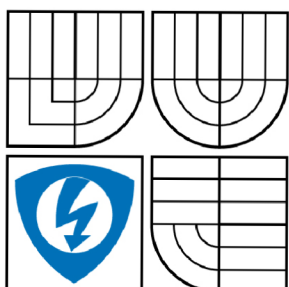


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## REGULACE TEPLoty TOPNÉHO TĚLESA TERMOČLÁNKEM

TEMPERATURE CONTROL OF HEATING ELEMENT WITH THERMOCOUPLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

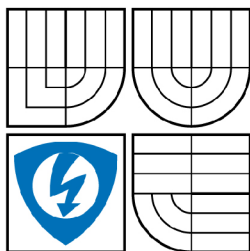
MICHAL SPÁČIL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF ŠANDERA, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Mikroelektronika a technologie**

**Student:** Michal Spáčil

**ID:** 83237

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2008/2009

## NÁZEV TÉMATU:

**Regulace teploty topného tělesa termočlánkem**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte obvodové řešení analogové regulace topného tělesa horkovzdušné pájky včetně indikace teploty. Pro měření teploty a regulaci použijte vhodný termočlánek. Realizujte funkční vzorek na plošném spoji.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

dle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 3.6.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Josef Šandera, Ph.D.

**prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Spáčil  
Bytem: Žerotín 125 okr Olomouce  
Narozen/a (datum a místo): 2.2.1984, Šternberk u Olomouce

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
Prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.  
(dále jen „nabyvatel“)

### Čl. 1

#### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Regulace teploty topného tělesa termočlánkem  
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Josef Šandera, Ph.D.  
Ústav: Ústav mikroelektroniky  
Datum obhajoby VŠKP: 12.6. 2009

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě – počet exemplářů 2
- elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

## Abstrakt:

Úkolem této práce je zpracovat a poté vyrobit systém který udržuje danou konstantní teplotu v daném prostoru případně daného materiálu(věci), v tomto případě je úkolem je vytvořit ovládací obvod pro výhřevný systém horkovzdušné pájky výkonu do 600W, s požadovaným nastavitelným teplotním rozsahem 150-500°C. Druhým úkolem je navrhnout toto zařízení s pokud možno nejjednodušším zapojením a nejmenším počtem součástek.

## Abstract:

Goal of this work is to develop and then build system that would keep constant temperature in a given place or that of a given material (item), in this case it would be control system for a hot air soldering station heater with output up to 600W, with required adjustable temperature range of 150-500°C. Second goal of this work is to develop and then build this device using possibly simplest wiring and as small amount of components as possible.

## Klíčová slova:

teplota do 500 C, termočlánek K, vhodný IO pro řízení, návrh plošného spoje

## Keywords:

temperature up to 500 C, thermocouple K, suitable IC for device, design of circuit board

## Bibliografická citace díla:

SPÁČIL, M *Regulace teploty topného tělesa termočlánkem-bakalářská práce.*  
Brno, 2009. 24 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Šandera, Ph.D.  
FEKT VUT v Brně

## Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. 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 jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

## Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Šanderovi, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na bakalářskou práci. Dále děkuji firmě Amtek spol. sro. za poskytnutí vzorků zdarma k realizaci experimentálních prací

# Obsah

1. Úvod.....	2
2. Vstupní člen-snímač teploty .....	3
2.1 Rozdělení teplotních snímačů.....	3
2.1.1 Bimetalový teplotní spínač .....	3
2.1.2 Termoelektrický článek .....	4
2.1.3 Termistor.....	5
2.1.4 Odporový teplotní senzor.....	5
2.1.5 Křemíkový teplotní senzor.....	6
2.2 Shrnutí teplotních senzorů .....	7
3. Sestavení návrhu .....	8
3.1 Linearizace.....	8
3.2 Regulace.....	9
3.3 Výkonová část.....	9
3.4 Regulace výkonu vzduchové pumpy .....	10
3.5 Indikace.....	10
3.6 Zdroj ss napětí.....	10
4. Provedení .....	11
4.1 Návrh plošného spoje.....	11
4.2 Popis konektorů .....	11
5. Závěr .....	12
Literatura.....	13
6. Přílohy.....	14
6.1 Seznam použitých součástí .....	14
6.2 Schémata.....	14
6.3 Návrhy desek .....	17
6.4 Osazovací výkresy .....	18

# 1. Úvod

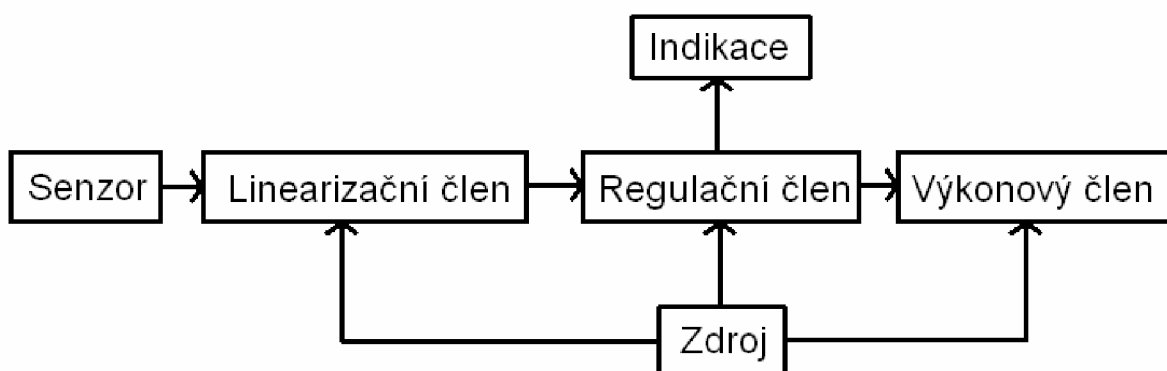
Naším cílem je vyrobit elektronické zařízení které bude udržovat horkovzdušnou pájku na nastavené teplotě a druhým cílem je pokusit se o co největší minimalizaci počtu součástek.

Realizace obvodového zapojení je možná různými způsoby na základě různých snímačů teploty a výkonových členů. Jejich základní rozložení je na obr. 1.1.

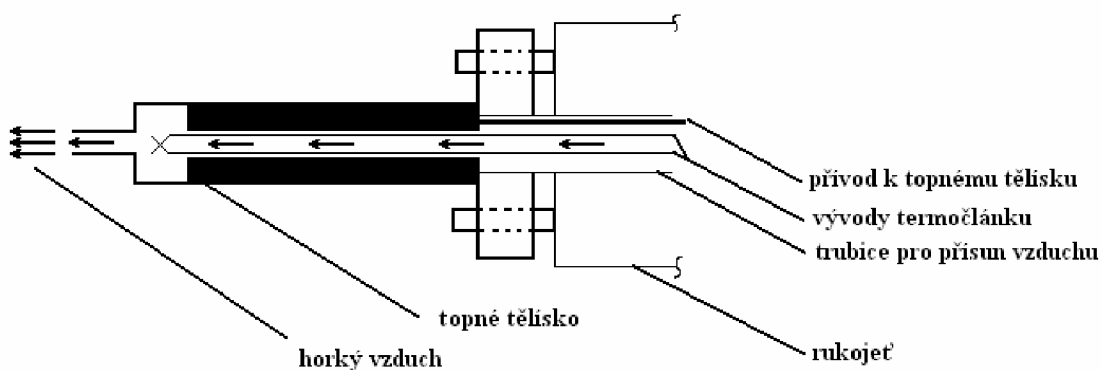
Problém nastává ve faktu, že prakticky neexistuje součástka která by byla schopna lineárního převodu teploty na napětí, proud, odpor nebo kapacitu. Existuje velký trh s linearizačními obvody které jsou schopny převést nelineární průběh senzoru na standardizovanou hodnotu  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  eventuálně jinou.

Další částí systému je regulační člen, ve kterém se nastavuje požadovaná teplota a který udržuje danou teplotu na senzoru. Hlavní součástí ovládacího členu je komparátor, který porovnává hodnotu zlinearizovaného napětí s napětím námi nastaveným a rozdíl těchto hodnot je poté předán k ovládnání výkonového členu.

Výkonový člen poté propouští větší či menší proud do zátěže (na obrázku 1.2) v závislosti na dodaném napětí.



Obr. 1.1: Blokové schéma obvodu



Obr. 1.2: průřez topným tělesem horkovzdušné pájky



## 2. Vstupní člen-snímač teploty

### 2.1 Rozdělení teplotních snímačů

Snímat teplotu můžeme několika základními způsoby. Jedním z možných rozdělení je podle typu výstupního signálu:

- Mechanicky
  - Bimetalový teplotní spínač
- Analogově
- Převodník teploty na napětí (proud)
  - Termoelektrický článek
  - Termistor
  - Odporový teplotní senzor
- Křemíkový teplotní senzor
- Digitálně - převodníkem teploty na binární číslo
  - Digitální teplotní senzor

#### 2.1.1 Bimetalový teplotní spínač

Jedná se pouze o jistý druh kontaktního spínače, nikoliv o teplotní čidlo. Bimetalový pásek pracuje na principu teplotní délkové roztažnosti kovů viz. rovnice (2.1)

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T \quad (2.1)$$

kde je

$\Delta l$	rozdíl délky kovového předmětu při rozdílu teplot $\Delta T$ [m]
$l_0$	délka kovového předmětu [m]
$\alpha$	součinitel teplotní délkové roztažnosti [-]
$\Delta T$	rozdíl teplot [K]

Při změně teploty se pásek ohýbá, jelikož je tvořen dvěma kovy s rozdílnou  $\alpha$ . Spínač bývá součástí elektrického obvodu, který se při jisté nastavitelné teplotě sepne (a nebo rozpojí). Tato změna průchodu proudu v obvodu vyvolá další činnosti s termostatem spojené. Konstrukčně lze rovněž nastavit hysterezi. Snímané teploty mohou být v intervalech až o velikosti řádově několika tisíců °C, záleží na druhu použitých slitin. K výrobě bimetalových spínačů se používají kovy a jejich slitiny: Fe, CuNi, NiCr, NiAl, aj.

Toto řešení se ještě stále používá, a to hlavně tam, kde není kladen důraz na přesnost měřené teploty, např. v pokojových termostatech, sporácích, žehličkách a nebo tam, kde je třeba regulovat při vysokých teplotách např. v těžkém průmyslu. [1]

Bimetalový teplotní spínač (v rozumných cenových relacích) není příliš vhodný a to především pro velké nepřesnosti se snímáním spojené. Jde o mechanický spínač, který stárne a oxiduje a při neustálých teplotních rozdílech by spínač neměl dlouhého trvání. Tento snímač tedy pro obvod není vhodný z důvodu neustálých změn teploty v řádu desítek až stovek stupňů.

## 2.1.2 Termoelektrický článek

Jednou z velmi používaných metod měření teplot s velmi širokými tepelnými intervaly je měření pomocí termočlánků. K převodu teploty na elektrické napětí se využívá termoelektrického jevu. Princip této metody tkví ve faktu, že přiložíme-li k sobě dva různé kovy, vznikne na nich rozdíl napětí, kterému se říká konstantní (stykový) potenciál. Ten je značně závislý právě na teplotě (2.2).

$$U_E = A + B\Delta T + C\Delta T^2 \quad (2.2)$$

kde je

$U_E$  termoelektrické napětí [V]

A, B, C konstanty závislé na použité dvojici kovů [-]

$\Delta T$  rozdíl teplot mezi oběma kovy [K]

Aktivní konec termočlánku se nazývá horký (měřicí), druhý konec je nazýván studeným a je nutné jej udržovat při konstantní teplotě. Výsledné termoelektrické napětí je dáno rozdílem napětí na horkém a studeném konci a bude-li dodržena dostatečná stabilita studeného konce bude výsledné termoelektrické napětí úměrné pouze teplotě na měřicím konci. Teplota studeného konce termočlánku bývá obvykle udržována na 0 °C, 20 °C, 25 °C, případně 50 °C a to vhodným termostatem nebo elektronicky. Závislost termoelektrického napětí termočlánku však není lineární a proto se jako termočlánky vybírají ty dvojice materiálů, které mají závislost termoelektrického napětí na teplotě v daném intervalu teplot co možná nejlineárnější, mají vysokou citlivost termoelektrického napětí, jsou fyzikálně stabilní, odolné v daném pracovním prostředí a dají se zpracovat na vodič potřebných rozměrů. Nejčastěji používané termočlánky jsou PtRh<sub>10</sub> (platinarhodium), NiCr<sub>10</sub> (niklchrom) a Fe-Cu<sub>55</sub>Ni<sub>45</sub> (konstantan). Tyto a některé další s nejdůležitějšími parametry jsou uvedeny v tab. 2.1. [1]

Tab. 2.1: Nejčastější materiály užívané pro termoelektrické články [1]

Termoelektrický článek	Teplotní interval [°C]	Citlivost (μV/°C)	Označení
Platina(6-30%)/ Rhodium	38 - 1800	7,7	B
Wolfram(5-26%)/Rhenium	0 - 2300	16	C
Chrom - Konstantan	0-982	76	E
Železo - Konstantan	0-760	55	J
Chrom - Hliník	-184 - 1260	39	K
Platina(13%)/Rhodium - Platina	0 - 1593	11,7	R
Platina(10%)/Rhodium - Platina	0 - 1538	10,4	S
Měď - Konstantan	-184 - 400	45	T

Výhodou termočlánků je možnost pracovat ve velmi širokém rozmezí teplot (při použití speciálních slitin až do 3000 °C). Pro náš účel je ale tato přednost poněkud zbytečná. Parametr, který od teplotního senzoru požadujeme je v první řadě přesnost a ta je přibližně 0,5 °C, což není mnoho, ovšem pro naše účel je dostačující. Má malou tepelnou kapacitu, malou tepelnou setrvačnost a možnosti realizace ve velmi malých rozměrech. Termočlánky jsou určeny především na speciální vysokoteplotní aplikace, kde velká přesnost není tou hlavní prioritou, což je náš případ.

Díky integraci jsou rovněž vyráběny obvody, které v sobě obsahují „studený konec“, dokáží jej regulovat a udržovat tak při stálé teplotě. Jedná se o monolitické nastavitelné regulátory, jako jsou např. AD594-597 určené pro termočlánky typu J/K, které vyrábí pouze Analog Devices.

### 2.1.3 Termistor

Termistory patří mezi odporové teplotní snímače a lze je realizovat ve velmi malých rozměrech. Měřicí rozsah se obvykle pohybuje od  $-60$  do  $+200$  °C. Podle provedení je rozdělujeme na tyčinkové, destičkové a perličkové, a podle závislosti napětí na teplotě na PTC (Positive Temperature Coefficient), NTC (Negative Temperature Coefficient). Závislost odporu na teplotě lze pro více užívaný NTC termistor popsat exponenciální funkcí (2.3).

$$R_t = R_{t_0}^{-BT \left( \frac{1}{t_0} - \frac{1}{t} \right)} \quad (2.3)$$

kde je

$R_t$  odpor termistoru při teplotě  $t$  [Ω]

$R_{t_0}$  odpor termistoru při teplotě  $t_0$  [Ω]

$BT$  materiálová konstanta (úměrná měrnému odporu materiálu) t[-]

Termistory jsou levné a pro svoje miniaturní rozměry je lze použít i na nesnadno přístupných místech. Díky velké teplotní citlivosti (není třeba výstupní veličinu příliš zesilovat) a nízké ceně lze navrhnout poměrně přesné a cenově přijatelné teplotní snímače dosahující přesnosti větší jak  $\pm 0,1$  °C.

Avšak úskalí použití termistoru je v tom, že jej nelze aplikovat na širší rozsahy teplot. Značná nelinearita průběhu popsaná exponenciální funkcí v praxi znatelně znemožňuje tímto teplotním čidlem měřit teplotu, aniž by nedošlo ke značnému ovlivnění chyby měření ve větším rozsahu teplot. Je proto nutné použít kompenzační obvody částečně potlačující tuto nežádoucí vlastnost. Dále platí, že se s časem se u termistorů mění jejich vlastnosti a tím pádem i jejich materiálová konstanta  $B_T$ . Toto by vyžadovalo časté kalibrování přístroje. [1]

Termistor je vhodným a velmi přesným snímačem pro řadu aplikací a to především cenou a jednoduchostí použití. Proti vypovídá značná nelinearita, malá odolnost vysokým teplotám a nestabilita v čase a tyto tři vlastnosti jsou také důvodem, proč nebude termistor užit. [1]

### 2.14 Odporový teplotní senzor

Tyto součástky využívají jednu ze základních fyzikálních vlastností kovů, kterou je závislost jejich měrného odporu na teplotě. Pod obecným názvem RTD (Resistance Temperature Detector) se skrývá celé odvětví těchto teplotních senzorů, a pod názvem PRTD (Platinum Resistance Temperature Detector) pak nejpoužívanější z nich, využívající změny měrného odporu platiny.

Závislost odporu odporových senzorů na teplotě ovšem není lineární, viz. výraz pro PRTD (2.4) níže, který je vyjádřen jako polynom 3. řádu. Pokud striktně nevyžadujeme vysokou přesnost v teplotách  $< 0$ °C můžeme si dovolit v úzkém intervalu mocninný člen 3. řádu zanedbat. Obecně pak říkáme, že platinový teplotní senzor mění svůj odpor s teplotou odpovídající polynomu 2. řádu.

$$p_t = p_{t_0} [1 + at_1 + bt_1^2 + c(t_1 - 100)] \quad (2.4)$$

kde je

$p_t$  měrný el. odpor teploměru při teplotě  $t_1$  [Ωm]

$p_{t_0}$  měrný el. odpor teploměru při teplotě  $0$ °C [Ωm]

$a$  lineární teplotní koeficient odporu [K<sup>-1</sup>]

$b$  kvadratický teplotní koeficient odporu [K<sup>-2</sup>]

$c$  mocninný teplotní koeficient 3.řádu [K<sup>-3</sup>]

(který se uvažuje pro teploty do  $0$  °C)

Mezi největší přednosti těchto odporů obecně patří jejich dlouhodobá stálost (což je dáno vlastnostmi použitého materiálu, nejčastěji Pt) a velmi široký rozsah měřitelných teplot, který sahá od -200 do +1000 °C s rezistivitou 20 - 20 kΩ. Rozdílem odporu mezi 100 °C a 0°C je pak nazýván tzv. odporový poměr. Tento poměr současně vyjadřuje jakost odporu odporového čidla (u platiny 0,385).

Určitou nevýhodou platinových odporových teploměrů je poměrně malá změna odporu při jednotkové změně teploty (je zhruba o řád menší než u termistorů), takže u přesných měření je zpravidla nutné používat můstkové měřicí metody. Nespornou výhodou oproti všem ostatním teplotním snímačům je přesně stanovený odpor čisté platiny v celém intervalu měřených hodnot, který se díky velmi stálým vlastnostem platiny v čase téměř nemění. Odporové teploměry se vyrábějí buďto jako ploché (tělísko tvoří plochá destička z tvrzeného papíru nebo slídy), nebo keramické. Důležitým parametrem je otřesuvzdornost, což je odolnost snímače vůči mechanickému chvění, které by mohlo mít za následek mechanické poškození měřicího odporu a tím by vneslo do měření jisté nepřesnosti. Pro výrobu se používají kovy jako je Cu, Ni, Balco (sloučenina Fe a Ni), Wo, Ir a Pt, viz. tabulka 2.1 níže.

Platinový odporový teplotní senzor je kvalitním snímačem teploty, neboť vykazuje velkou přesnost a stabilitu pro měření velkých intervalů teplot. Díky vlastnostem platiny patří mezi největší výhody tohoto senzoru tabulkově definovaný elektrický odpor odpovídající průběhu polynomu 2. řádu a definovaná přesnost pro všechny měřené teploty. Velká časová stabilita a chemická netečnost umožňují velmi přesné odhady chyb, a to v celém rozsahu působnosti teplotního čidla. [1]

Tab. 2.1: Materiály používané pro odporové teploměry[1]

Odporový teploměr	Teplotní interval [°C]	Odporový poměr [ $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ]	Poznámka
Platina	260 - 1000	0,385	dobrá linearita, stabilita
Měď	200 - 260	0,38	Copper 0.00427
Nikl	-630	0,672	špatná linearita
Balco (70 %Ni, 30 %Fe)	-330	0,46	levná výroba, špatná linearita
Wolfram	-1300		

čistota použité platiny. Vysokým procentuelním zastoupením čistého kovu lze dosáhnout hranice přesnosti 0,01 °C.

Platina je daleko nejpoužívanější materiál v regulaci obecně, a to proto, že ze všech ostatních RTD má závislost napětí na teplotě nejbližší k linearitě, široký rozsah měřených teplot a dlouhodobou funkčnost. Význam platinových teplotních čidel (PRTD) se stává více aktuální skrz široké použití jako velmi přesné tenkovrstvé odporové elementy. Cena nejhojněji používaného platinového RTD PT100 začíná na 200 Kč a končí na několika tisících Kč. Proti hovoří velikost senzoru v případě výroby jako samostatné součástky.

### 2.1.5 Křemíkový teplotní senzor

Jedná se o monokrystalický teplotní senzor využívající Zenerova jevu. Teplotní dioda pracuje v závěrném směru a stabilizuje napětí na určitou hodnotu, která se mění s teplotou. Největší výhodou těchto čidel je jejich lineární charakteristika - napětí je přímo úměrné absolutní teplotě. Charakteristika je dána pouze strmostí (např. 10 mV/°C pro LM335), což značně zjednodušuje konstrukci dalších prvků obvodu. Není tedy třeba žádné linearizace, pouze přesné reference se kterou se stabilizované napětí na diodě srovnává. Nevýhodou je pak velká odchylka od přesné hodnoty, která je 1°C (pro LM335) v celém rozsahu teplot a omezený interval teplot, které je senzor schopen snímat. Rozsah měřitelných teplot je zpravidla -55 až +150 °C, přičemž kalibrace při výrobě probíhá pro 25 °C. Výrobní technologií se ale nelze vyhnout určitým odchylkám od jmenovité hodnoty napětí.

Kompenzaci tohoto rozptylu řeší řada výrobců třetím vývodem z čidla, který se doporučuje zapojit přes přesný trimr na zem, a odchylku tak kompenzovat (obdobu kompenzace offsetu u operačních zesilovačů).

Zenerův jev se neobjevuje pouze u diod, ale i u jiných el. součástek obsahujících PN přechod. Jsou jimi např. tranzistory, konkrétně jejich přechod B-E. Příkladem může být integrované teplotní čidlo AD592 firmy Analog Devices, pracující jako zdroj proudu s výstupem úměrným absolutní teplotě.

Díky velmi snadné integraci je možnost do pouzdra teplotního snímače vměstnat číslicový modulátor, který by plnil funkci AD převodníku. Výstupní signál by pak, namísto napěťového či proudového charakteru, nabýval binárních hodnot. Odpadla by tak nutnost použití externího AD převodníku a vzorky by se mohly posílat na zpracování do řídicí jednotky - procesoru. Jako příklad uvedu obvody TMP03 (Analog Devices), DS18B20 (Dallas Semiconductors). Tyto IO obsahují vlastní programovatelnou paměť, až 16-ti bitové rozlišení a nevyžadují žádnou kalibraci. Komunikace zpravidla probíhá po sériové lince. Celková chyba pak záleží na typu obvodu a je zpravidla vyjádřena jako teplotní odchylka 0,5-2 °C v celém rozsahu teplot. [1]

Křemíkové teplotní senzory mají nespornou výhodu v jednoduchosti použití. A to ať se jedná pouze o lineární průběh, a nebo i o případnou digitalizaci přímo v pouzdře a binární komunikaci s externími periferiemi. Slabinou zůstává odklon od skutečné hodnoty měřené teploty a malý tepelný rozsah.

## 2.2 Shrnutí teplotních senzorů

Jako nevhodnější se jeví K-termočlánek a to pro svoji miniaturní velikost, teplotní rozsah a především teplotní odolnost. Konstrukce však bude vyžadovat linearizační člen, výběr je v tomto případě snadný neboť jak již bylo uvedeno výše jediná firma vyrábějící tyto linearizační obvody jako monolitický integrovaný čip je Analog Devices. Ze 4 nabízených variant nejlépe vyhovuje obvod AD597 který bude také použit pro návrh a výrobu našeho zařízení. Dále následuje shrnutí hlavních vlastností vyjmenovaných druhů teplotních senzorů z něhož je dobře patrné z jakého důvodu byl K-článek vybrán (viz. tab 2.2).

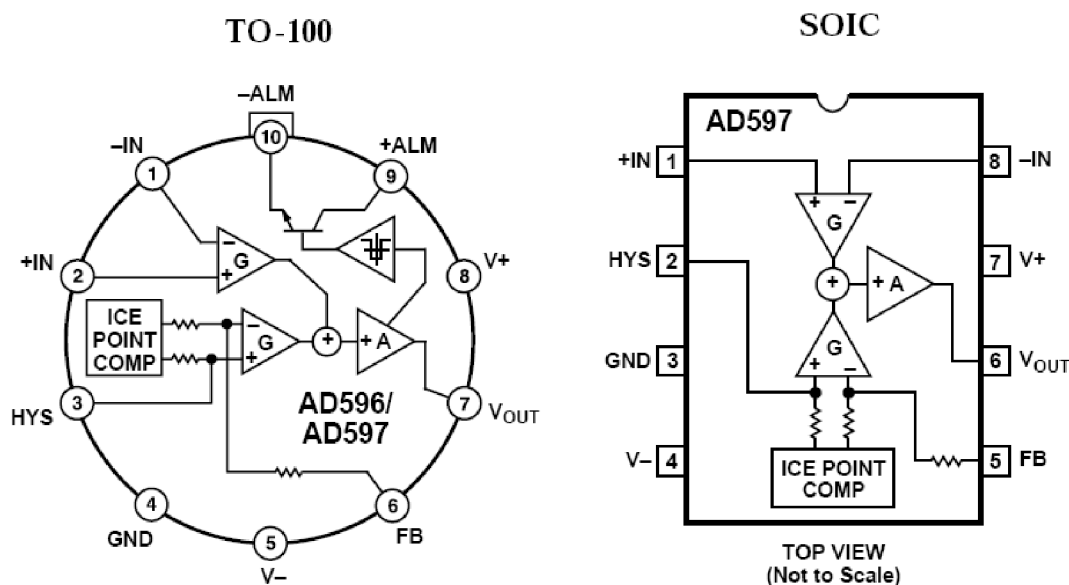
Tab. 2.2: Shrnutí parametrů teplotních senzorů [4]

	<b>Termoelektrický článek</b>	<b>Termistor</b>	<b>Odporový teplotní senzor - RTD</b>	<b>Integrovaný křemík</b>
Teplotní interval	-270- 1800 °C	-100- 450 °C	-250-900°C	-55- 150°C
Citlivost	desítky mV/°C	jednotky Ω/°C	3,58 μV/°C (proPt)	5- 20 mV/°C
Přesnost	±0,5 °C	±0,01 °C	±0,01 °C	±1 °C
Char. průběh	polynom 4. řádu	exponenciální	polynom 2. řádu	lineární závislost
Buzení	-	zdrojem U	zdrojem I	typicky zdrojem U
Forma výstupu	napětí	elektrický odpor	elektrický odpor	U, I nebo digitální
Orientační cena	podle typu cca od 300 Kč do několika tisíc Kč	od 10 Kč	podle jakosti Pt od 200 Kč	100 Kč- 500 Kč od 200 Kč

# 3. Sestavení návrhu

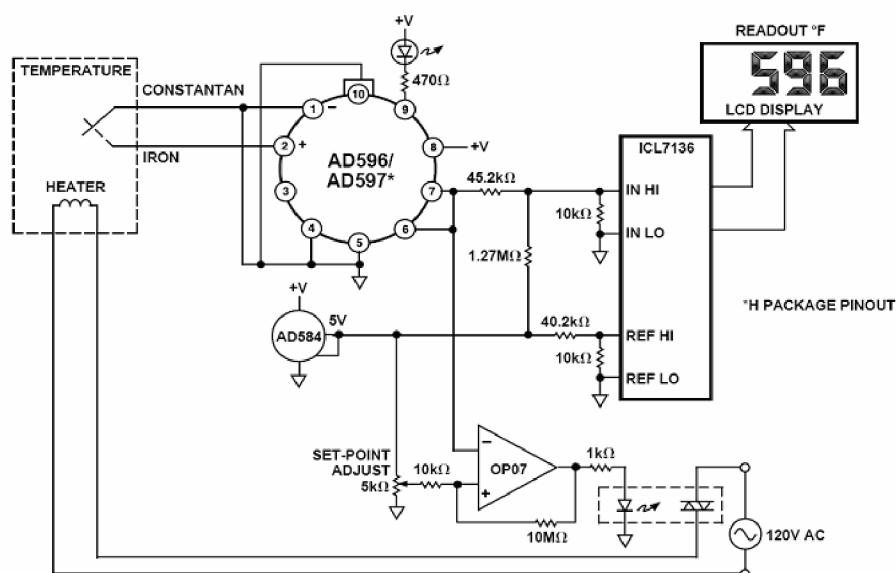
## 3.1 Linearizace

Vzhledem k tomu, že byl vybrán termočlánek jako snímač teploty je nutno použít, jak již bylo zmíněno výše, obvod AD597 firmy Analog Devices pro K-thermočláanky. Viz. obrázek 3.1.1 a 3.1.2. [2]



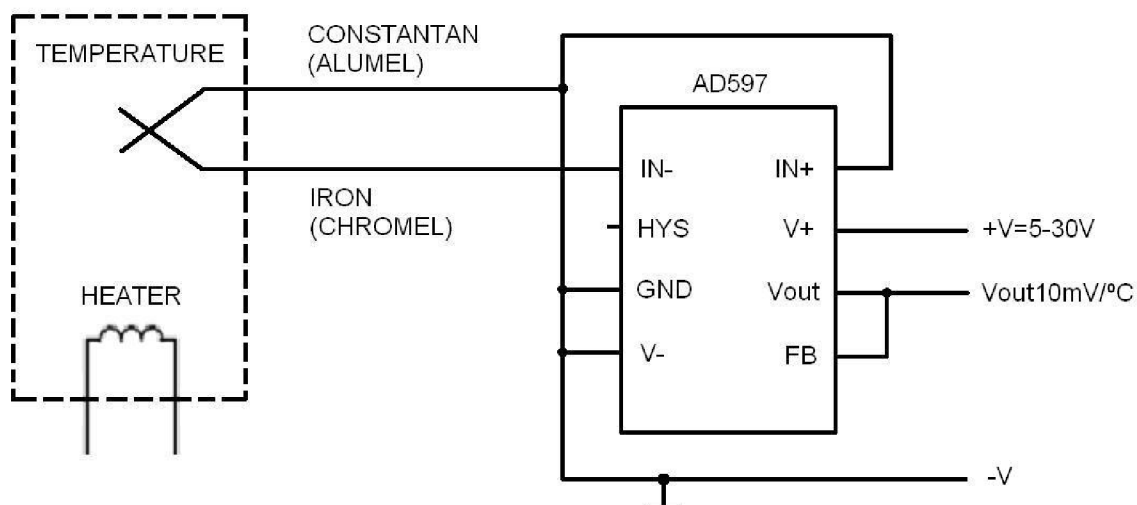
Obr. 3.1.1: Funkční blokový diagram

Při návrhu linearizačního členu bylo nahlédnuto k doporučenému zapojení z datasheetu k obvodu AD597. Viz. obrázek 3.1.2



Obr. 3.1.2: Základní zapojení obvodu jako termostatu[2]

Toto zapojení bylo poté upraveno na jednoduchý linearizační převodník na jehož výstupu je lineárně 10,mV/°C viz. obrázek 3.1.3.



Obr. 3.1.3: Návrh zapojení převodního obvodu

## 3.2 Regulace

Veškeré použité součástky jsou blíže uvedeny v přílohách 6.1 a schémata jsou uvedena v příloze 6.2 Regulace systému spočívá v jednoduchém komparátoru který porovnává napětí mezi linearizačním obvodem a děličem napětí, kterým nastavujeme požadovanou teplotu. Dělič je realizovaný rezistory R3, R4, R5, R6 a potenciometrem P1. Změnou rezistorů R3 a R4 lze měnit meze nastavené teploty a dělič byl navržen pro možnost nastavení teplot od 200 po 500°C Rezistory R5 a R6 musí zůstat v poměru 1:100 stejně jako dělič tvořený R1 a R2 dodávají signál pro display. Komparátor tvořený OZ. LM741 porovnává napětí z děliče ku napětí linearizačního obvodu AD597 a sepne se v případě když napětí na děliči je větší než napětí na výstupu obvodu AD597. Toto napětí je poté použito pro spuštění výkonové části.

## 3.3 Výkonová část

Požadavek na výkonovou část byl ,že i při poruše se nesmí obvod dostat do styku s vysokým napětím, to vedlo k vytvoření zapojení s oddělovacím optotriakem.

Výkonová část tedy spočívá v oddělovacím optotriaku s detekcí průchodu nulou MOC3041 který spouští přes dělič tvořený Rezistory R9 a R10 výkonový triak. Napětí na vstupu je nastaveno rezistorem R8.

Dělič je navržen tak aby při spuštění propouštěl pouze proud na který je optotriak navržen a vytvářel na rezistoru R10 napětí potřebné ke spuštění výkonového triaku.

U výkonového triaku je nutno dávat pozor na polaritu vývodů neboť při opačném zapojení rezistor R10 shoří.

### 3.4 Regulace výkonu vzduchové pumpy

Pro regulaci výkonu jsem použil základní zapojení pro diak z datasheetu firmy Semtech electronics ltd.[3]. Toto zapojení jsem poté přizpůsobil aby pracovalo vzhledem k požadavkům pro vzduchovou pumpu. Požadavek na pumpu byla plynulá regulace a nemožnost ji vypnout, neboť to by způsobilo spálení topné spirály horkovzdušné pájky. Zapojení pracuje na principu zvyšování napětí na kondenzátoru C1 při dodávání proudu přes potenciometr P2, když toto napětí poté přesáhne spínacího napětí diaku D2, ten se otevře a spustí tak výkonový triak D3. Proud omezený potenciometrem P2 nám tak udává zpoždění které odebírá část periody proudu jdoucího do zátěže.

### 3.5 Indikace

Jako indikátor Teploty byl podle doporučení vedoucího práce použit integrovaný panelový voltmetr s rozsahem 200mV a přesností 0,1mV PM129A-1 který svou velikostí odpovídá již existujícímu rámečku v čelním panelu pájky. Přez tlačítkový přepínač je k němu přivedeno napětí z děličů R1,R2 a R4,R5 které redukuje převodní charakteristiku z 10mV/°C na 1mV/°C.

V chodu přístroje tak display udává teplotu vzduchu vycházejícího z hubice pájky a při stisku tlačítka teplotu nastavenou potenciometrem P1. Dalším indikátorem je LED dioda D1 která udává funkci nebo klidový stav ohřevu pájky.

### 3.6 Zdroj ss napětí

Poslední částí je stabilizovaný zdroj zdroj 10V ss napětí. Zdroj sestává z 12V transformátoru stabilizátoru D4 a dvou párů filtrovacích kondenzátorů C1,C2 a C3,C4 na jeho vstupech.

Díky faktu, že napětí v obvodu ovlivňuje pouze rozsah nastavitelných hodnot nebylo třeba zdroj navrhovat přesný, zato bylo potřeba aby byl stabilní, proto jsem použil pro C1 a C4 1000uF a doporučený pár C2 a C3 30 nF kondenzátorů pro zamezení kmitání stabilizátoru.



# 4. Provedení

## 4.1 Návrh plošného spoje

Návrh plošného spoje byl zadán jako náhrada za elektronické komponenty již existující horkovzdušné pájky SUNKO čínské výroby neboť byly vysoce poruchové.

Zařízení bylo proto rozděleno do dvou částí, části regulační která je připevněna k čelnímu panelu zprostředkovávající ovládání a indikaci, dále části výkonové, obsahující zdroj a výkonovou část pro regulaci ohřevu.

Vzhledem k faktu, že je na zařízení použito mnohem méně součástek byly rozměry plošného spoje zmenšeny a pro zvýšení dostupnosti komponent bylo převedeno z části do technologie SMD. U výkonových částí pracujících se síťovým napětím již tento převod nebyl možný tudíž bylo zařízení koncipováno jako jednostranný plošný spoj s kombinovaným osazením.

Dále dle požadavku vedoucího práce byl plošný spoj regulační část navržen tak aby byl v případě potřeby rozdělitelný na regulátor teploty a samostatný plynulý regulátor výkonu. Konektory na desce byly navrženy jako dvojité pro případ, že by se podařilo získat originální a kompatibilní konektory pro již existující konektory u ostatních zařízení.

## 4.2 Popis konektorů

Regulační část:

Konektor 1 připojen k termočlátku (pozor termočlánek je polarizovaný)

Konektor 2 výstup k panelovém voltmetru pin 1 je – napájecí napětí, pin 2 je + napájecí napětí, pin 3 je vstup z přepínače.

Konektor 3 výstup pro připojení přepínače kde pin 2 a 3 jsou vstupy a pin 1 výstup

Konektor 4 napájení pin 1 vstup+ pin 3 vstup-

Konektor 5 výstup k propojení s výkonovou částí pin 1 + pin 3 –

Konektor 6 vstup 220V není polarizovaný

Konektor 7 výstup pro připojení vzduchové pumpy není polarizovaný

Výkonová část:

Konektor 8 vstup výkonové části ohřevu pin 1 + pin 3 –

Konektor 9 výstup stabilizovaného napětí pin 1 + pin 3 –

Konektor 10 vstup síťového napětí

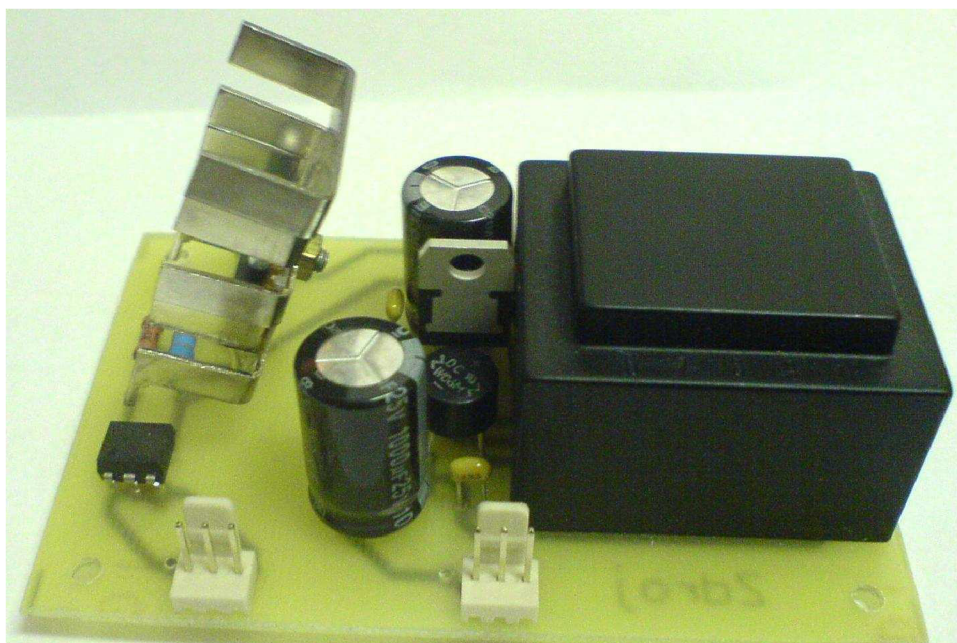
## 5. Závěr

Návrh tohoto zařízení je pokračování mého semestrálního projektu. V jeho rámci se mi podařilo zapojení učinit mnohem menší, jednodušší a rozšířit ho i o ostatní funkce které horkovzdušná pájka požaduje. Byl vyroben a odzkoušen prototyp který upozornil na některé chyby v návrhu, tyto chyby byly napraveny a zařízení je tedy připraveno k výrobě.

Obrázky hotového výrobku jsou v příloze 6.5. Zařízení bylo testováno a plní svůj účel velmi spolehlivě a přesně. Poruchovost odhaduji velice nízkou neboť veškeré komponenty jsou mírně předdimenzovány a i pokud porucha nastane lze ji velice snadno nalézt a opravit neboť při poruše kteréhokoli komponentu namůže nastat poškození komponent ostatních. Nejmenší spolehlivost odhaduji v hlavním topném tělese neboť teplotní výkyvy jej časem mohou poškodit. I v případě poruchy termočlánku jde o jedinou komponentu která se musí vyměnit neboť je v topném tělese pevně zabudována.



Obr. 5.1. Hotový výrobek Regulační část



Obr. 5.2. Hotový výrobek Regulační část

## Literatura

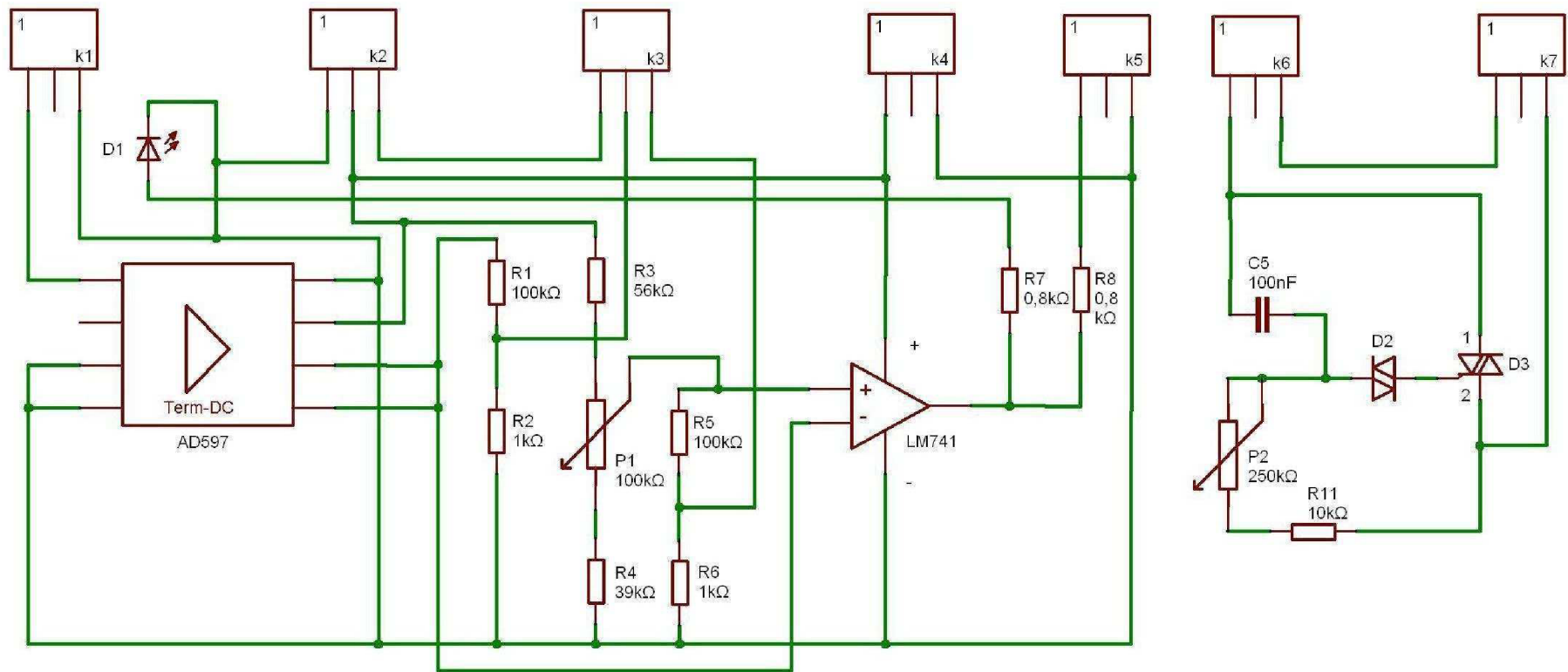
- [1] Bc. Petr Snopek : Bc projekt-Přesný termostat 2006
- [2] AD594-AD597– Analog Devices Data Sheets, Analog Devices, U.S.A.  
<http://www.analog.com/>
- [3] BD3,BD4 – silicon bidirectional diacs, Semtech Electronics ltd.  
<http://www.semtech.com/>
- [4] Internetové obchody s el. součástkami GME, SOS,BUČEK elektrosoučástky dostupné z WWW  
<http://www.gme.cz>  
<http://www.soselectronic.cz/index.php?lang=cz>  
<http://bucek.name>
- [6] ČSN 33 2000-4-47 (332000) Elektrotechnické předpisy - Elektrická zařízení - Část 4: Bezpečnost - Kapitola 47 Oddíl 471: Opatření k zajištění ochrany před úrazem elektrickým proudem

# 6. Přílohy

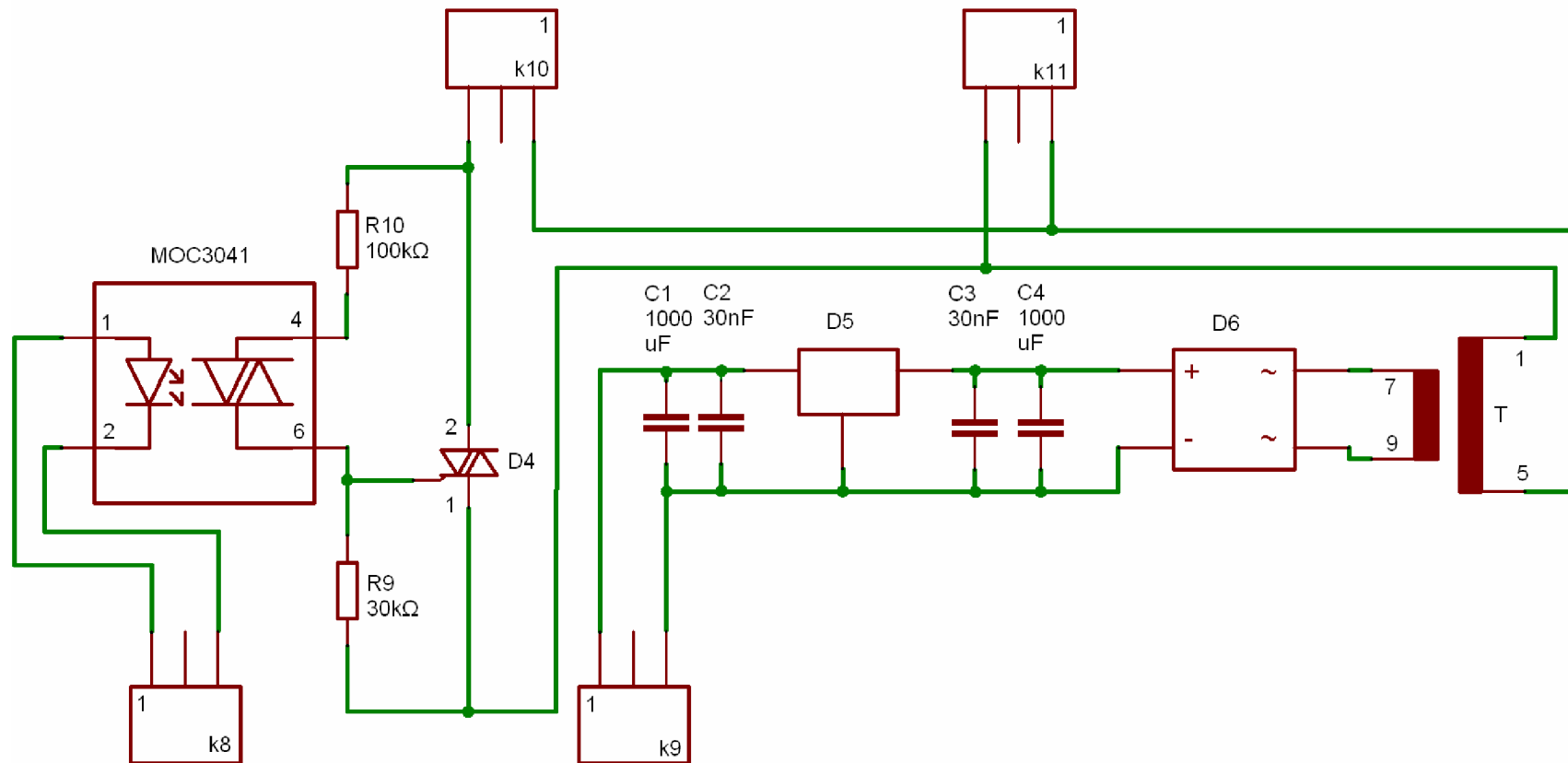
## 6.1 Seznam použitých součástek

R1,R5	100k $\Omega$	smd 1206
R2,R6	1k $\Omega$	smd 1206
R3	56k $\Omega$	smd 1206
R4	39k $\Omega$	smd 1206
R7,R8	800 $\Omega$	smd 1206
R9	30k $\Omega$	2W
R10	100k $\Omega$	2W
R11	10k $\Omega$	2W
C1,C4	1000 $\mu$ F	25V
C2,C3	30nF	25V
C5	100nF	300V
IO1	AD597AR	
IO2	LM741SMD	
P1	PC16MLK100	
P2	PC16MLK250	
D1	L-3P90	R
D2	DB3 diak	
D3,D4	TIC206M	
D5	7810	
D6	B250C1500	gretz
T	TRHEI304-1X12	

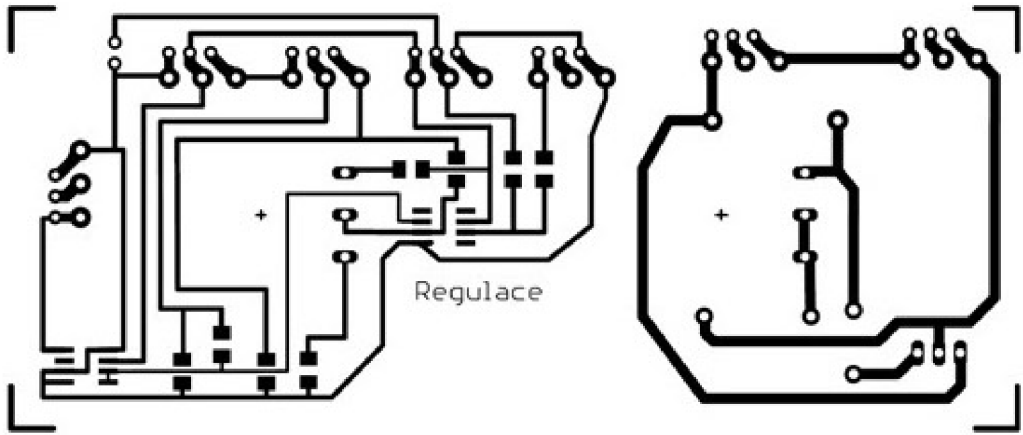
## 6.2 Schémata



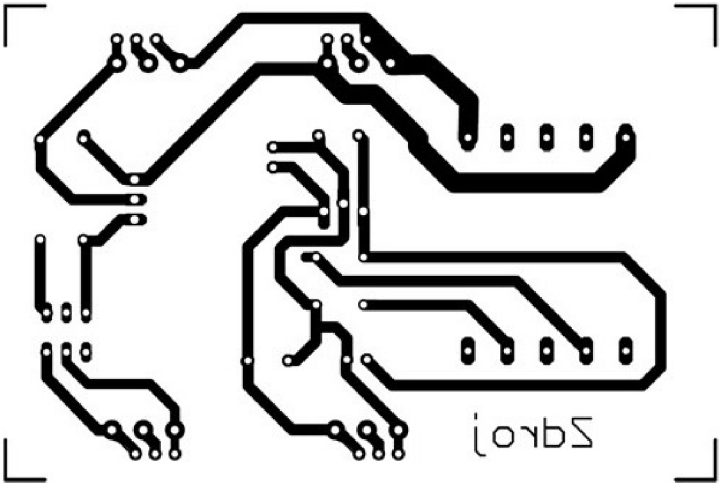
Obrázek 6.2.1 Schéma regulační části



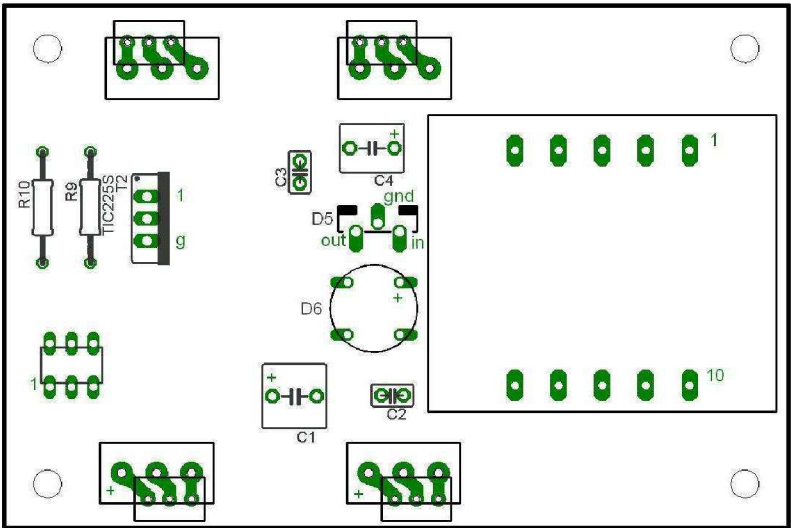
Obrázek 6.2.2 Schéma Výkonové části



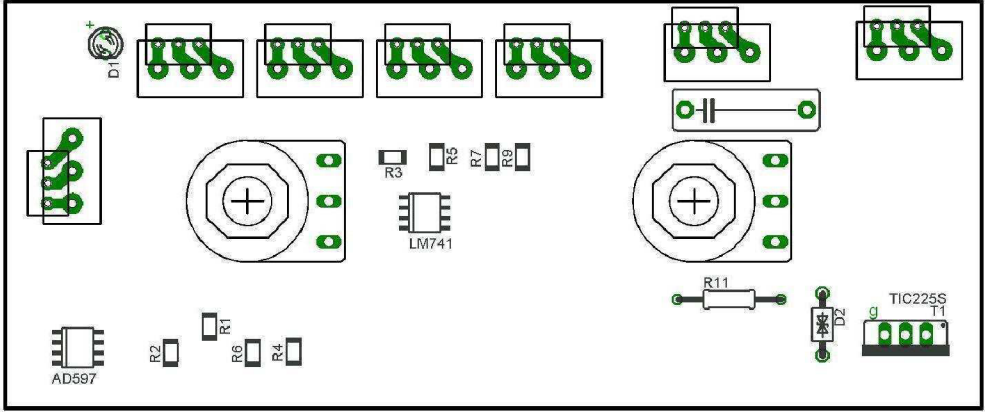
Obrázek 6.3.1 Deska Regulace



Obrázek 6.3.2 Deska Zdroj



Obrázek 6.4.2 Osazovací Deska Zdroj



Obrázek 6.4.1 Osazovací Deska Regulace