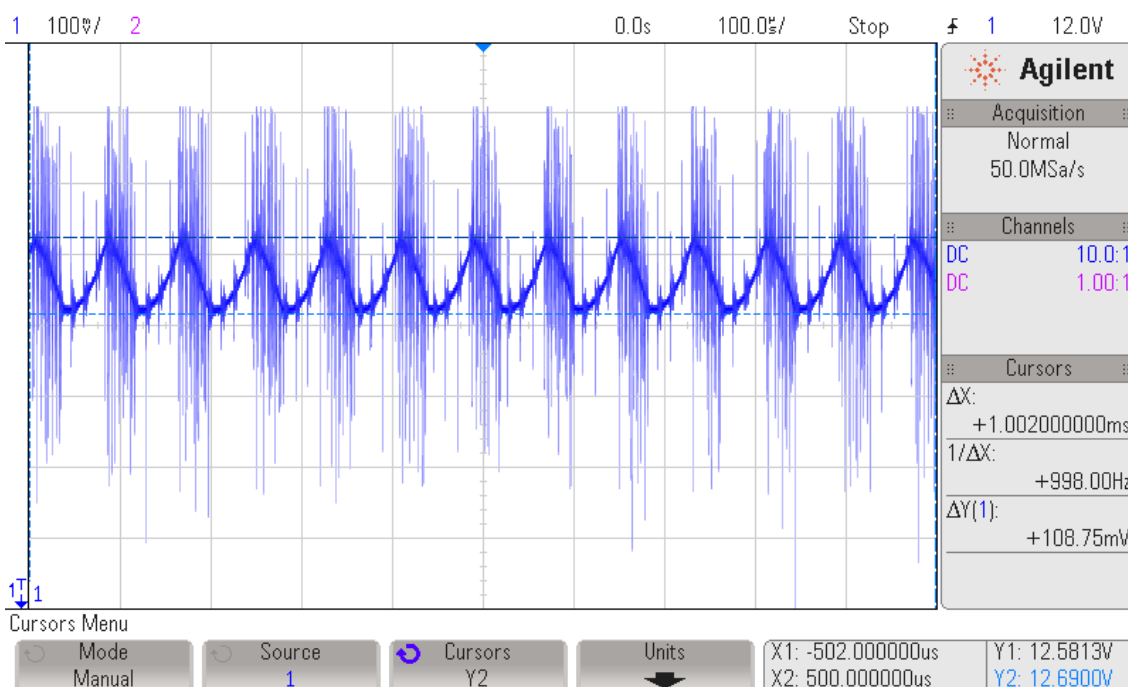
Je zřejmé, že výstupní napětí má mít zvlnění menší než 0,12 V. Nyní jsou známy hodnoty všech komponent a kompletní zapojení měniče je znázorněno na obrázku 34.



Obrázek 34 Zapojení měniče pro napájení peltierova článku.

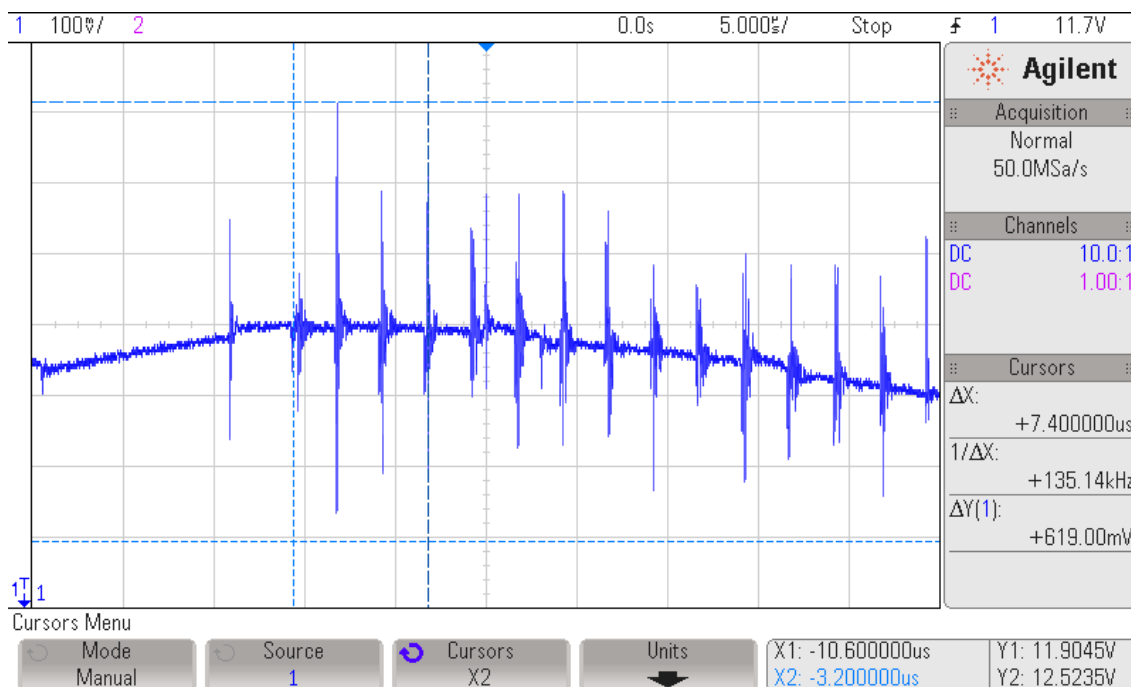
#### 2.4.4 Měření zdroje pro peltierův článek

Jak je zřejmé z obrázku 35 zvlnění výstupního napětí je 109, mV vypočtená hodnota dle (41) je 116 mV, takže tyto hodnoty jsou téměř shodné. Při výstupním napětí 12,6 V zvlnění činí 0,86%.



Obrázek 35 Měření zvlnění výstupního napětí zdroje pro peltierův článek.

Spínací frekvence nastavená rezistorem R1 a má být 380 kHz pro rezistor 200 k $\Omega$ . Skutečná frekvence je znázorněna na snímku z osciloskopu 36. Frekvence, kterou spočetl osciloskop, je 135,14 kHz, pro tři periody signálu. Pro jednu periodu tedy vychází kmitočet třikrát vyšší, tudíž 405,42 kHz. Rozdíl mezi požadovanou a skutečnou hodnotou činí 25 kHz, čili asi 6,5 %.



Obrázek 36 Kmitočet spínaného zdroje.

### 3 ZDROJ NAPÁJENÍ

Úkolem zdroje napájení celého systému je vytvořit ze síťového napětí vhodnou napěťovou úroveň, s kterou bude možno dále pracovat. Zdroj se bude skládat z transformátoru, můstkového usměrňovače, filtrace a pojistky.

V rámci zdroje je vhodné vytvořit dvě napájecí větve. Jedna bude napájet peltierův článek, a druhá bude napájet diodové řady, čerpadlo a mlžič. Toto zapojení je výhodné kvůli vysokému proudovému odběru peltierova článku.

#### 3.1 Transformátor

Je zapotřebí dvou napájecích větví. Proto lze s výhodou užít toroidního transformátoru, který má dvě výstupní vinutí. Hladina napájecího napětí pro měniče je 24V, proto bude dle rovnice (42) potřeba sekundární napětí o velikosti cca 18V.

Vhodný toroidní transformátor je Talema 55162-P1S2. Parametry transformátoru jsou [29]:

- Napětí sekundárního vinutí 2\*18 V
- Proud sekundárního vinutí 2\*6,25 A
- Napětí naprázdno 2\*19,71V
- Doporučená velikost pojistky 6,3 A
- Rozměry 118\*50 mm
- Hmotnost 1,9 kg

#### 3.2 Můstkový usměrňovač

V obvodu jsou dvě napájecí větve, je tedy zapotřebí dvou diodových můstků. Vhodným můstkem je KBPC2510F a následujícími parametry [30]:

- Střídavé napětí 700 V
- Maximální stejnosměrné blokující napětí 1000 V
- Maximální proud 25 A
- Úbytek napětí 1,2 V

Ze znalosti úbytku napětí a parametrů transformátoru lze nyní vypočítat hodnoty usměrněného napětí dle:

$$V_{in} = U_{max} * \sqrt{2} - 2 * U_d = 19,71 * \sqrt{2} - 2 * U_d = 25,47 V, \quad (42)$$

kde  $U_{max}$  je maximální napětí na výstupu transformátoru, tudíž napětí naprázdno,  $U_d$  je úbytek napětí na diodě v diodovém můstku.  $V_{in}$  je maximální napětí po usměrnění,

které je zároveň vstupním napětím pro všechny následující obvody, pro zjednodušení se bude  $V_{in}$  uvažovat jako 25,5V.

### 3.3 Filtrační kondenzátory

Vhodná velikost vstupních kondenzátorů zamezí nežádoucímu zvlnění výstupního napětí. Velikost filtračních kondenzátorů se spočte dle [http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=51]:

$$C = \frac{300 * I_m}{p * V_{in}} = \frac{300 * 4500}{5 * 25,5} = 11746 \mu F, \quad (43)$$

kde  $I_m$  je maximální proud v mA,  $p$  je zvlnění v %.

Vzhledem k tomu, že požadovaná kapacita kondenzátoru je příliš velká, bude nutno použít více kondenzátorů řazených paralelně. Užijí se dva elektrolytické kondenzátory o velikosti 4700  $\mu F/35$  V a dva kondenzátory s nízkým ESR o kapacitě 2200  $\mu F/35V$ . Výsledná kapacita bude 13 800  $\mu F$ .

Na stejné desce s kondenzátory bude i trubičková pojistka o velikosti 5A.

## 4 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce bylo navrženo a zrealizováno řízení klimatických podmínek ve skleníku. Kromě elektronických řídicích a napájecích obvodů byla navržena i konstrukční řešení, jako například v případě rozvodu vody.

První částí systému je zavlažování. Byl navržen systém kapačů, pomocí něhož lze regulovat průtok a který přivádí dostatečné množství vody. Tento systém je doplněn o snižující DC/DC měnič, který dodává potřebné napětí i proud. Měnič je navržen tak, aby vyhovoval většině čerpadel s napájením 12V. Měnič lze spínat, což je v práci řešeno spínáním pomocí časovače.

V rámci osvětlení je navrženo osvětlení pomocí LED diod. Konstrukční části, ke kterým jsou LED diody připevněny, jsou koncipovány tak, aby vrhaly minimální stín a tím nebránily rostlinám v růstu. LED diody jsou řízeny pomocí pulzně šířkové modulace, která je generována za pomoci fotorezistoru. Spínání diod je možné ve střídě 0-100 %. Měnič pro napájení je stejné konstrukce jako měnič pro čerpadlo s tím rozdílem, že zde pracuje neustále. Pracovní cyklus je řízen uzemňováním zátěže.

Mlžič je spínán spolu s ventilátorem, jenž má za úkol rozšířit částice vody po skleníku. Ke spínání je využit stejný princip jako pro spínání čerpadla.

Udržení vhodné teploty ve skleníku je zajištěno pomocí Peltierova článku, který je spínán pomocí termistoru a dále obvodu umožňujícího měnit polaritu článkem. Napájení je řešeno snižujícím DC/DC měněčem. Donastavení přesných komparačních úrovní je bohužel poměrně náročné. Pro přesné provedení by bylo zapotřebí teplotní komory, kde by šla měnit teplota s krokem jednotek stupňů celsia. Zapojení je koncipováno jako třísezónní. Důvodem je, že polykarbonátový skleník nemá téměř žádné izolační vlastnosti, takže dosažení potřebné teploty v zimních měsících by se stalo velmi neekonomickým.

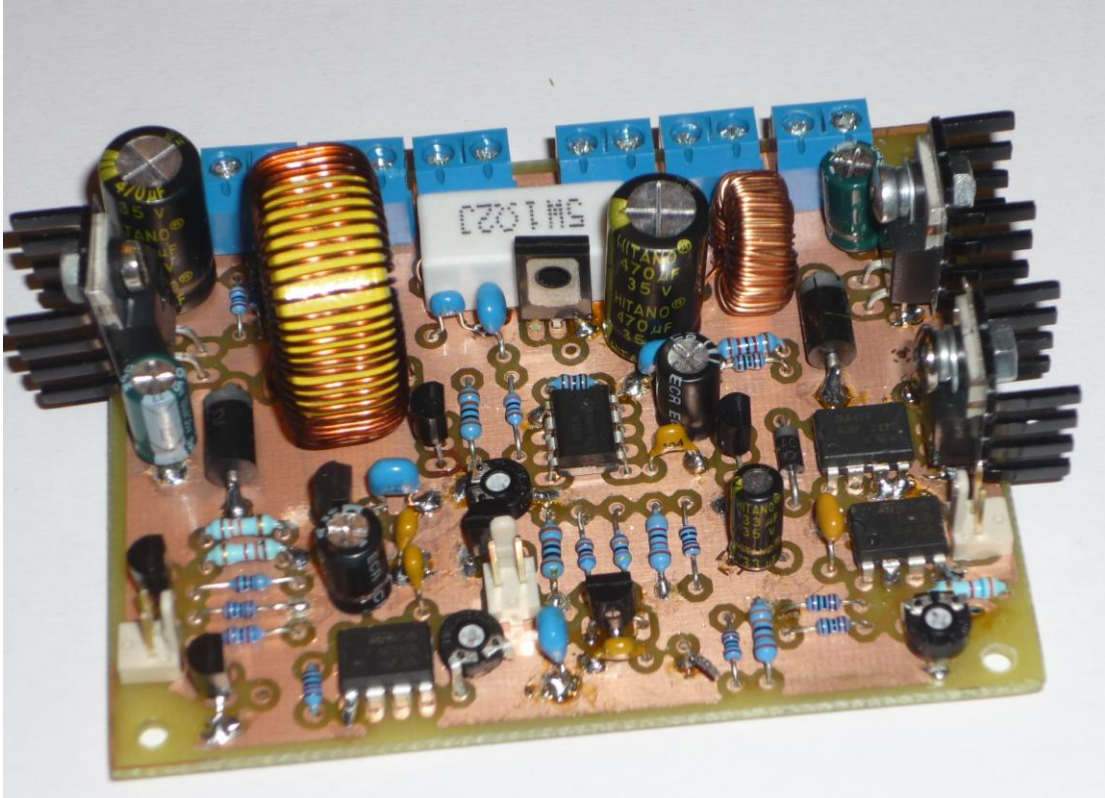
# LITERATURA

- [1] Pama [online]. 2014 [cit. 2014-12-1]. Dostupné z: <http://www.pama-prosvetleni.cz/polykarbonat>
- [2] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *DC/DC měniče*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001, 111 s. ISBN 80-7300-045-8.
- [3] Autodíly Rauš [online]. [cit. 2014-12-1]. Dostupné z: <http://www.autodilyraus.cz/Motorek-ostrikovace-Favorit-d427.htm>
- [4] Gardena [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.gardena.com/cz/water-management/micro-drip-irrigation-system/regulovatelný-koncový-kapac/>
- [5] LM2576HV, Data sheet [online]. Texas Instruments [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>
- [6] DPU220A3, Data sheet [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: [http://www.tme.eu/cz/Document/5de2dfc32a497c174c90d5fd90915899/dp\\_series.pdf](http://www.tme.eu/cz/Document/5de2dfc32a497c174c90d5fd90915899/dp_series.pdf)
- [7] NE555 – příklady zapojení 1 [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: [http://pandatron.cz/?199&ne555\\_-\\_prikklady\\_pouziti\\_-\\_1](http://pandatron.cz/?199&ne555_-_prikklady_pouziti_-_1)
- [8] 78L12, Data sheet [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/330/122/stabilizator-pevneho-napeti-78l12-sem-datasheet-1.pdf>
- [9] Mlhovač Exo Terra [online] stránky distributora [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.akva-exo.cz/detail/teraristika/mlhovace/606/>
- [10] Ventilátor sunon, Data sheet [online] [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/625/310/ventilator-sunon-mc30060v2-a99-datasheet-1.pdf>
- [11] Tridonic [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: [http://zarivky.cz/docs/Tridonic/tridonic\\_navod.pdf](http://zarivky.cz/docs/Tridonic/tridonic_navod.pdf)
- [12] OSM5XZE1E1E, Data sheet [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/897a9c5fd06a392ca04f6ac970a5411f/OSM5XZE1E1E.pdf>
- [13] Koplast [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.koplast.cz/plexisklo-popis-plexiskla>
- [14] Tekutá izolační páska, Návod k použití [online]. [cit. 2015-3-16]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/749/103/tekuta-izolacni-paska-transparentni-cznavod-1.pdf>
- [15] Fotorezistor VT93N2, Data sheet [online]. [cit. 2015-3-16]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/520/052/vt93n2-datasheet-1.pdf>
- [16] IR4426, Data sheet [online]. [cit. 2015-3-16]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/c706199fcb2958b68954ef7302d6929b/IR4427PBF.pdf>
- [17] LM317, Data sheet [online]. [cit. 2015-4-25]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/331/003/lm317lz-datasheet-1.pdf>
- [18] DPT330A3, Data sheet [online]. [cit. 2015-4-25]. Dostupné z: [http://www.tme.eu/cz/Document/dda40221872efb31994e26ea90be37d1/dpt\\_b.pdf](http://www.tme.eu/cz/Document/dda40221872efb31994e26ea90be37d1/dpt_b.pdf)

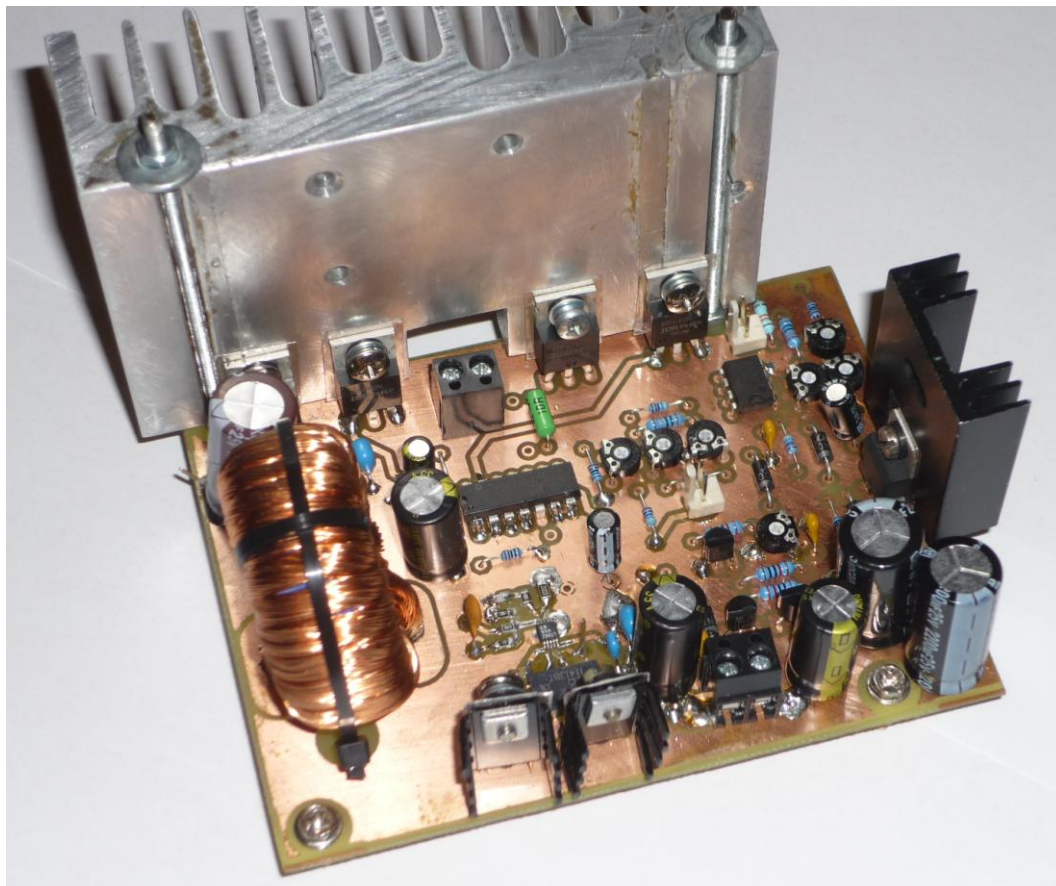
- [19] TEC1 – 12706, Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/601/017/m-tec1-12706-datasheet-1.pdf>
- [20] NTCLE100E3153JBO, Data sheet [online]. [cit. 2015-4-25]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/29049/ntcle100.pdf>
- [21] Komparátory s operačními zesilovači [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.samoweb.wz.cz/elektronika/opzes3/opzes3.htm>
- [22] H – bridge [online]. Wikipedia [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/H\\_bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/H_bridge)
- [23] TC4469 Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: [http://www.tme.eu/cz/Document/e451a1449381094035e2db32de39b969/tc4467\\_8\\_9.pdf](http://www.tme.eu/cz/Document/e451a1449381094035e2db32de39b969/tc4467_8_9.pdf)
- [24] LTC3824. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3824fg.pdf>
- [25] DTMSS-27/0,068/10-V. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/5ed6419724c8230b740a4d552df9f569/27.pdf>
- [26] IRF 5305. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/8f17730b909dd381fcbfd8f5c581813f/irf5305.pdf>
- [27] MBR20200CT. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: [http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/MBR20200CT-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MBR20200CT-D.PDF)
- [28] C470u/35V. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/123/732/ce-470u-35vit-hit-esx-10x20-rm5-bulk-datasheet-1.pdf>
- [29] Talema 55162-P1S2. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/505ab7a151e6fa111ec7ce1e42277c4f/55xxx.pdf>
- [30] diodový můstek KBPC2510F. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/227/088/diodovy-mustek-b380c25000-datasheet-1.pdf>

# A FOTODOKUMENTACE

## A.1 Deska pro světla, čerpadlo a mlžič

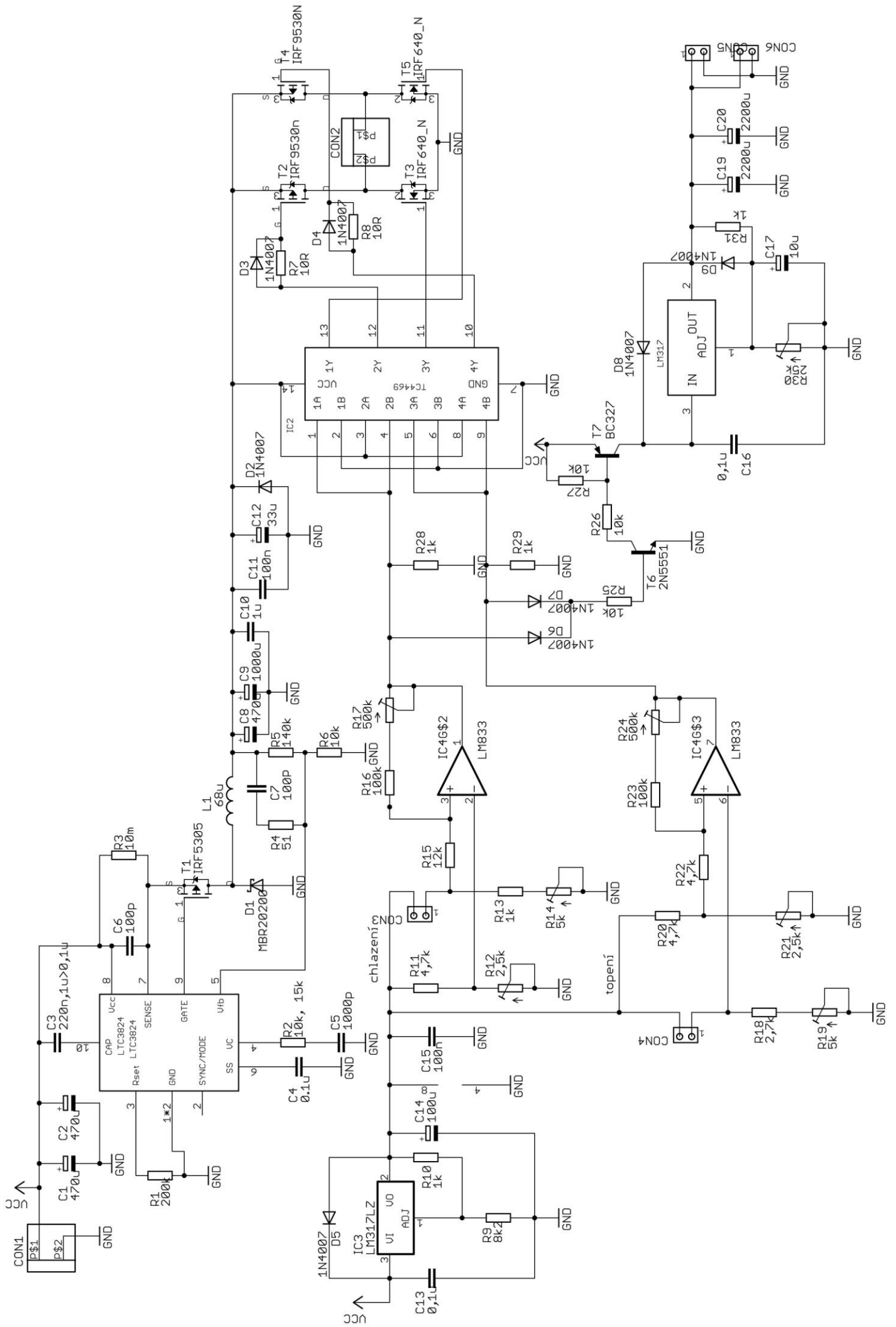


## A.2 Deska pro Peltierův článek

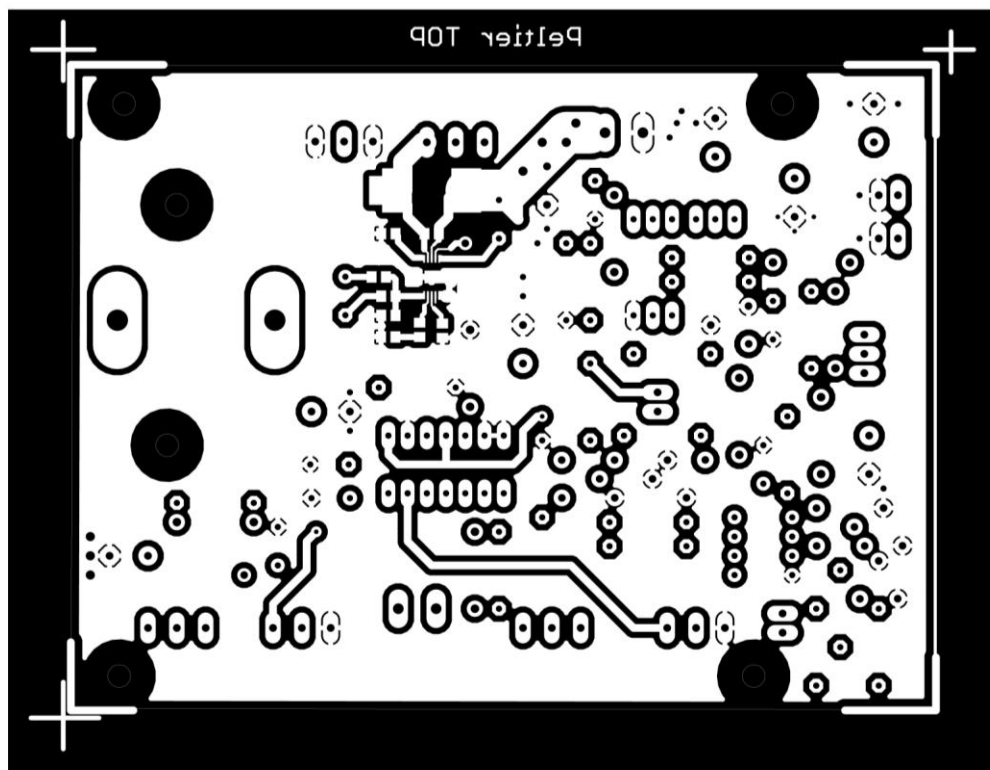


## B ČÁST ZAŘÍZENÍ PRO PELTIERŮV ČLÁNEK

### B.1 Obvodové zapojení pro řízení peltierova článku

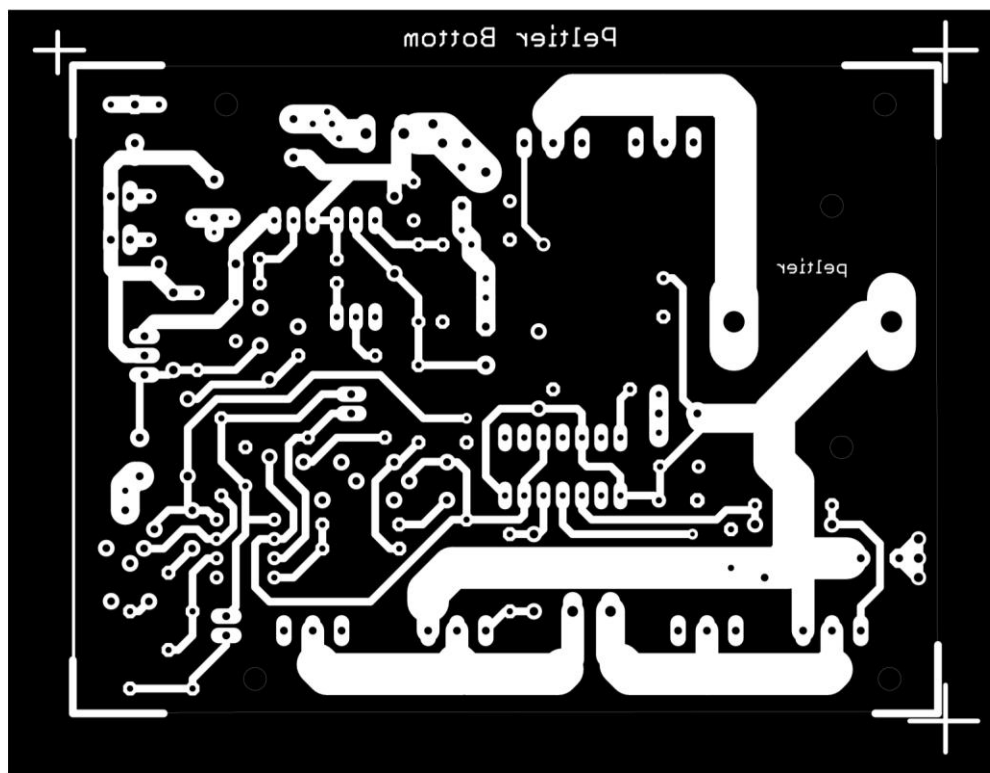


## B.2 Deska plošného spoje pro řízení peltierova článku – top (strana součástek)



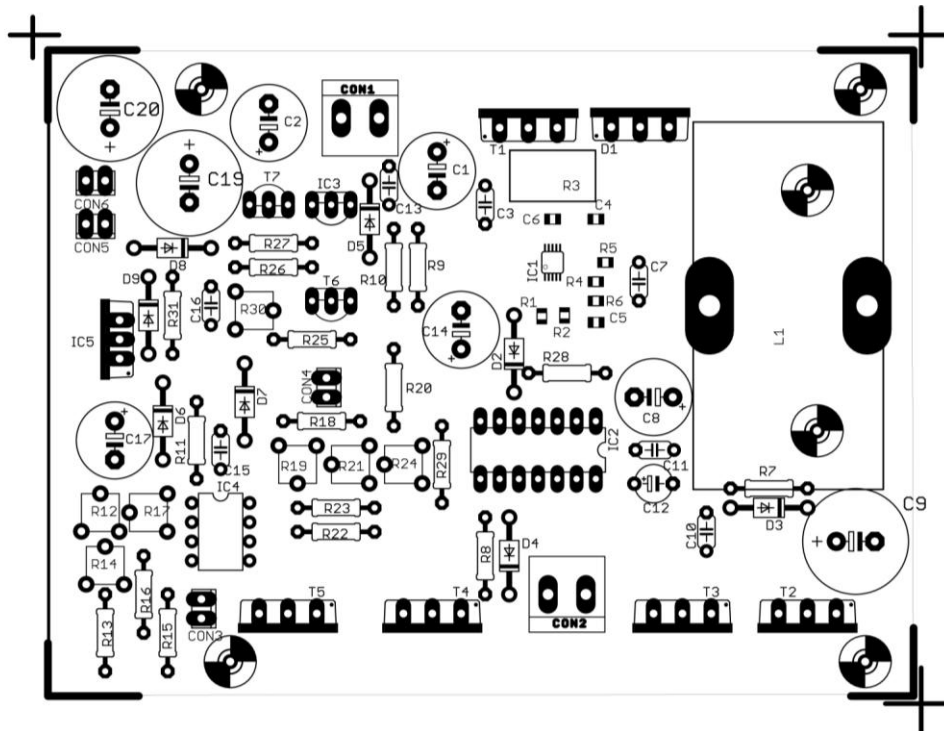
Rozměr desky 85\*113 [mm], měřítko M1:1

### B.3 Deska plošného spoje pro řízení peltierova článku – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 85\*113 [mm], měřítko M1:1

## B.4 Osazovací výkres



## B.5 Seznam součástek

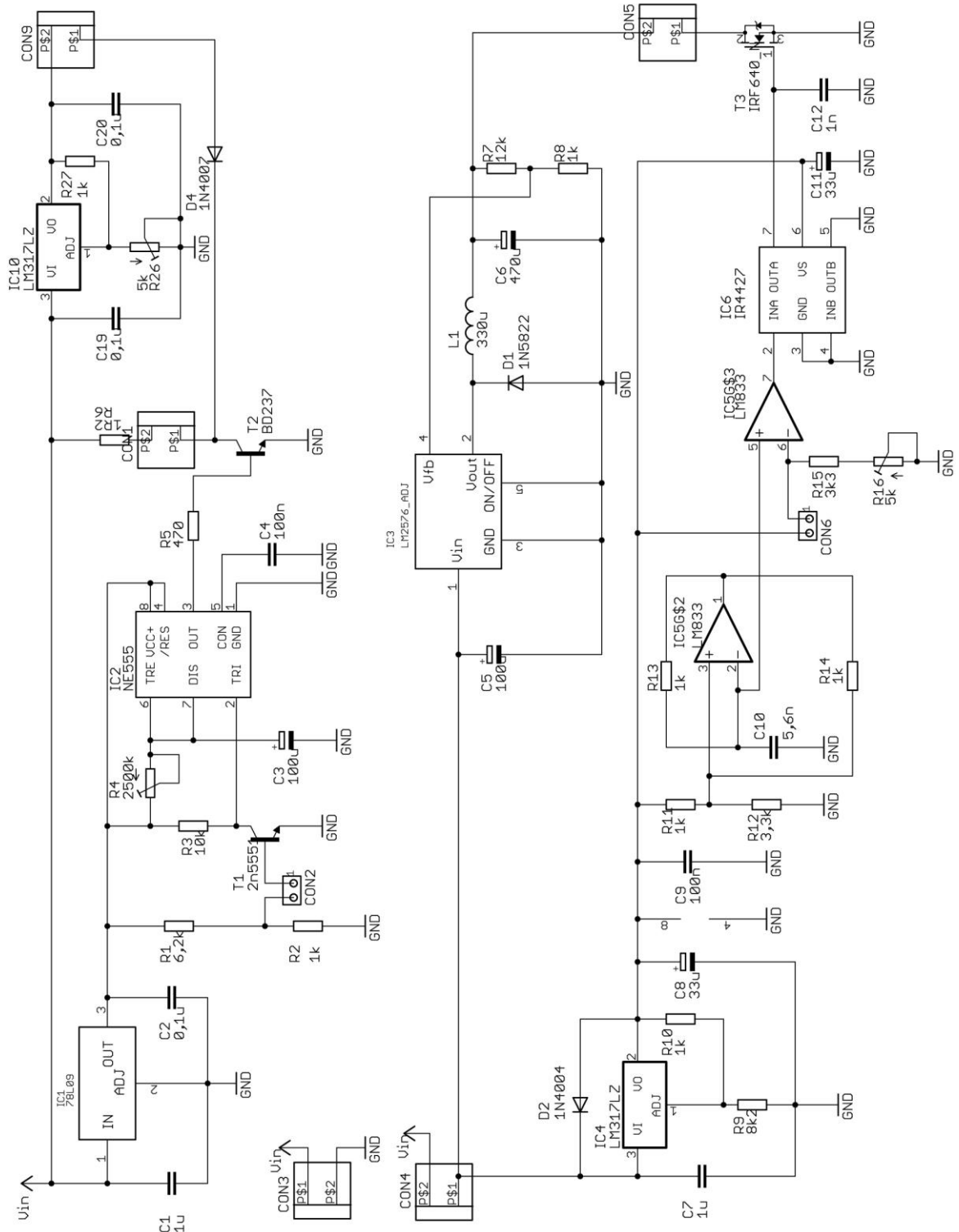
Označení	Hodnota	Pouzdro	Poznámka
C1	470u/35v	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C2	470u/35v	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C3	220n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C4	0.1u	C0805	Keramický kondenzátor
C5	1000p	C0805	Keramický kondenzátor
C6	100p	C0805	Keramický kondenzátor
C7	100P	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C8	470u/35v	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C9	1000u/35V	E5-13	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C10	1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C11	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C12	33u/35V	E5-5	Elektrolytický kondenzátor
C13	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C14	100u/35V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor
C15	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C16	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C17	10u/25V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor
C19	2200u/25V	E5-13	Elektrolytický kondenzátor
C20	2200u/25V	E5-13	Elektrolytický kondenzátor

CON1	ARK210/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON2	ARK210/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON3	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON4	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON5	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON6	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
D1	MBR20200CT	TO220	Dioda
D2	1N4007	DO41-10	Dioda
D3	1N4007	DO41-10	Dioda
D4	1N4007	DO41-10	Dioda
D5	1N4007	DO41-10	Dioda
D6	1N4007	DO41-10	Dioda
D7	1N4007	DO41-10	Dioda
D8	1N4007	DO41-10	Dioda
D9	1N4007	DO41-10	Dioda
IC1	LTC3824	MSOP10	Měníč DC/DC
IC2	TC4469	DIL14	Ovladač hradel
IC3	LM317LZ	TO92	Stabilizátor napětí
IC4	LM833	DIL08	Operační zesilovač
IC5	LM317	TO220	Stabilizátor napětí
L1	220u/10A		Cívka
R1	200k	R0805	Rezistor
R2	10k	R0805	Rezistor
R3	10m	R4527	Rezistor
R4	51R	R0805	Rezistor
R5	140k	R0805	Rezistor
R6	10k	R0805	Rezistor
R7	10R	0207/10	Rezistor
R8	10R	0207/10	Rezistor
R9	8k2	0207/10	Rezistor
R10	1k	0207/10	Rezistor
R11	4,7k	0207/10	Rezistor
R12	2,5k	PT6V	Rezistorový trimr
R13	1k	0207/10	Rezistor
R14	5k	PT6V	Rezistorový trimr
R15	12k	0207/10	Rezistor
R16	100k	0207/10	Rezistor
R17	500k	PT6V	Rezistorový trimr
R18	2,7k	0207/10	Rezistor
R19	5k	PT6V	Rezistorový trimr
R20	4,7k	0207/10	Rezistor
R21	2,5k	PT6V	Rezistorový trimr
R22	4,7k	0207/10	Rezistor
R23	100k	0207/10	Rezistor

R24	500k	PT6V	Rezistorový trimr
R25	10k	0207/10	Rezistor
R26	10k	0207/10	Rezistor
R27	10k	0207/10	Rezistor
R28	1k	0207/10	Rezistor
R29	1k	0207/10	Rezistor
R30	25k	PT6V	Rezistorový trimr
R31	1k	0207/10	Rezistor
T1	IRF5305	TO220ROZ	Unipolární tranzistor P
T2	IRF9530n	TO220ROZ	Unipolární tranzistor P
T3	IRF640_N	TO220ROZ	Unipolární tranzistor P
T4	IRF9530N	TO220ROZ	Unipolární tranzistor N
T5	IRF640_N	TO220ROZ	Unipolární tranzistor N
T6	2N5551	TO92	NPN Tranzistor
T7	BC327	TO92	PNP Tranzistor

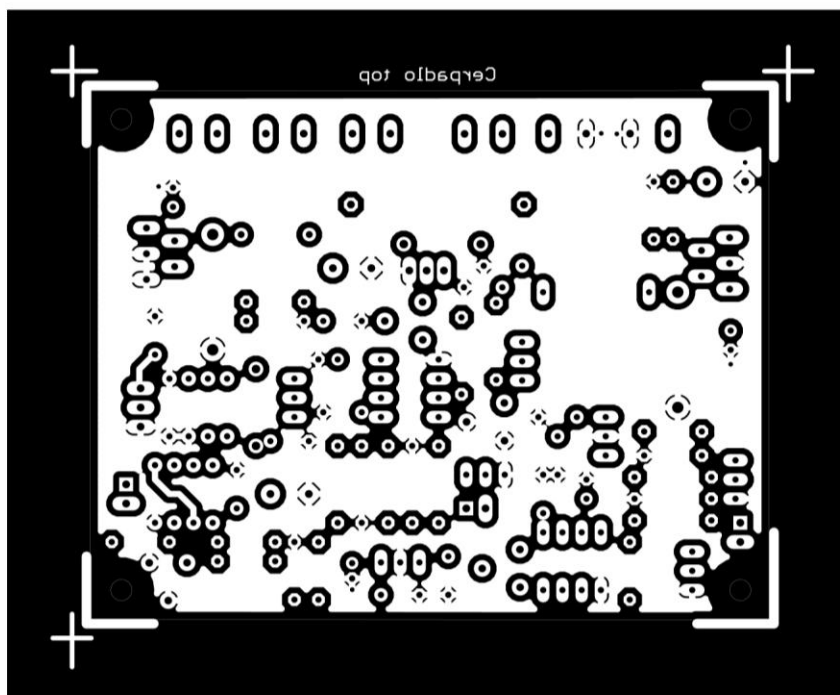
# C ČÁST ZAŘÍZENÍ PRO SVĚTLA, ČERPADLO A MLŽIČ

## C.1 Obvodové zapojení pro světla, čerpadlo a mlžič



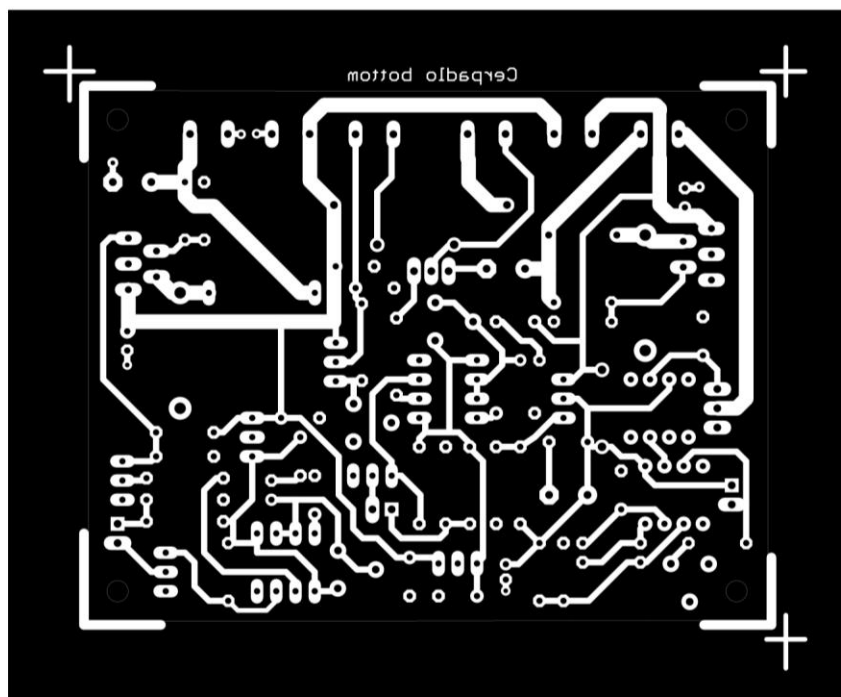


## C.2 Deska plošného spoje pro světla, čerpadlo a mlžič – top (strana součástek)



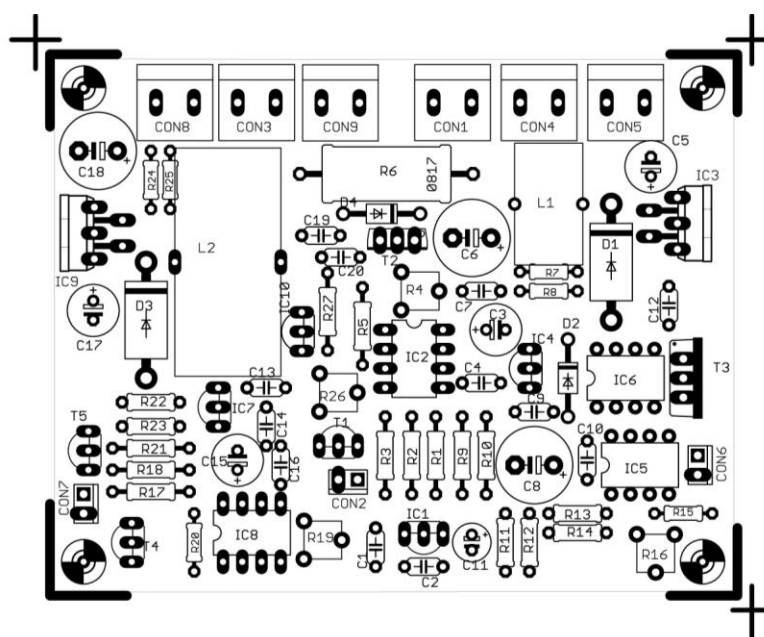
Rozměr desky 70\*90 [mm], měřítko M1:1

### C.3 Deska plošného spoje pro světla, čerpadlo a mlžič – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 70\*90 [mm], měřítko M1:1

### C.4 Osazovací výkres



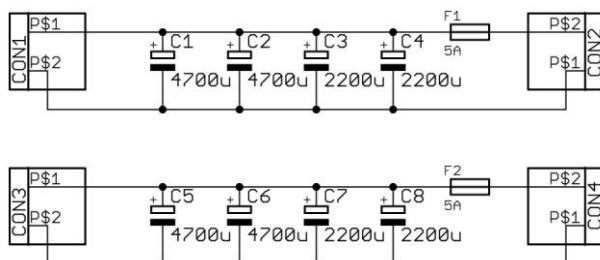
## C.5 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro	Poznámka
C1	1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C2	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C3	100u/25V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor
C4	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C5	100u/35V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C6	470u/35V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C7	1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C8	33u/35V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C9	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C10	5,6n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C11	33u/25V	E2-5	NEOSAZENO Elektrolytický kondenzátor
C12	1n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C13	1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C14	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C15	100u/25V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor
C16	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C17	100u/35V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C18	470u/35V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C19	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C20	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
CON1	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON2	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON3	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON4	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON5	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON6	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON7	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON8	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON9	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
D1	1N5822	DO201-15	Dioda
D2	1N4004	DO41-10	Dioda
D3	1N5822	DO201-15	Dioda
D4	1N4007	DO41-10	Dioda
IC1	78L09	TO92	Stabilizátor napětí
IC2	NE555	DIL-08	Časovač
IC3	LM2576_ADJ	TO220-5	Měnič DC/DC
IC4	LM317LZ	TO92	Stabilizátor napětí
IC5	LM833	DIL08	Operační zesilovač
IC6	IR4427	DIL08	Ovladač hradel
IC7	78L12	TO92	Stabilizátor napětí
IC8	NE555	DIL-08	Časovač

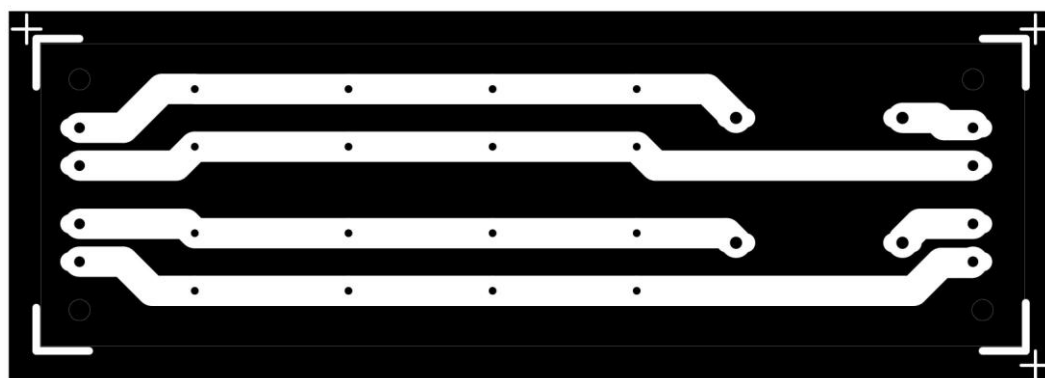
IC9	LM2576_ADJ	TO220-5	Měníč DC/DC
IC10	LM317LZ	TO92	Stabilizátor napětí
L1	330u		Cívka
L2	220u		Cívka
R1	6,2k	0207/10	Rezistor
R2	1k	0207/10	Rezistor
R3	10k	0207/10	Rezistor
R4	2500k	PT6V	Rezistorový trimr
R5	470R	0207/10	Rezistor
R6	1R2	P0817/22	Rezistor drátový
R7	10k	0204/7	Rezistor
R8	1k	0204/7	Rezistor
R9	8k2	0207/10	Rezistor
R10	1k	0207/10	Rezistor
R11	1k	0207/7	Rezistor
R12	3,3k	0207/7	Rezistor
R13	1k	0207/7	Rezistor
R14	1k	0207/7	Rezistor
R15	3k3	0204/7	Rezistor
R16	5k	PT6V	Rezistorový trimr
R17	6,2k	0207/10	Rezistor
R18	1k	0207/10	Rezistor
R19	2500k	PT6V	Rezistorový trimr
R20	10k	0204/7	Rezistor
R21	470R	0207/10	Rezistor
R22	12k	0207/7	Rezistor
R23	1,2k	0207/7	Rezistor
R24	8,2k	0204/7	Rezistor
R25	1k	0204/7	Rezistor
R26	5k	PT6V	Rezistorový trimr
R27	1k	0207/10	RESISTOR, European symbol
T1	2N5551	TO92	NPN Tranzistor
T2	BD237	TO126V	NPN Tranzistor
T3	IRF640_N	TO220	Unipolární tranzistor N
T4	2N5551	TO92	NPN Tranzistor
T5	2N5551	TO92	NPN Tranzistor

## D ZAPOJENÍ FILTRAČNÍCH KONDENZÁTORŮ

### D.1 Obvodové zapojení filtračních kondenzátorů

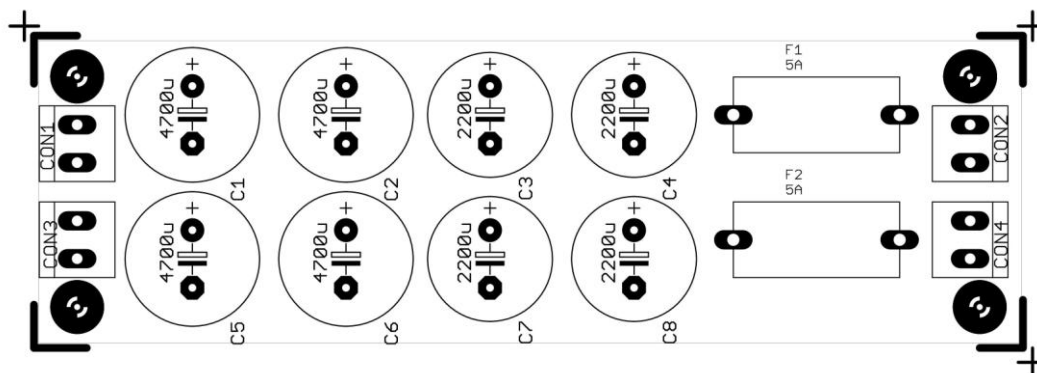


### D.2 Deska plošného spoje pro filtrační kondenzátory – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 130\*40 [mm], měřítko M1:1

### D.3 Osazovací výkres:



## D.4 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro	Poznámka
C1	4700u/35V	E7,5-18	Elektrolytický kondenzátor
C2	4700u/35V	E7,5-18	Elektrolytický kondenzátor
C3	2200u/35V	E7,5-16	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C4	2200u/35V	E7,5-16	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C5	4700u/35V	E7,5-18	Elektrolytický kondenzátor
C6	4700u/35V	E7,5-18	Elektrolytický kondenzátor
C7	2200u/35V	E7,5-16	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C8	2200u/35V	E7,5-16	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
CON1	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON2	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON3	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON4	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
F1	5A		Pojistkové pouzdro do DPS
F2	5A		Pojistkové pouzdro do DPS