

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Pájecí stanice řízená mikropočítačem**

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku stavby pájecí stanice, jejíž práce je řízena pomocí mikropočítače. Po přehledu pájecích stanic dostupných na českém trhu jsou porovnána jejich pájecí pera, která můžeme zakoupit jako náhradní díl k dané stanici, podle základních parametrů, které je nutné znát pro přizpůsobení elektroniky a následnou správnou práci pájecího pera. Dále jsou teoreticky popsány způsoby napájení elektronických zařízení, jejich konstrukce a vlastnosti, podle nichž je zvolen způsob napájení pájecí stanice.

Následně je popsán postup při tvorbě pájecí stanice, kde jsou popsány základní komponenty použité pro ovládání stanice, zobrazení hodnot a metoda vyhřívání hrotu pájecího pera. Je podrobně popsán postup tvorby schématu, kdy jsou vysvětleny všechny součásti obvodu, a samotná výroba plošného spoje řídicí i výkonové elektroniky. Dále je popsán program, řídící pájecí stanici, a návrh a realizace konstrukčního boxu pro elektroniku pájecí stanice. Pájecí stanice je poté zkonstruována a dále je vyhodnocena její funkčnost.

## **Klíčová slova**

Pájecí stanice, jednočipový mikropočítač, pájecí pero, LCD displej

## **Abstract**

This bachelor's thesis is focused on the issue of constructing a soldering station, whose operation is controlled by a microcontroller. After reviewing soldering stations available on the Czech and European markets, the soldering pens, which can be bought as spare parts for the given station, are compared by basic parameters important for adapting the electronics and followed by right operation of the soldering pen. Further on, options of powering the electronic devices are theoretically described, their constructions and features, according to which the type of the powering soldering station is chosen.

Subsequently, the process of building the soldering station, including basic components used for controlling the station, display of values and a method of heating the solder tip are described. The process of creating the scheme is described in detail; all parts of circuits and production of PCB control and power electronic itself are explained. Description of a program controlling the soldering station, the design and realization of the construction box for electronics of the soldering station follows. The final functionality and accuracy of the temperature setting is documented by the means of measuring carried on the final product.

## **Key words**

Soldering Station, microcontroller, soldering pen, LCD display



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 5.6.2015

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Luďkovi Elisoovi za praktické připomínky, cenné rady a metodické vedení práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>1</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>1</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>1 PŘEHLED ZAŘÍZENÍ NA TRHU</b> .....	<b>3</b>
1.1 ZDROJE NAPĚTÍ V PÁJECÍCH STANICÍCH .....	3
1.1.1 <i>Spojitě regulované zdroje napětí</i> .....	3
1.1.2 <i>Spínané zdroje napětí</i> .....	7
1.2 PÁJECÍ PERA V PÁJECÍCH STANICÍCH .....	9
1.2.1 <i>Výkony pájecích per</i> .....	9
1.2.2 <i>Napájení pájecích per</i> .....	9
1.2.3 <i>Typy snímání teploty hrotu</i> .....	10
1.2.4 <i>Příklady dostupných per</i> .....	12
<b>2 VLASTNÍ KONSTRUKCE PÁJECÍ STANICE</b> .....	<b>14</b>
2.1 CÍLE PRO KONSTRUKCI PÁJECÍ STANICE .....	14
2.2 HLAVNÍ KOMPONENTY POUŽITÉ PŘI STAVBĚ PÁJECÍ STANICE .....	14
2.2.1 <i>Mikropočítač</i> .....	14
2.2.2 <i>Displej</i> .....	15
2.2.3 <i>Transformátor</i> .....	16
2.2.4 <i>Pájecí pero</i> .....	16
2.2.5 <i>Stand-by režim</i> .....	16
2.2.6 <i>Ovládací prvky</i> .....	17
2.3 SCHÉMA A NÁVRH DPS .....	18
2.3.1 <i>Schéma Pájecí stanice</i> .....	18
2.3.2 <i>Návrh a realizace DPS</i> .....	23
2.4 POPIS PROGRAMU PÁJECÍ STANICE .....	23
2.5 KONSTRUKCE BOXU PRO PÁJECÍ STANICI .....	26
<b>3 ZÁVĚR</b> .....	<b>27</b>
<b>4 POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>28</b>
<b>5 PŘÍLOHY</b> .....	<b>30</b>

# Seznam symbolů a zkratek

## Symboly

$A$	Zesílení
$C$	Kondenzátor
$^{\circ}C$	Stupně Celsia
$f$	Frekvence
$Hz$	Hertz
$I$	Proud
$I_1$	Proud primárního vinutí
$I_2$	Proud sekundárního vinutí
$k$	Převod transformátoru
$kB$	Kilobajt
$mm$	Milimetr
$N_1$	Počet závitů primárního vinutí
$N_2$	Počet závitů sekundárního vinutí
$Q$	Náboj
$R_d$	Dynamický odpor
$R_s$	Statický odpor
$U_1$	Napětí primárního vinutí
$U_2$	Napětí sekundárního vinutí
$U_{GS}$	Napětí mezi drainem a sourcem tranzistoru
$U_d$	Diferenční napětí
$U_{max}$	Maximální napětí
$U_{min}$	Minimální napětí
$U_{sek}$	Sekundární napětí
$U_{vst}$	Vstupní napětí
$VA$	Voltampér
$V$	Volt
$W$	Watt



## Zkratky

<i>ADC</i>	Analog digital converter	Analogově digitální převodník
<i>C</i>	Capacitor	Kondenzátor
<i>D</i>	Diode	Dioda
<i>DIN</i>	Type of connector	Typ konektoru
<i>DPS</i>	Printed circuit board	Deska plošných spojů
<i>F</i>	Filter	Filtr
<i>L</i>	Coil	Cívka
<i>LCD</i>	Liquid crystal display	Displej z tekutých krystalů
<i>LED</i>	Light emitting diode	Dioda emitující světlo
<i>MCU</i>	Microcontroller unit	Mikrokontrolér, mikropočítač
<i>OZ</i>	Operating amplifier	Operační zesilovač
<i>PWM</i>	Pulse – wide modulation	Pulzně šířková modulace
<i>Q</i>	Quantity of charge	Náboj
<i>R</i>	Resistor	Rezistor
<i>RAM</i>	Random-access memory	Paměť s libovolným přístupem
<i>ST</i>	Stabilization	Stabilizátor
<i>T</i>	Transistor	Tranzistor
<i>TR</i>	Transformer	Transformátor
<i>US</i>	Rectifier	Usměrňovač
<i>SPI</i>	Serial port interface	Port sériové komunikace

## Úvod

Pájecí stanice a páječky jsou zařízení určené pro ruční pájení elektronických součástek na desku plošných spojů, pro jejich odpájení, pocínování a spojení vodičů pájkou apod. Pokud si chceme zakoupit páječku, vždy si musíme uvědomit kterou páječku, či pájecí stanici si zvolit, aby ideálně vyhovovala našim požadavkům a potřebám. Dnešní trh nabízí mnoho typů páječek, či pájecích stanic v různých cenových relacích, které se dají rozdělit do několika základních kategorií.

Transformátorová páječka, zvaná též pistolová, se řadí mezi nejzákladnější přístroj pro pájení. Je tvořena pouze vypínačem umístěným na primárním vinutí transformátoru, samotným transformátorem a pájecí smyčkou. Využívá rozžhavení pájecí smyčky přeměnou síťového napětí na nižší napětí s vysokou amplitudou proudu. S cenou v řádu několika stokorun je pistolová páječka lehce dostupná, avšak tento přístroj není příliš vhodný pro pájení desek plošných spojů.

Další možností je zakoupit si pájecí pero. Jako kontaktní plocha pro styk s pájkou je zde použit vyměnitelný pájecí hrot vyrobený z mědi nebo jejích slitin, mající dobrou teplotní vodivost pro roztavení pájky, s legovaným povrchem. Jeho nejlevnější varianta s cenou začínající kolem 200 korun, je pouhým pájecím perem s topným tělískem připojeným přímo na síťové napětí. Hrot dosáhne provozní teploty během několika desítek sekund, a tuto teplotu si udržuje po celou dobu práce. Tuto teplotu si ale nelze zvolit podle potřeby, pokud na těle pera přidán měnič napětí. Tyto pera mají cenu o několik set korun vyšší, a v předdefinovaných krocích umožňuje nastavení teploty hrotu. Avšak ne vždy nám nabízené teploty mohou ideálně vyhovovat, a udávaná teplota se může od té skutečné na hrotu páječky lišit až o 10 stupňů Celsia. Pero totiž neobsahuje žádnou možnost zpětné kontroly skutečné teploty hrotu.

Pájecí stanice oproti samotnému síťovému peru má pero připojené k dokovací stanici, která může mít mnoho nabízených provedení. Základ tvoří tělo pájecí stanice ukrývající řídicí obvody pro vyhřívání připojeného pájecího pera, ovládací prvky stanice a často také přehledný displej zobrazující důležité informace. Pero používané s pájecí stanicí má v sobě uložen snímač teploty hrotu, který je zpětnou vazbou pro kontrolu výhřevu pera. Nejlevnější pájecí stanice se opět začínají prodávat v cenové relaci několika stovek korun, tyto stanice ovšem mívají pouze analogovou regulaci teploty bez zobrazení teploty, a nastavení je tedy poměrně nepřesné. Cena profesionálních stanic se může ovšem vyšplhat až k několika

tisícům, čímž již nemusí být přijatelnou volbou pro příležitostného uživatele. Mohou navíc obsahovat doplňkové vlastnosti příjemné pro dlouhodobou práci se stanicí, například vypnutí stanice při delší nečinnosti apod.

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s dostupnými pájecími stanicemi dostupnými na trhu, prostudovat jakými parametry se od sebe navzájem liší různé druhy použitých pájecích per a použité zdroje napětí. Následně si ze získaných poznatků zvolit některé pájecí pero a to použít ke stavbě vlastní pájecí stanice, dosahující vyšších parametrů kvality. Bylo by vhodné, aby stanice obsahovala přehledný displej, jednoduché a přehledné ovládání, a nastavení peloty bylo maximálně přesné, s nepřesností maximálně v jednotkách stupňů. To vše za dodržení ekonomického pohledu na stavbu, čili aby cena konstruované stanice nebyla vyšší než cena srovnatelných stanic dostupných v obchodech. Stavbou podobných konstrukcí se zabývá mnoho lidí, inspiraci pro vlastní návrh můžeme vzít například od autorů [1], [2], či [3]. Tyto pájecí stanice jsou ukázkami konstrukcí domácích pájecích stanic, z jejichž práce se můžeme i inspirovat.

# 1 Přehled zařízení na trhu

Současný trh obsahuje značné množství pájecích stanic různých výrobců, cenových hladin i kvality používání. Běžný uživatel by se při koupi pájecí stanice měl zaměřit na tyto parametry:

- Typ pájecího pera
- Možnosti nastavení požadované teploty
- Možnosti zobrazení teploty
- Výkon pájecí stanice/ pájecího pera

Pokud se rozhodneme postavit si vlastní pájecí stanici, pak o přesnosti nastavení teploty i jejím zobrazení rozhodneme my. Je ovšem velice vhodné zakoupit některé z dostupných per pro komerční pájecí stanice, jelikož jejich výroba je velice náročná a finančně by se nám jistě nevyplatila. Navíc je vhodné si předem promyslet, jaký způsob napájení chceme použít.

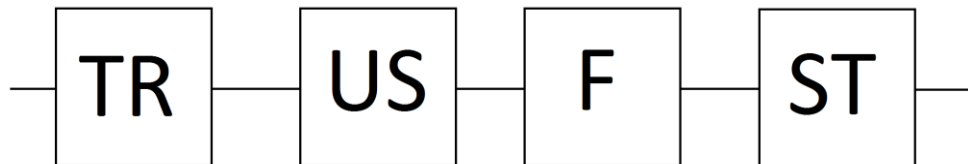
## 1.1 Zdroje napětí v pájecích stanicích

V dnešní době existují dva základní typy napájecích obvodů – spínané zdroje a spojitě regulované zdroje.

Každý z těchto typu má určité specifické vlastnosti, které si nyní přiblížíme.

### 1.1.1 Spojitě regulované zdroje napětí

Spojitě regulované zdroje, či jak jsou označovány autorem [5] lineární zdroje stejnosměrného napětí, jsou starší typy zdrojů, které jsou však i dnes hojně využívány. Jejich konstrukce je poměrně jednoduchá, například pro audiotechniku jsou nenahraditelné. Lineárními zdroji jsou nazývány, jelikož po celou dobu pracují se spojitým signálem. V blokovém schématu na Obr. 1 jsou popsány základní části tohoto zdroje, které si nyní popíšeme a poté i detailněji rozebereme.



Obr. 1: Blokové schéma lineárního zdroje

Prvním stupněm je transformátor TR, který změní velikost síťového napětí na námi požadovanou velikost. Vzhledem k tomu že se transformuje frekvence sítě (50 Hz), velikost jádra transformátoru je značně větší než uvnitř spínaného zdroje. Ta je poté v bloku US usměrněna nejčastěji pomocí diodového můstku, eventuálně může být použit jiný druh usměrňovače. [5]

Již usměrněné napětí však stále nemá ustálenou hodnotu napětí, tu je ještě potřeba vyhladit. K tomu slouží filtr F, nejčastěji zhotoven pomocí elektrolytickému kondenzátoru. Ten se během náběhu napětí na výstupu usměrňovače nabíjí nábojem Q, jehož velikost je potom dodávána do obvodu po poklesu napětí na usměrňovači. Tím dosáhneme snížení poklesu napětí, díky čemuž můžeme využít stabilizační obvody (ST), které můžeme buďto sestavit z jednotlivých komponentů, nebo je zakoupit již jako integrovanou součástku. [5]

Tyto zdroje napětí jsou snadno vyrobitelné i v domácích podmínkách, vzhledem k jejich jednoduchosti a množství použitých součástek, avšak hmotnost použitého transformátoru a celková účinnost (cca 30%) zapříčinila pokles jeho komerčního použití. V audiotechnice jsou

však tyto zdroje nenahraditelné, právě díky lineárnímu průběhu napětí a nevnikání vyšších harmonických do výstupního signálu. Jejich zvlnění výstupního napětí je navíc při použití zátěže impulsního charakteru mnohem menší, než při použití spínaného zdroje. To je zapříčiněno stálou kontrolou výstupního napětí pomocí zpětnovazební smyčky. Nyní si ale blíže přiblížíme volbu jednotlivých částí zdroje pro jeho konstrukci. [5]

### 1.1.1.1 Transformátor

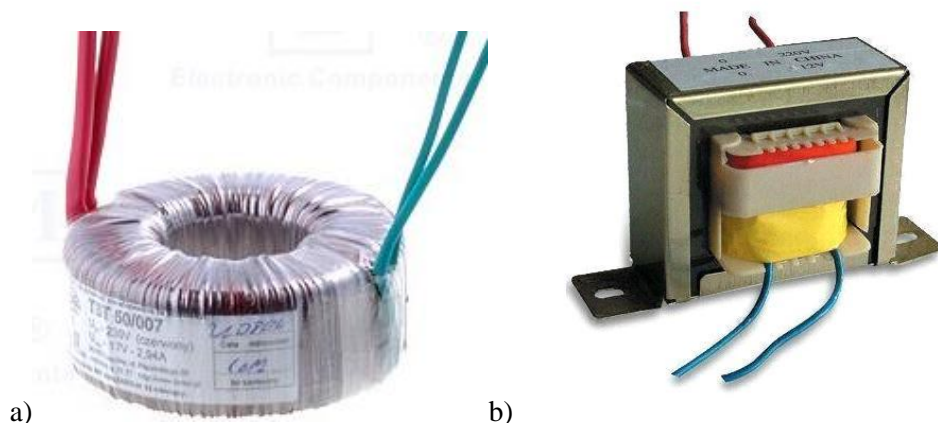
Definice říká, že se jedná o netočivý elektrický stroj, který umožňuje přenos elektrické energie z jednoho obvodu do jiného pomocí elektromagnetické indukce. Používá se pro změnu amplitudy střídavého napětí, či pro galvanické oddělení obvodů, to vše s účinností od 90% až po více jak 99%. [12]

Síťový transformátor se skládá ze dvou vinutí na jednom magnetickém jádře. Vinutí, které přeměňuje elektrickou energii na magnetickou, je nazýváno primární. Vinutí na druhé straně, které z magnetické energie vytváří elektrickou, se nazývá sekundární. Jádro se skládá z plechů, které jsou od sebe navzájem izolované, čímž se zabraňuje vířivým proudům uvnitř jádra a zvyšování magnetických ztrát. [5]

Jedním ze základních parametrů transformátoru je jeho převod. Ten udává poměr napětí mezi primárním ( $U_1$ ) a sekundárním ( $U_2$ ) vinutím, respektive mezi proudy. Je určen podle poměru počtu závitů jednotlivých cívek. [5]

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (1)$$

Druhým důležitým parametrem při výběru transformátoru je výkon, který může jádro přenášet, jenž je udáván většinou ve voltampérech [VA]. Jádro transformátoru může mít několik typizovaných tvarů. Mezi nejběžnější patří jádra skládaná z EI plechů, či toroidní jádro, které má řadu výhod a bývá hojně využíváno. Pro stejný přenášený výkon má jádro poloviční objem a tím i hmotnost jádra, měděných vinutí, a díky lepšímu chlazení je používána i větší proudová hustota. Navíc rozptylové pole není tak rozsáhlé jako u EI jádra, takže není takový problém jeho použití v zařízeních citlivých na magnetické pole, jako jsou např. osciloskopy [5].

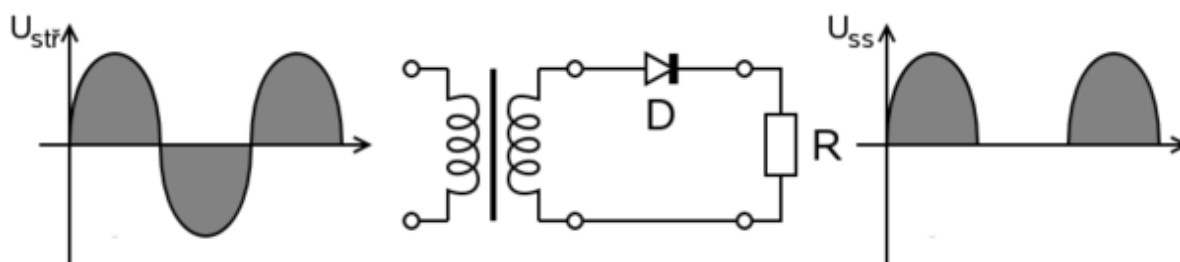


Obr.2: Ukázka transformátoru a) s toroidním jádrem [13], b) s jádrem z EI plechů [14]

### 1.1.1.2 Usměrňovače

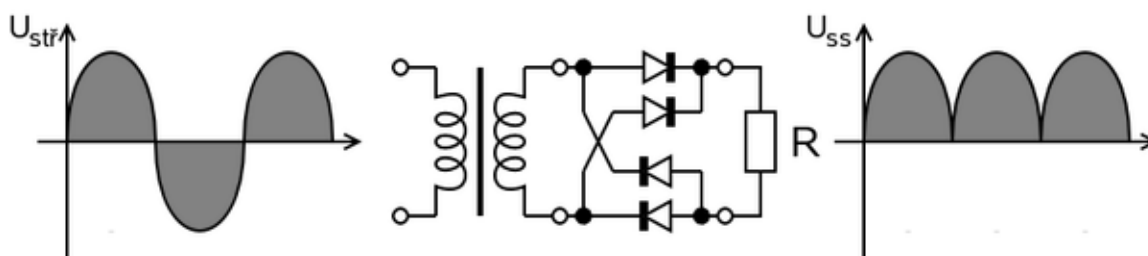
Usměrňovač bývá součástí většiny elektronických obvodů, jelikož běžně pracují se stejnosměrným napětím, které je nutno přeměnit z distribuovaného střídavého jednofázového, nebo i třífázového napětí. Jedná tedy o elektrické zařízení sloužící k přeměně střídavého napětí na stejnosměrné pulzační. Usměrňovače mohou být i elektronkové nebo rtuťové, ale dnes se používají výhradně polovodičové [15].

Existují 3 základní zapojení diodového usměrňovače – jednocestný, dvoucestný uzlový a dvoucestný můstkový. Jednocestný usměrňovač (Obr. 3) je tvořen pouze jednou diodou umístěnou v obvodu sériově za transformátorem. Toho zapojení je velice triviální a jeho nevýhodou je, využívá pouze jednu půlvlnu původního signálu, čímž klesá efektivní hodnota napětí na výstupu a zvyšuje se zvlnění. Je to proto vhodné zapojení pouze pro nepříliš energeticky náročné aplikace.



Obr.3: Jednocestný neřízený usměrňovač, se zobrazením vstupního a výstupního napětí

Graetzův můstek (obr. 4) je nejběžnějším zapojením usměrňovače. Jedná se o dvoucestný usměrňovač tvořený čtyřmi diodami, z nichž jsou vždy dvě v propustném a dvě v závěrném stavu. Po změně polaroty napětí na transformátoru dojde k prohození polaroty na diodách a tím i otočení jejich stavů. Tento můstek je levný a jednoduchý, můžeme jej sestavit ze samostatných diod, či zakoupit již zapouzdřený.



Obr. 4: Dvoucestný můstkový neřízený usměrňovač, se zobrazením vstupního a výstupního napětí

### 1.1.1.3 Filtr

*„Funkcí filtračního členu je vyhladit usměrněné napětí na potřebnou míru. Používají se téměř výhradně jednoduché kapacitní filtry. Při volbě kapacity se negativně projevuje nízký kmitočet kondenzátoru. Proto je výhodné používat dvoucestné usměrňovače, které zdvojují kmitočet“ [5].*

Při růstu amplitudy nabíjecího napětí dochází k nabíjení kondenzátoru jeho vlastním nábojem  $Q$ . Při poklesu nabíjecího napětí je pak energie z daného kondenzátoru zpětně uvolňována do obvodu pro omezení napětíového rozkmitu. Velikost tohoto rozkmitu je závislá na velikosti proudu procházejícího obvodem a velikosti kondenzátoru. Jeho velikost

při použití stabilizátoru se počítá vzhledem k požadované maximální velikosti rozkmitu napětí podle vztahu:

$$C \geq \frac{I \arccos\left(\frac{U_{min}}{U_{max}}\right)}{2 \pi f (U_{max} - U_{min})} \quad (2)$$

Z rovnice je patrné, že kapacita kondenzátoru musí být rovna, nebo větší než součin proudu  $I$ , procházejícího obvodem a arkus kosinem ze záporného poměru minimálního napětí  $U_{min}$  a maximálního napětí  $U_{max}$ , vydělené rozdílem maximálního a minimálního napětí, vynásobeného frekvencí změny velikosti napětí  $f$  zvětšeného o  $2\pi$ . Maximální hodnota napětí se počítá:

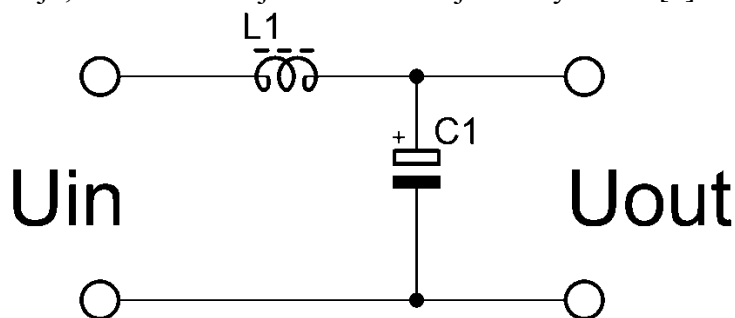
$$U_{max} = 0.95\sqrt{2}U_{sek} - 2U_d - R_f I \quad (3)$$

Rovnice znamená, že maximální hodnota je počítána z maximální hodnoty přivedeného napětí na usměrňovač  $U_{sek}$ , zmenšeného o 5% z důvodu kolísání napětí v síti. Toho napětí ještě snížíme o úbytky napětí na dvou usměrňovacích diodách  $U_d$  a případný úbytek napětí na vinutí transformátoru. Minimální napětí  $U_{min}$  je hodnota napětí, při které je ještě stabilizátor schopný pracovat.

Tyto filtrační kondenzátory mohou dosahovat velikosti až několika milifaradů i více, což je již velikost, kterou nelze zanedbat. Při výběru filtračního kondenzátoru ale nelze pohlížet pouze na jeho velikost, ale i na pracovní napětí a tepelné namáhání.

Minimální pracovní napětí kondenzátoru se určí z maximální amplitudy sekundárního napětí transformátoru, zvětšeného o 30 – 50% z důvodu bezpečnosti. Co se tepelného namáhání týče, musíme brát v potaz, že zatížený zdroj může dosahovat teplot i 80°C, čímž dochází k rychlejšímu vysychání elektrolytu kondenzátoru a tím k rychlejšímu stárnutí.

Při použití čistě kapacitní filtrace vstupního napětí u zdrojů s velkým proudovým zatížením, velká kapacita kondenzátorů silně zatěžuje diody v usměrňovači, jelikož jsou po poměrně dlouhou dobu silně zatěžovány. To je způsobeno tím, že než se nabijí kondenzátory, tak diody pracují do zkratu a musí být schopny tento režim zvládnout. Tento problém je možné omezit použitím LC filtru, kde je do zapojení vložena tlumivka (Obr. 5). Ta omezuje proudové zvlnění, a tím i amplitudu propustného proudu diody. Nevýhodou tohoto zapojení je nutnost vyššího vstupního napětí pro dosažení stejného výstupního napětí. Navíc při síťovém napětí s frekvencí 50Hz tlumivka získává nezanedbatelné rozměry i hmotnost. Její využití je častější u spínaných zdrojů, kde se dosahuje frekvencí až jednotky MHz. [5]



Obr.5: LC filtrační člen

#### 1.1.1.4 Stabilizátor

Jeho funkcí je Stabilizovat výstupní napětí nebo proud při změně výstupního napětí, proudu, či teploty okolí. Každý stabilizátor zároveň snižuje zvlnění výstupního napětí, čímž pracuje i jako filtr. Stabilizátor se možné sestavit z jednotlivých součástí, či jej zakoupit jako

integrováný obvod, což je v dnešní době častější. [16]

Stabilizátory lze rozdělit podle typu stabilizované veličiny na proudové či napět'ové, či podle principu stabilizace na parametrické a lineární. [16]

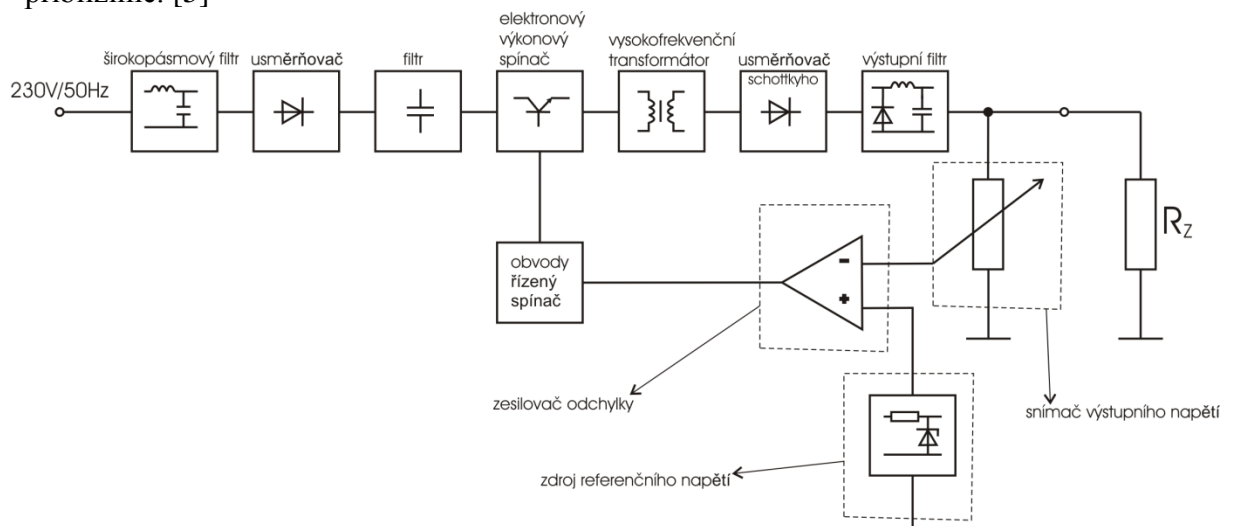
Mezi parametrické stabilizátory řadíme obvody, kde je veliký rozdíl mezi hodnotou statického a dynamického odporu v pracovním bodě, tedy obvody s nelineárními prvky. Pokud je velikost statického odporu  $R_s$  mnohonásobně větší než dynamický odpor  $R_d$ , pak se jedná o parametrický stabilizátor napětí, jenž je typicky realizován pomocí klasické, či zenerovy diody. V opačném případě, kdy  $R_d \gg R_s$ , jedná se o stabilizátory proudu, čili proudový zdroj. Parametrické stabilizátory bývají tvořeny z jednotlivých komponentů přímo na DPS, jejich tvorba v jednom pouzdře není příliš obvyklá. [17]

Lineární stabilizátory pracují na principu komparace požadované a skutečné amplitudy napětí, kdy se za akční člen vkládá tranzistor v zapojení emitorového sledovače. Proudem do báze je řízeno otevření báze tranzistoru, které ovlivňuje odchylku napětí. [16]

Stabilizátor se skládá ze tří základních částí – zdroje referenčního napětí, složený nejčastěji z proudového zdroje a zenerovy diody, rozdílového zesilovače, zesilujícího diferenci mezi požadovanou a aktuální amplitudou napětí, a výkonového regulačního členu, který zajišťuje správnou úpravu napětí dle regulační odchylky.

### 1.1.2 Spínané zdroje napětí

Jak je popsáno v [5], spínané zdroje plní stejnou funkci jako zdroje lineární, ale pracují na jiném principu. Výkonový člen je zde střídavě spínán a rozpínán, čímž můžeme odebírat mnohem větší výkon než při lineárním režimu. Konstrukce spínaných zdrojů, jak je dnes známe, je možná od doby výroby rychlých polovodičových výkonových spínacích prvků. Na Obr. 7 je znázorněno blokové schéma běžného spínaného zdroje, které si nyní blíže přiblížíme. [5]



Obr. 7: Blokové schéma spínaného zdroje [6]

„Napětí přicházející z rozvodné sítě 230 V / 50 Hz se nejdříve usměrní pomocí diodového můstku a vyhladí na vstupním kondenzátoru. Pak se napětí rozstřídá pomocí spínacích tranzistorů na frekvenci řádově desítek kHz. Toto napětí je přivedeno na primární vinutí středofrekvenčního transformátoru. Ze sekundární strany je napětí opět usměrněno, vyhlazeno a připraveno k použití. O stabilitu výstupního napětí se stará zpětná vazba, která je



*z výstupu zavedena do obvodu, který řídí spínání.*

*Vstupní síťové napětí 230 V / 50 Hz je usměrněno a jednoduše filtrováno - širokopásmový filtr na vstupu zabraňuje pronikání rušivých signálů ze zdroje do sítě. Elektronický spínač je řízen ve smyčce zpětné vazby tak, aby výstupní napětí bylo konstantní. Za spínačem je obdélníkové napětí o frekvenci desítky kHz a amplitudě podle vztahu  $U_{vst} \times \sqrt{2}[V]$ , toto napětí je transformováno impulsním transformátorem s feritovým jádrem na potřebnou velikost, transformované napětí se usměrňuje Schottkyho diodami a dále je filtrováno výstupním filtrem. Zdroj zpětné vazby je stejný jako u lineárních zdrojů, navíc je zde obvod buzený spínačem, který mění stejnosměrné napětí na obdélníkové napětí. Pokud bychom nepoužili v zapojení vstupní část, vzniklo by zapojení stejnosměrného měniče.“[4]*

## 1.2 Pájecí pera v pájecích stanicích

U pájecích per dostupných na trhu jako náhradní díl pro komerční pájecí stanice se musíme předem zaměřit na několik faktorů:

- Výkon
- Napájecí napětí
- Typ snímače teploty
- Dostupnost náhradního pera
- Dostupnost a rozmanitost výměnných hrotů
- Cena

Všechny tyto faktory si nyní blíže přiblížíme.

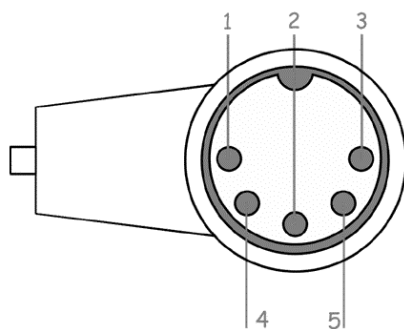
### 1.2.1 Výkony pájecích per

Výkon pájecího pera je klíčovou vlastností. Určuje nám, jak rychle se nám pero při spuštění ohřeje z pokojové teploty na požadovanou, a také, jak efektivně nám dokáže udržovat požadovanou teplotu při zvýšeném odvádění tepla z hrotu (rozehřívání většího množství pájky).

*„Mikropájčky s výkonem do 10 W jsou vhodné pro ty nejjemnější práce v modelářství nebo při opravách komunikační techniky. Pájecí pera do 20 W jsou určena pro pájení na deskách plošných spojů s jemnou strukturou a měděné vodiče do průměru 0,3 mm. Většinu oprav a dalších prací v elektrotechnice lze provádět pájecími pery nebo stanicemi s výkonem do 50 W, k pájení vodičů o průměru do 1,5 mm je zapotřebí výkonu 80 W. Modely s výkonem nad 100 W lze použít i pro pájení plechových dílů a silnějších vodičů.“ [22]*

### 1.2.2 Napájení pájecích per

Jako napájecí napětí se u pájecích per využívá buď stejnosměrného napětí, nebo napětí střídavého. Tento údaj nebývá běžně uváděn, jelikož při koupi pájecího pera, jakožto náhradního dílu k pájecí stanici, není tento údaj důležitý. Pokud ale chceme pero využít pro stavbu vlastní pájecí stanice, je důležité tento údaj zjistit, například na stránkách výrobce, abychom mohli přizpůsobit napájecí obvody pro daný typ pera. Obr. 8 zobrazuje základní dva typy konektorů i s popisem zapojení vývodů.



- 1, 5 - Topné těleso  
1, 4 - Tepmočlánek  
2 - Uzemnění



- 1, 4 - Termočlánek  
2, 3 - Topné těleso  
Uzemnění - povrch konektoru

a)

b)

Obr. 8: Zapojení konektorů pájecích per a) DIN-5, b) NCG-4

### 1.2.3 Typy snímání teploty hrotu

Ke správnému nastavení teploty pájecího hrotu je nezbytně nutné znát jeho přesnou teplotu. Toto snímání bývá u pájecích per provedeno pomocí termočlánků, či termistorů. Každá metoda má ovšem jiný způsob měření teploty, čemuž musí odpovídat i obvodové uspořádání. Tento údaj ovšem také není běžně uváděn, proto musíme vědět, jak se projevují jednotlivé možnosti snímačů.

#### 1.2.3.1 Termistor

„Termistory jsou polovodičové prvky, které se vyznačují výraznou závislostí odporu na teplotě. Změny odporů bývají u nich 5-krát až 50-krát větší než u kovů při stejném teplotním rozdílu. Podle průběhu jejich teplotní závislosti dělíme termistory na negativní a pozitivní. U negativních termistorů odpor s teplotou klesá, zatímco u pozitivních vzrůstá. Je tedy teplotní přírůstek odporu u negativních termistorů záporný, zatímco u pozitivních je kladný. Odtud se odvozují jejich názvy. Praktické využití termistorů závisí právě na průběhu jejich teplotní charakteristiky.“ [7]

Při použití termistoru sledujeme velikost proudu, která se mění s velikostí odporu. Proto je nutné v obvodu pro měření teploty přivést napětí, díky němuž může termistor pracovat. Pokud ale pero obsahuje termočlánek, obvod pro měření bude zcela odlišný.

#### 1.2.3.2 Termočlánek

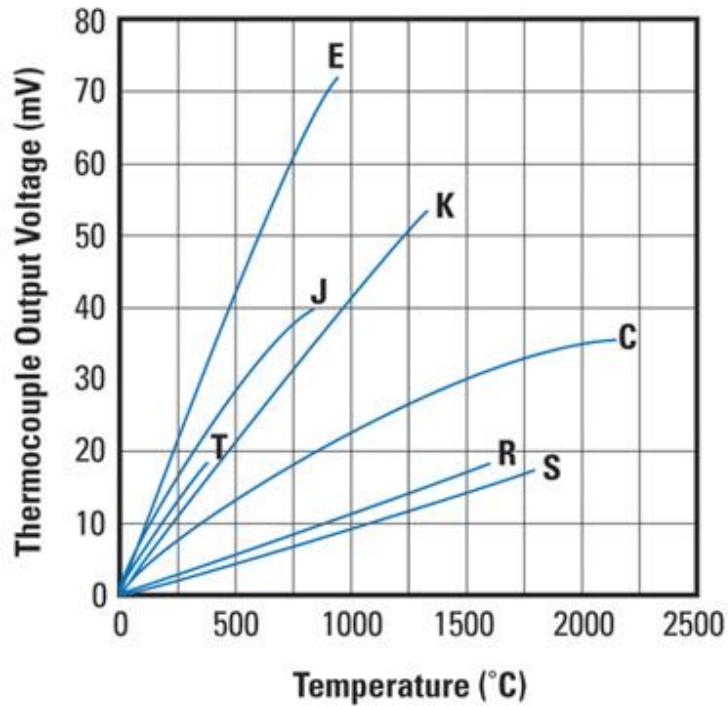
Jak je popsáno v [8], termočlánekový snímač teploty je složen ze dvou různorodých kovů, které se při změně teploty (ohřátí či ochlazení) vytváří napětí souvztažné k teplotě.

Termočlánky jsou dostupné v různých kalibracích a kombinacích kovů, podle nichž se dělí do daných skupin. Běžně používané typy termočlánků jsou J, K, E, T, pro vysoké teploty jsou určeny typy B, C, G, N, R, S a U, které nemají pro naše využití smysl (maximální měřicí rozsah v  $10^3$ °C). V Tab. 1 si můžeme prohlédnout běžné teplotní rozsahy a přesnosti článků J, K, E a T.

Teplotní rozsahy běžných termočlánků			
Kalibrace	Teplotní rozsah	Standardní přesn.	Výběrová přesn.
<b>J</b>	0°C až 750°C (32°F až 1382°F)	Více než 2.2°C nebo 0.75%	Více než 1.1°C nebo 0.4%
<b>K</b>	-200°C až 1250°C (-328°F až 2282°F)	Více než 2.2°C nebo 0.75%	Více než 1.1°C nebo 0.4%
<b>E</b>	-200°C až 900°C (-328°F až 1652°F)	Více než 1.7°C nebo 0.5%	Více než 1.0°C nebo 0.4%
<b>T</b>	-250°C až 350°C (-328°F až 662°F)	Více než 1.0°C nebo 0.75%	Více než 0.5°C nebo 0.4%

Obr. 9: Rozsahy teploty a přesnosti pro J, K, E a T termočlánky [8]

Jak je patrné z Obr. 9, tak rozsah termočlánku typu T není dostatečný pro použití v pájecím peru, čímž zbyly pouze termočlánky J, K, E. Z grafu na Obr. 10, V teplotním rozsahu 0 – 450°C jsou teplotní závislosti E, K lineární, článek J má lehce nelineární charakteristiku. Proto je vhodné pájecí pero s termočlánekem typu J proměřit v dostatečném množství bodů, a teplotu přepočítávat podle dané křivky.



Obr. 10: Teplotní závislosti termočlánků [9]

Doba odezvy termočlánků je závislá nejen na průměru pláště sondy, ale zejména na typu zakončení měřicí sondy. Ty se dělí do třech základních typů znázorněných na Obr. 11 – Uzemněný, neuzemněný a nechráněný. Nejrychlejší časovou odezvu má uzemněný článek, kde je konec termočlánku svařen s pláštěm sondy. Pokud plášť a konec termočlánku nejsou vzájemně svařeny, jedná se o neuzemněný článek. Který není tak citlivý na uzemněné elektrické smyčky. Nechráněný termočlánek přímo vystupuje přímo z pláště sondy, který je ideální k měření teploty vzduchu.



Obr. 11: Provedení měřícího konce termočlánku [9]

### 1.2.4 Příklady dostupných per

V této kapitole si ukážeme některé typy pájecích per, které se dají běžně zakoupit jako náhradní díl pro pájecí stanice dostupné na českém trhu. Výběr je veliký, co se týče počtu výrobců i pájecích stanic, ale použitá pera jsou často totožná, proto stačí si ukázat pouze ty nejběžněji používané.

Základním typem pájecího pera je zobrazen na Obr. 12. Jedná se o pero SL 41/VEL od společnosti Solomon, které má výkon topného tělesa 48W při napájení 24V střídavým napětím.



Obr. 12: Pájecí pero SL 41/VEL  
(dostupné na <http://www.mfj.cz/sk/pajeci-pero-sl-41-vel-GES07713581.html>)

Toto pero je dostupné v obchodech za cenu kolem 300 korun, což je přijatelná cena za přijatelnou kvalitu. K tomuto peru je možné zakoupit různé typy hrotů pro optimální použití dle typu pájených součástek. Obdobné pero je dostupné i v provedení s pěti pinovým konektorem (SL-11 VEL).

V podstatě stejné pájecí pero v různých barevných variantách je prodáváno od několika různých prodejců. Cenově jsou pera podobná, výkonově jsou navíc přímo totožná. Stejná pera ke svým pájecím jsou dostupné od společností Proskit (508-351N-IRON), či společnost Diametral (SBL-PP530)

Jiným typem pájecího pera je např. ZD-415, zobrazený na Obr. 13, dostupný jako náhradní díl pro odpájecí stanici ZD912. Toto pero má topné těleso o výkonu 60W při napájecím napětí 24V střídavým napětí. Toto pero díky tomu dosahuje vyšší rychlosti nahřívání i stabilnější udržování teploty hrotu, ale napájecí obvody musí být dimenzovány pro vyšší proudové zatížení. Jeho cena se pohybuje opět v cenové hladině 300kč.



Obr. 13: pájecí pero ZD-415

(převzato: <http://elecena.pl/product/5029107/kolba-zd-415a-z-grotem-do-stacji-zd-912-zd-916-zd-917>)

Pájecí pero Proskit 5SI-216E-IRON zobrazené na Obr. 14 je další 40 wattové pero od této značky, náležící ke stanicím SS-216E a SS-217E. Jeho konstrukce je mírně podobná s perem ZD-415, ale jeho cena se již pohybuje nad 500kč.



Obr. 14: Pájecí pero PROSKIT 5SI-216E-IRON

(dostupné na <http://www.gme.cz/nahradni-kovova-rukojet-proskit-5si-216e-iron-p730-481>)

## 2 Vlastní konstrukce pájecí stanice

### 2.1 Cíle pro konstrukci pájecí stanice

Hlavní cílem bakalářské práce je zhotovit plně funkční pájecí stanici se zakoupeným pájecím perem dostupným jako náhradní díl k některé z prodávaných pájecích stanic.

Pro napájení řídicí elektroniky a vyhřívání pera bude využit klasický spjitě regulovatelný zdroj s toroidním transformátorem. Pokud bychom chtěli využít spínaného zdroje, museli bychom již hotový zdroj vzhledem k časové náročnosti zakoupit, a spínaný zdroj pro vyhřívání pera se cenově vyrovná stavbě lineárního zdroje.

K řízení celé stanice bude použit mikrokontrolér, který bude všechny potřebné informace zobrazovat na grafickém displeji. Zadávání vstupních dat bude probíhat buď pomocí třech tlačítek s přednastavenými hodnotami teplot, či přesné požadované hodnoty pomocí rotačního enkodéru, umístěných na čelním panelu v okolí displeje. Indikační dioda by měla indikovat, zda má hrot požadovanou teplotu, či zda dochází k zahřívání na požadovanou teplotu. Celá elektronika by měla být uložena v boxu. Navíc bychom měli vybrat typ snímání a připravit obvodové řešení pro sledování uložení pera v držáku pro doplnění stanice o stand-by režim, kdy by došlo ke snížení teploty hrotu při nepoužívání páječky pro úspornější používání stanice.

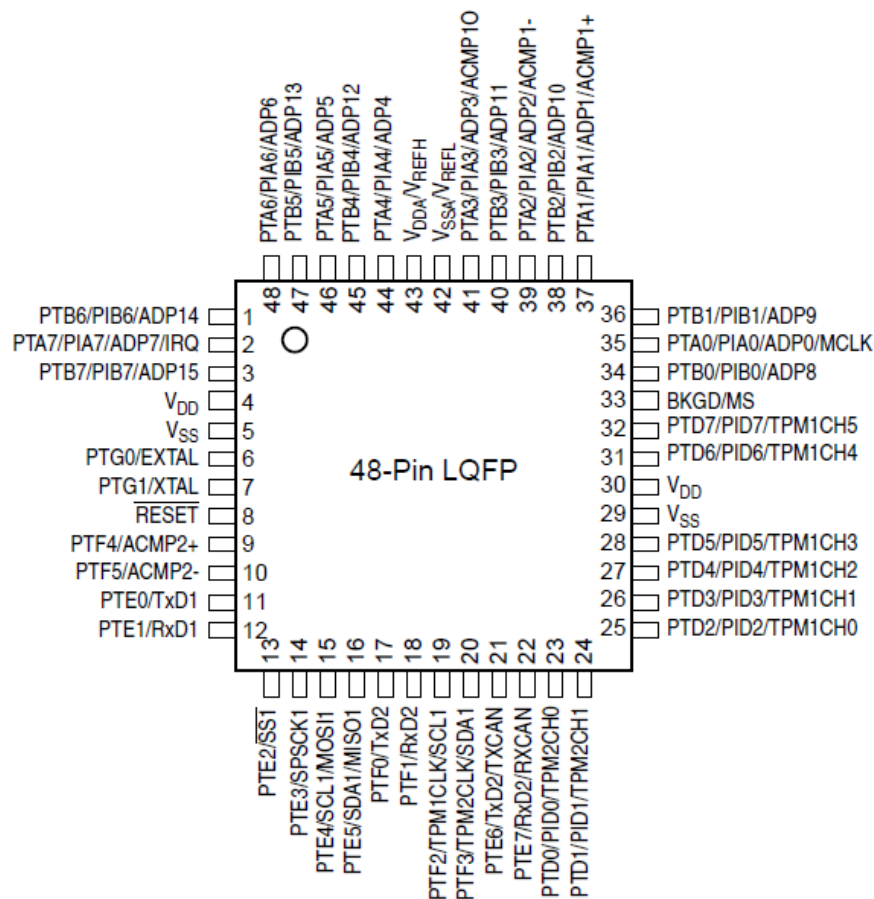
Při realizaci stanice zohlednit finanční nákladnost stavby a pokusit se dosáhnout ceny nižší, či srovnatelné s pájecími stanicemi dostupnými na trhu.

### 2.2 Hlavní komponenty použité při stavbě pájecí stanice

#### 2.2.1 Mikropočítač

Při realizaci byl použit mikrokontrolér Freescale MC9S08DZ96CLF (Obr.15). Jedná se o nízkonákladový, 8-mi bitový mikropočítač se 48 pinovým pouzdrem. Programování MCU od firmy Freescale nabízí možnost využití tzv. procesor expert mód. Při jeho použití se značně zjednoduší nastavování parametrů MCU a aktivace jednotlivých komponentů, kdy jejich nastavení probíhá pomocí grafického editoru. To je nespornou výhodou pro nezkušené programátory. Tyto mikropočítače jsou i využívány na katedře aplikované elektroniky, kde v případě problémů získáme potřebnou radu.

Tento čip obsahuje v jednom pouzdře mnoho součástí pro variabilní použití v mnoha embedded systémech. Obsahuje například jedno SPI rozhraní, ADC převodník, 24 vstupních přerušení a mnoho dalšího. Rychlost vnitřních hodin počítače je až 40MHz, napájecí napětí může být v rozsahu mezi 2,7V a 5,5V. Paměť programu má velikost 96KB a paměť RAM 6KB, jenž jsou hodnoty daleko převyšující naše požadavky. Navíc se jedná o dobře dostupný kontrolér, např. obchod Farnell [10] jej nabízí skladem za cenu lehce převyšující sto korun.



Obr.15: Rozložení pinů na MC9S08DZ96CLF [11]

## 2.2.2 Displej

Displej byl zvolen od společnosti Electronic assembly, a sice typ EA DOGM128-6, zobrazený na Obr. 16. Jedná se o grafický displej s rozlišením 128x64 bodů, pod nímž může být umístěno led podsvícení v několika barevných variacích. Tento displej dosahuje výborného kontrastu a čitelnosti. K propojení s MCU a získávání dat slouží 4 - vodičové SPI rozhraní, který pře přenáší zobrazovaná data. Displej je určen pro přímé zapájení do DPS, na které dosahuje velmi nízké výšky (2mm bez použití podsvícení, s použitím 5,5mm). LCD panel je napájen stejnosměrným napětím 3,3V, přičemž proudový odběr samotného displeje činí pouhých 150-250 $\mu$ A.



Obr.16: displej DOGM128-6 a podsvícení EA LEDx46  
[Převzato z <https://octopart.com/ea+dogm128w-6-electronic+assembly-20084404> ]

V našem případě jsme použili bílé podsvícení a displej s černými body. Tento displej je možné zakoupit např. v obchodě SOS electronic za přijatelnou cenu ( 417,56kč při koupi



jednoho kusu, cena platná k datu 29. 4 2015). Další výhodou je využívání těchto displejů na katedře elektroniky, kde je možné se případně tázat při dotazech ohledně použití.

### 2.2.3 Transformátor

Pro realizaci pájecí stanice bylo zvoleno napájení řídicí i výkonové části pomocí Lineárních zdrojů napětí, kde všechny používaná napětí (24V, 5V, 3,3V) jsou získávána ze sekundárního vinutí jednoho toroidního transformátoru. Byl vybrán typ TST50/007 od společnosti Indel, zobrazený na obr. 2 a). Sekundární vinutí má výstupní střídavé napětí 17V, které po usměrnění dosahuje velikosti až 24V, a výkon 50VA. Tento výkon by měl dostačovat, vzhledem k tomu, že odběr řídicí části stanice není veliký a pero na maximálním výkon 48W pracuje pouze minimální dobu.

### 2.2.4 Pájecí pero

Po dlouhé úvaze bylo zvoleno pájecí pero firmy Zhongdi 88-201A, určené pro pájecí stanici ZD-931. Jedná se o klasické pájecí pero o výkonu 48W a napájecím napětí 24V, zobrazené na obr.17. Toto pero je dostupné za cenu i nižší než 200kč, čili jeho případná výměna při zničení není výrazná. K peru je navíc dobrá dostupnost výměnných hrotů pro různá použití.



Obr.17: Použité pájecí pero, patřící ke stanici ZD-931

### 2.2.5 Stand-by režim

#### 2.2.5.1 Možnosti snímání uložení pera ve stojanu

Pro sledování odložení pájecího pera do stojanu na těle pájecí stanice je možné využít několik typu snímačů. Jejich základní rozdělením je snímání kontaktní či bezkontaktní.

Kontaktního snímání značí využití spínače, který by nebyl pevně fixován, a zvýšením hmotnosti po vložení pera by došlo se sepnutí a detekci jeho přítomnosti. Tato detekce je nejlevnější variantou snímání, kdy je potřeba pouze vytvořit obvod s obyčejným spínačem, pull up rezistorem a vyhlazovacím kondenzátorem v celkové ceně jednotek až desítek korun. Ovšem tento způsob detekce má i podstatné nevýhody. Zejména, že při kontaktním spínání dochází k postupnému opotřebení kontaktů a případné poruchovosti vlivem zničení snímače. Navíc i samotné uchycení stojánku nemusí být dlouhodobě funkční bez průběžných úprav usazení, aby byl spínač spínán a přitom nedocházelo k přílišnému výkyvu držáku.

Pro spolehlivost je vhodnější využít bezkontaktní snímání uložení pera, kdy může

stojánek být pevně upevněn ke stěně pájecí stanice a nebude docházet k opotřebení snímacích kontaktů. Jako dvě nejjednodušší metody bezkontaktního snímání lze považovat obvody sledující změnu magnetického pole (Hallová sonda), či sledování změny indukčnosti uvnitř cívky. Při využití Hallové sondy by na pájecí pero umístěn magnetický kroužek, a na držák tělo sondy v místě tak, aby při odložení pera byly oba komponenty k sobě v těsné blízkosti. Při odložení pera by sonda začala generovat elektrické napětí, tento signál by se dále zpracoval a v mikropočítači by bylo vyhodnoceno odložení pera. Ceny hallových sond se pohybují v rozmezí 20 až 30 korun, takže tento systém snímání je cenově nenáročný, a i obvodové řešení je poměrně jednoduché, ale při tomto snímání je potřeba upravit držák pera i pero samotné, tudíž při zničení pera a následném zakoupení nového je potřeba na dané pero opět připevnit magnetický kroužek, čímž je ztížena případná výměna.

Třetí možností, o které jsme uvažovali při stavbě pájecí stanice, je bezkontaktní snímání změny indukčnosti. Principem tohoto snímače je navinutí cívky kolem uložení pájecího pera ve stojanu, která bude připojena k obvodu, který vyhodnocuje její indukčnost. Při používání pera má cívka jádro tvořené vzduchem, a její indukčnost je brána jako referenční pro detekci jeho používání. Pokud pero odložíme do stojanu, součástí jádra detekční cívky se stane i pájecí hrot tvořený z kovu, tím dojde ke zvýšení indukčnosti, kterou mikropočítač po správném nastavení vyhodnotí jako impuls pro přechod do stand-by režimu, kdy sníží teplotu hrotu pera a dále sleduje, zda došlo k vyjmutí pera ze stojanu a možnost přejít do běžného provozu stanice. Toto obvodové řešení je nejsložitější ze třech nabízených možností a bude i nejdražší, kdy se může cena obvodu pohybovat i v řádu stokorun, avšak při použití tohoto snímání nemusíme nijak upravovat pájecí pero, a při případné výměně nemusíme nic upravovat.

### 2.2.5.2 Zvolená technologie snímání

K případné realizaci stand-by režimu byl vybrána možnost sledování odložení pera bezkontaktně pomocí integrovaného obvodu LDC1000NHRRT (Obr. 18). Jedná se o bezkontaktní citlivý člen pro sledování změny indukčnosti v měřené cívce. Může být používán např. pro měření vzdálenosti, až na přesnost několika  $\mu\text{m}$ , pro měření vibrací, v oblasti automotive, v medicíně apod. V našem případě bude snímací cívka navinuta kolem držáku pera, kde při jeho detekci vyšle signál do MCU, jenž na něj bude reagovat.

Ve schématu a na DPS bude vytvořen obvod pro případné osazení pájecí stanice tímto integrovaným obvodem a přílehlými součástkami, avšak během ožívování bakalářské práce nebude toho zapojení využito. Jedná se o možné využití v budoucnu.



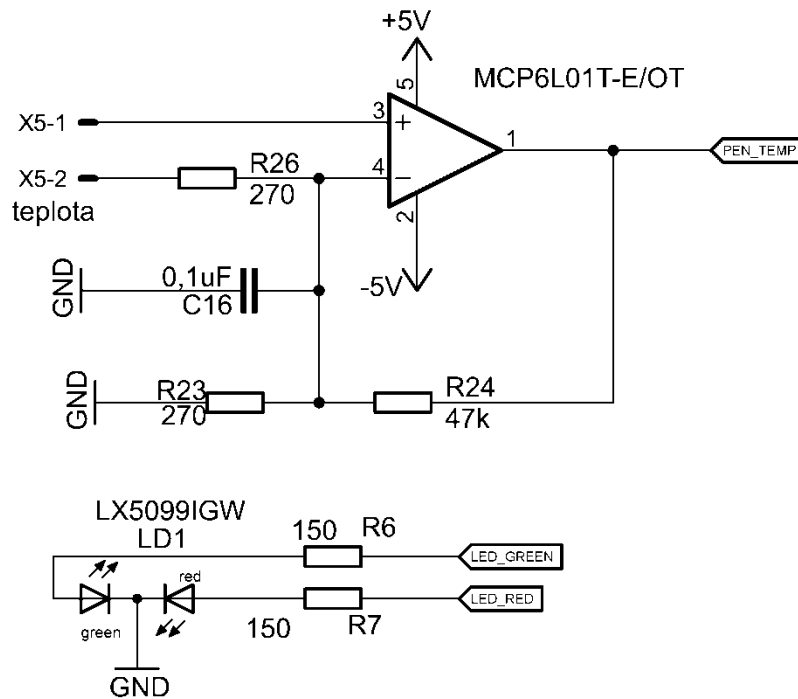
Obr.18: IO LDC1000NHRRT [10]

### 2.2.6 Ovládací prvky

K ovládání pájecí stanice jsou použity klasické mikropřepínače 6x6mm, společně s rotačním mechanickým enkodérem s vestavěným tlačítkem.

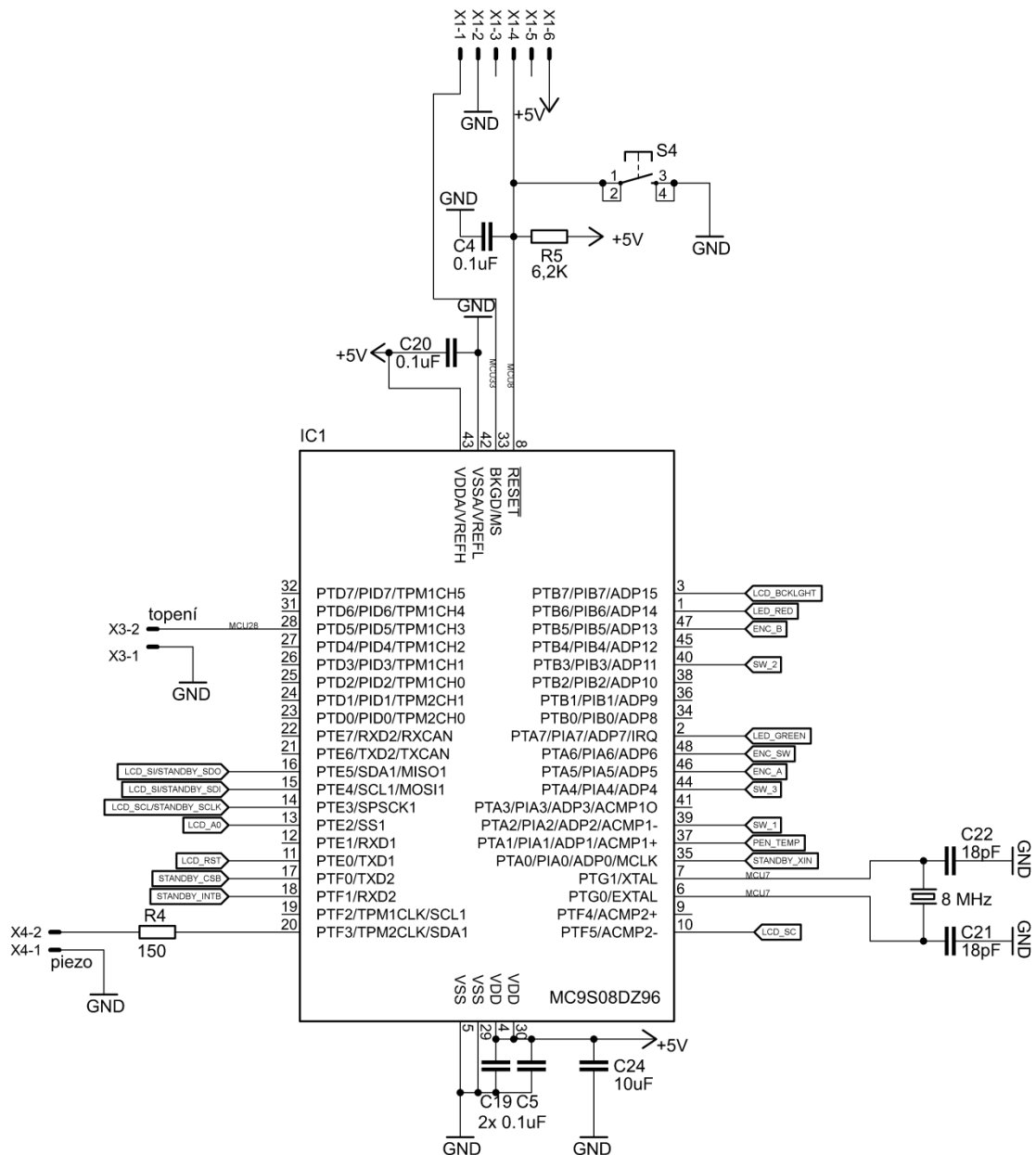


výše zmíněné elektroniky. Pro napájení displeje je dále použit druhý stabilizátor s výstupním napětím 3,3V a s přílehlými kondenzátory. Ve spodní části daného obvodu je dále pomocí nábojové pumpy a stabilizátoru 7905 vytvořeno záporné napětí -5V pro správné napájení operačního zesilovače.



Obr.21: Schéma zapojení obvodů pro detekci teploty hrotu a duální LED

Obvod pro zesílení teploty hrotu pájecího pera a zapojení duální LED diody je vyobrazen na Obr. 21. OZ je napájen napětím  $\pm 5V$ , a je zde vytvořeno neinvertující zapojení se zesílením  $A = 175$ , na jehož vstupní piny je přiveden signál z termočládku umístěného uvnitř pájecího pera. Zesílená hodnota je poté přivedena na vstupní pin MCU. Pod zapojeným zesilovacím obvodem je zobrazeno zapojení dvoubarevné LED diody, kde obě anody jsou napájeny přímo do pinů MCU přes omezující odpory, aby nebyl překročen proudový a napěťový limit diody.

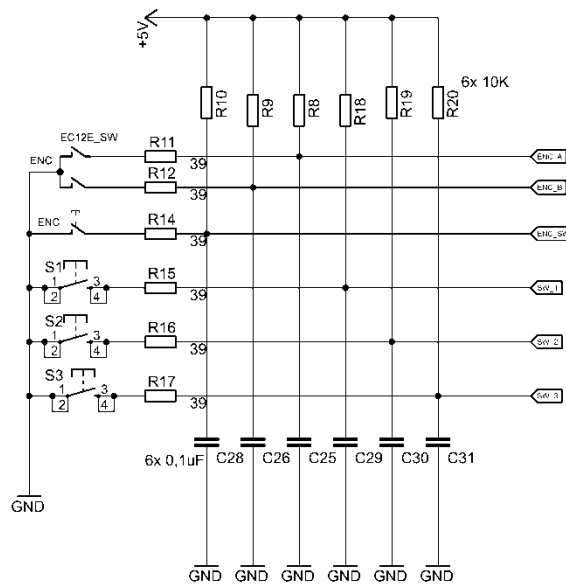


Obr.22: Zapojení MCU

Dále je na Obr. 22 zobrazeno zapojení samotné MCU jednotky. V dolní části je zobrazeno napájení MCU i s filtračními kondenzátory a v horní části MCU je vyobrazeno vhodné zapojení programovacího pinu dle datasheetu [11].

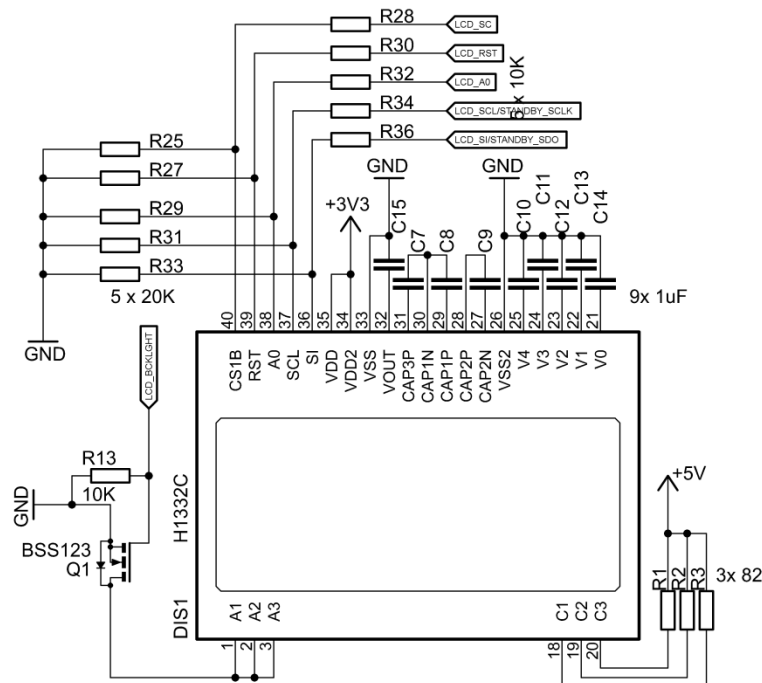
Piny 1 a 2 jsou využity pro spínání LED diody, na pinu číslo 3 je pak řídicí signál pro sepnutí podsvícení LCD displeje. Mezi piny 7 a 8 je zapojen externí oscilátor s frekvencí 8MHz, včetně vyhlazovacích kondenzátorů nutných pro správnou funkci krystalu. Piny 10, 14, 15 a 16 jsou využívány SPI rozhraním, které komunikuje s LCD a obvodem pro detekci stand-by režimu. Jedná se o sériovou komunikaci MCU s periferiemi. Pro výběr ovládní daného obvodu slouží tzv. Chip select signal. Pro LCD je připojen na pinu 10, pro stand-by režim na pinu 17. Na 28. Pinu je výstup PWM modulační, pomocí které je ovládáno spínání tranzistoru pro napájení topného tělesa pájecího pera. Tento signál je i nulovým potenciálem veden na druhou PDS pomocí vodičů připojených na výstupní svorkovnici X3. Pin 20 je přes omezující odpor přiveden na svorkovnici X4, kde je připojen piezo měnič. Dále na pinech 46

a 47 jsou přivedeny signály z rotačního enkodéru pro detekci otáčení, pin 48 detekuje signál přicházející z tlačítka zabudovaného do daného enkodéru. Signály ze tří mikropsínačů jsou přivedeny na piny 39, 40 a 44.



Obr.23: Schéma zapojení mikropsínačů a rotačního enkodéru

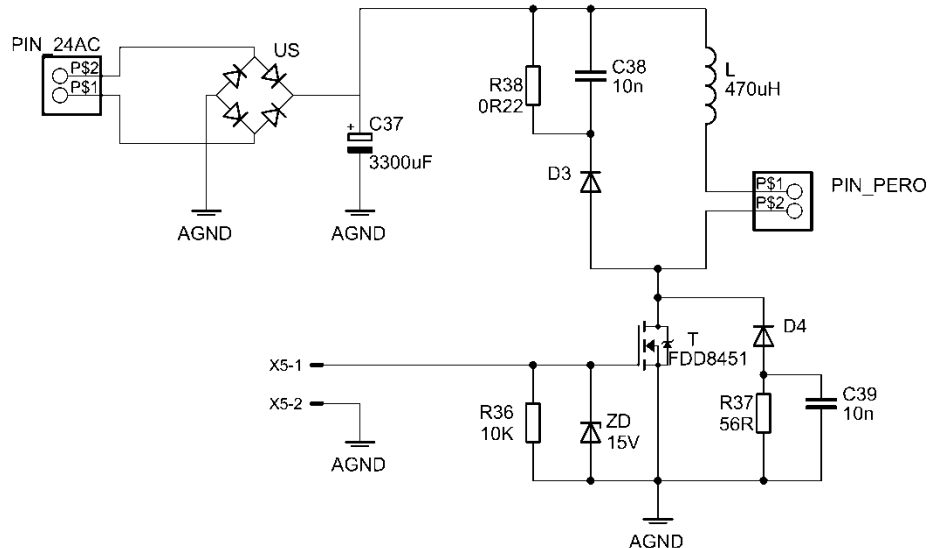
Na Obr. 23 je vidět zapojení rotačního enkodéru a tlačítek. Všechny mechanické kontakty spínají do log. 0, pro filtraci rušení při stisknutí jsou paralelně připojeny kondenzátory a rezistory pro omezení proudů při sepnutí kontaktů.



Obr. 24: Schéma zapojení LDC panelu s podsvícením

Další součástí pájecí stanice je LCD panel s podsvícením, jeho zapojení je vidět na Obr.24. Piny  $A_1$  až  $A_3$  a  $C_1$  až  $C_3$  jsou vývody LED diod umístěných v podsvícení. Jeho napájecí napětí je 5V a pro napájení LED diod jsou sériově zapojeny odpory s hodnotami určenými dle datasheetu [20] pro zajištění odpovídajícího proudu. Spínání podsvícení je

prováděno pomocí tranzistoru umístěného mezi katody diod a zem. Piny 1 – 20 u LCD jsou zapojeny podle instrukcí v datasheetu [20]. Jelikož má mikropočítač napájecí napětí 5V a LCD panel 3,3V, jejich komunikace pomocí SPI není přímo možná. Bylo nutné upravit úroveň napětí pomocí odporového děliče, aby byla zajištěna kompatibilita. Vzhledem k tomu, že komunikace je jednosměrná, je použití odporového děliče dostačující, a není potřeba využívat speciálních obvodů.



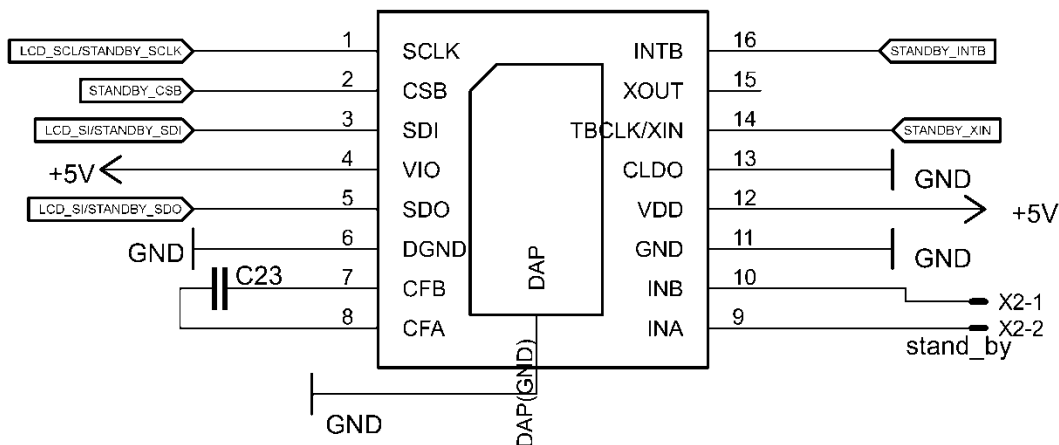
Obr.25: Schéma řídicí části pájecí stanice

Výkonový obvod, jehož schéma je zobrazeno na obr. 25, má za úkol řídit spínání topného tělesa pájecího pera. Střídavé napětí 17V ze sekundárního vinutí transformátoru je usměrněno pomocí usměrňovacího můstku, po němž následuje vyhlazovací elektrolytický kondenzátor s kapacitou 3,3mF. Toto stejnosměrné napětí je dále využito topné těleso, tudíž jeho dokonalá stabilizace není nutná.

Signál z MCU pro řízení otevření mosfetu T je přiveden vodičem na pin 5-1. Mezi drain a source daného mosfetu je vložena zenerova dioda a pull down rezistor  $R_{36}$ . Dioda  $D_4$  společně s kondenzátorem  $C_{39}$  slouží k pohlcení napěťových špiček vzniklých při rychlém uzavření mosfetu, odpor  $R_{37}$  slouží k vybití daného kondenzátoru.

Při sepnutí transformátoru je dioda  $D_3$  v uzavřeném směru, a proto skrze ni nemůže protékat. Proud z usměrňovače US se začne objevovat na indukčnosti L, který poté prochází topným tělesem, ve kterém se začne projevovat tepelnou ztrátou, a poté prochází dále skrze tranzistor na zem obvodu. Při zavření tranzistoru proud začne procházet diodou  $D_3$  a odporem  $R_{38}$ , pro korekci velikých napěťových špiček je k odporu paralelně připojen vysokonapěťový kondenzátor. Tento obvod při rychlém spínání pracuje jako proudový zdroj pro napájení topného tělesa pájecího pera.

Poslední součástí obvodů na Obr. 26 je pájecí stanice je integrovaný obvod LDC1000NHRT určený pro možné budoucí doplnění obvodů o snímání odložení pájecího pera do stojanu. Tento obvod v současné době nebude osazen na DPS, pouze bude vytvořeno obvodové řešení. Zapojení IO je řešeno dle datasheetu [21].



Obr. 26: Schéma zapojení IO pro stand-by režim

### 2.3.2 Návrh a realizace DPS

Následnou částí vlastní konstrukce po vytvoření celkového obvodového zapojení je vytvoření obvodů na vlastní DPS. Při návrhu se musíme zaměřit na to, aby desky nebyly příliš rozměrné, aby byly vhodně umístěné otvory pro uchycení a aby jejich následnému umístění nebránily například nevhodně umístěné rozměrné součástky.

Vzhledem k rozměrnosti součástek ve vývojové části obvodu pro vyhřívání pájecího pera bylo rozhodnuto, že tato část obvodu bude realizována jako samostatná DPS, ostatní součásti obvodu budou realizovány na druhé desce, včetně LCD panelu a ovládacích prvků. Jedná se tedy o rozdělení desek na řídicí a výkonovou část. Na řídicí DPS musí být vhodně umístěn displej, pod kterým se budou nacházet 3 tlačítka s duální LED, pod nimi se musí nacházet rotační enkodér. Vzhledem k množství součástek umístěných na této desce a jejich složitému propojení je nutné využít oboustranné DPS, čímž se nám velice zjednoduší propojitelnost mezi jednotlivými vodivými cestami. K této desce je pomocí kabelu připojeno napájení se sekundárního vinutí transformátoru, termočlánek uvnitř pájecího pera a piezo měnič.

V případě propojení výkonových obvodů nám postačí využití jednostranné DPS, jelikož složitost propojení mezi jednotlivými součástkami není příliš komplikovaná. K propojení obou desek nám postačí použití jednoho dvou vodičového kabelu pro spojení signálu z MCU pro spínání výkonového mosfetu, a vzájemné propojení země, druhý kabel slouží pro připojení topného tělesa pájecího pera. Posledním kabelovým propojením je realizováno připojení sekundárního vinutí transformátoru.

## 2.4 Popis programu pájecí stanice

V této kapitole si popíšeme, jak by měl vypadat program napsaný pro danou pájecí stanici a vývojový diagram, který daný program popisuje a jeho grafické znázornění pomocí vývojového diagramu.



Po zapnutí napájení pájecí stanice nám piezo měnič pípnutím naznačí start programu, a poté se sepne podsvícení displeje a inicializuje samotný LCD panel. Po této inicializaci program přejde do hlavní části programu, kde bude pokračovat v nekonečné smyčce.

Program zkontroluje, zda není registrován požadavek pro změnu požadované teploty hrotu. Pokud došlo ke stisku tlačítka pod displejem, či k otočení rotačním enkodérem počítač vyhodnotí tento signál a na displeji zobrazí novou teplotu, a vyčkává na potvrzení této teploty či její změnu. Potvrzení se provede stiskem příslušného tlačítka, či stiskem rotačního enkodéru. Pokud nebyl identifikován žádný požadavek na změnu teploty, tato hodnota zůstává zachována, po spuštění stanice je hodnota požadované teploty vyčtena z paměti.

Dalším krokem je přečtení současné teploty hrotu pera. Čtení probíhá převodem analogového napětí z termočlánku do digitální podoby pomocí 12 bitového ADC převodníku. Pomocí převodního poměru získaného měřením na pájecí stanici je daná velikost napětí převedena na aktuální teplotu hrotu. Nejnovější naměřená hodnota je sečtena se dvěma posledními hodnotami a jsou vyděleny jejich počtem. Tím je docíleno eliminace výkyvu naměřené hodnoty vlivem rušení. Tento aritmetický průměr je jako aktuální teplota hrotu dodána hlavnímu programu. Poté spočítáme rozdíl požadované a aktuální teploty, podle kterého budeme řídit zahřívání topného tělesa.

Výkonový mosfet, který umožňuje průchod proudu topným tělesem, je řízen pomocí PWM modulace. Její střída bude řízena pomocí PI regulátoru, jehož konstrukce byla inspirována regulátorem v [23]. Tento regulátor se skládá z proporcionální a integrační části. Proporcionální složka pracuje od rozdílu teplot  $50^{\circ}\text{C}$ , do té doby uvažujeme střidu pro PWM 50%, aby nedošlo k proudovému přetížení obvodů. Při pokojové teplotě má topné těleso poloviční odpor než při pracovní teplotě, proto musíme počáteční vyhřívání omezovat. Při rozdílu teplot větším než  $50^{\circ}\text{C}$  svítí červená LED indikující nízkou teplotu hrotu. Po překročení limitní teploty se červená dioda rozbliká a proporcionální složka začne dopočítávat střidu PWM modulace, která bude klesat snížením rozdílu teplot, jak je zobrazeno ve vývojovém diagramu na Obr. 27. Konstanta pro proporcionální složku se musí ověřit při testování daného obvodu. Maximální střída PWM při použití proporcionálního regulátoru je omezena na 50%.

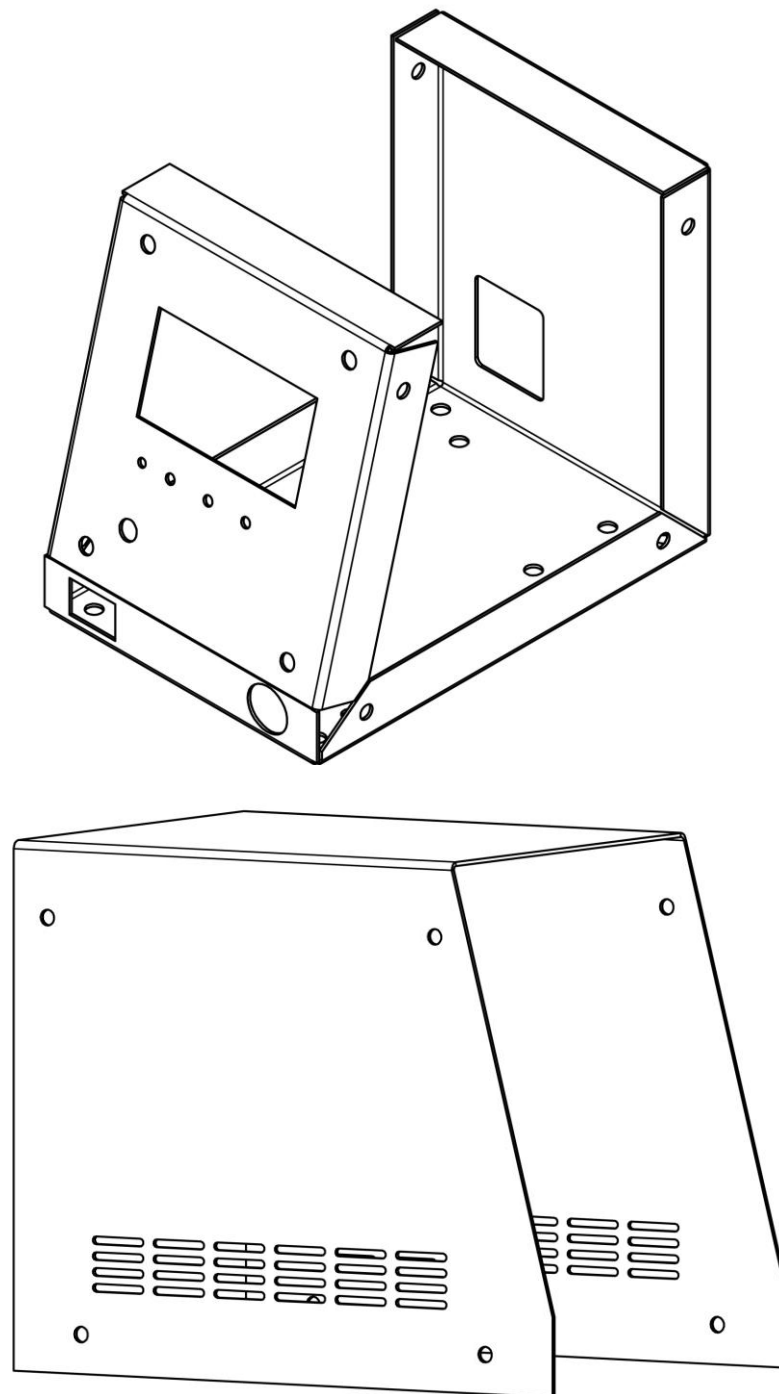
Při dosažení rozdílu teplot  $5^{\circ}\text{C}$  Dojde i ke spuštění integrační složky regulátoru, která je realizována sčítáním regulačních odchylek jednotlivých měření teplot. Pokud se teplota pohybuje v rozmezí  $(0, 5^{\circ}\text{C})$ , pak při každém následujícím měření dochází ke zvýšení integrační složky regulátoru. V rozmezí  $(-5^{\circ}\text{C}, 0)$  je při každém měření integrační složka snížena. Při spuštěné integrační složce regulátoru považujeme teplotu za dosaženou, což nám indikuje zelená LED. Pokud teplota hrotu překročí požadovanou teplotu o více než  $5^{\circ}\text{C}$  (rozdíl nižší než -5), například při nastavení nižší teploty, rozsvítíme červenou LED diodu a vypneme proud do topného tělesa, pro snížení teploty hrotu.

Na displeji se při běhu programu zobrazuje aktuální teplota hrotu pera a teplota, kterou požadujeme. Ve spodní části displeje nad jednotlivými tlačítky máme zobrazeny jednotlivé teploty, které můžeme rychle nastavit jako novou požadovanou hodnotu. Na Obr. 27 je zobrazen vývojový diagram programu pro pájecí stanici.



## 2.5 Konstrukce boxu pro pájecí stanici

Navržené řídicí a výkonové desky společně s transformátorem je potřeba umístit do vhodného boxu. Ten bude zhotoven z ocelového plechu o síle 1mm, což je dostatečná síla která již zabrání následnému prohýbání při osazení a následném přenáší apod. Konstrukce by se měla skládat ze spodní části, kde budou umístěny obě části obvodů, včetně výřezu pro displej, tlačítka, LED diodu a rotační enkodér, přičemž displej bude překryt navíc plexisklem pro ochranu proti poničení panelu. Na této části bude i uchycení stojanu, transformátor, vývod pro pájecí pero a konektor pro připojení do sítě. Druhá část bude tvořit pouze krycí plech pro uzavření celé stanice. Pro zhotovení potřebné dokumentace bylo využito programu Autodesk Inventor 2012 – Student version. Obr.28 zobrazuje díly vytvořené pomocí výše zmíněného programu. Přílohy I a J obsahují výkresy využité při výrobě daných částí.



Obr. 28: Simulace výsledných dílů boxu

### 3 Závěr

Během zpracování dat pro bakalářskou práci jsme se seznámili s pájecími pery dostupnými na trhu jako náhradní díly pro již existující pájecí stanice a bylo zjištěno, že většina běžných pájecích stanic využívá stejný typ pájecího pera, jen s malými odchylkami v provedení, například v barvě umělohmotných částí pera, či v konektoru použitém pro připojení ke stanici. Při šetření použitých zdrojů uvnitř pájecích per jsme bohužel zjistili, že žádné bližší informace nelze zjistit. Proto jsme pouze porovnali použití a konstrukci základních typů zdrojů stejnosměrného napětí, které mohou být použity pro napájení pájecích stanic, z toho jsme si blíže přiblížili lineární zdroj napětí, který byl vybrán pro použití při námi konstruované pájecí stanice.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout, realizovat a zprovoznit pájecí stanici. Výsledkem snažení je kompletní hardwarové řešení pájecí stanice, avšak firmware není stále dokončen. Návrh obvodového řešení a následná realizace desek plošných spojů způsobila velkou časovou prodlevu, která způsobila nedostatek času pro zprovoznění softwarového rozhraní. Na této části je potřeba nadále pracovat. Po uvedení stanice do provozu bude vhodné provést zkušební měření, kdy po nastavení požadované hodnoty vyčkáme, až stanice bude indikovat, že bylo dosaženo požadované hodnoty, a změříme skutečnou hodnotu teploty hrotu. Postupným změřením použitelného rozsahu teplot vyhodnotíme chybu nastavení převodu ADC a provede následnou korekci softwaru pro dosažení vyšší přesnosti.

Cena výroby pájecí stanice se dostala na cenu komponentů necelých 2300kč, tím bylo dosaženo cíle dosáhnout srovnatelné, nebo lepší ceny než u pájecích stanic podobných parametrů dostupných na trhu, jelikož pájecí stanice se zobrazovacím panelem začínají na cenách přibližné námi dosažené. Cena vyrobené stanice by šla ještě snížit použitím například jiného typu displeje, či posléze při výrobě více kusů nákupem součástek s množstevní slevou.

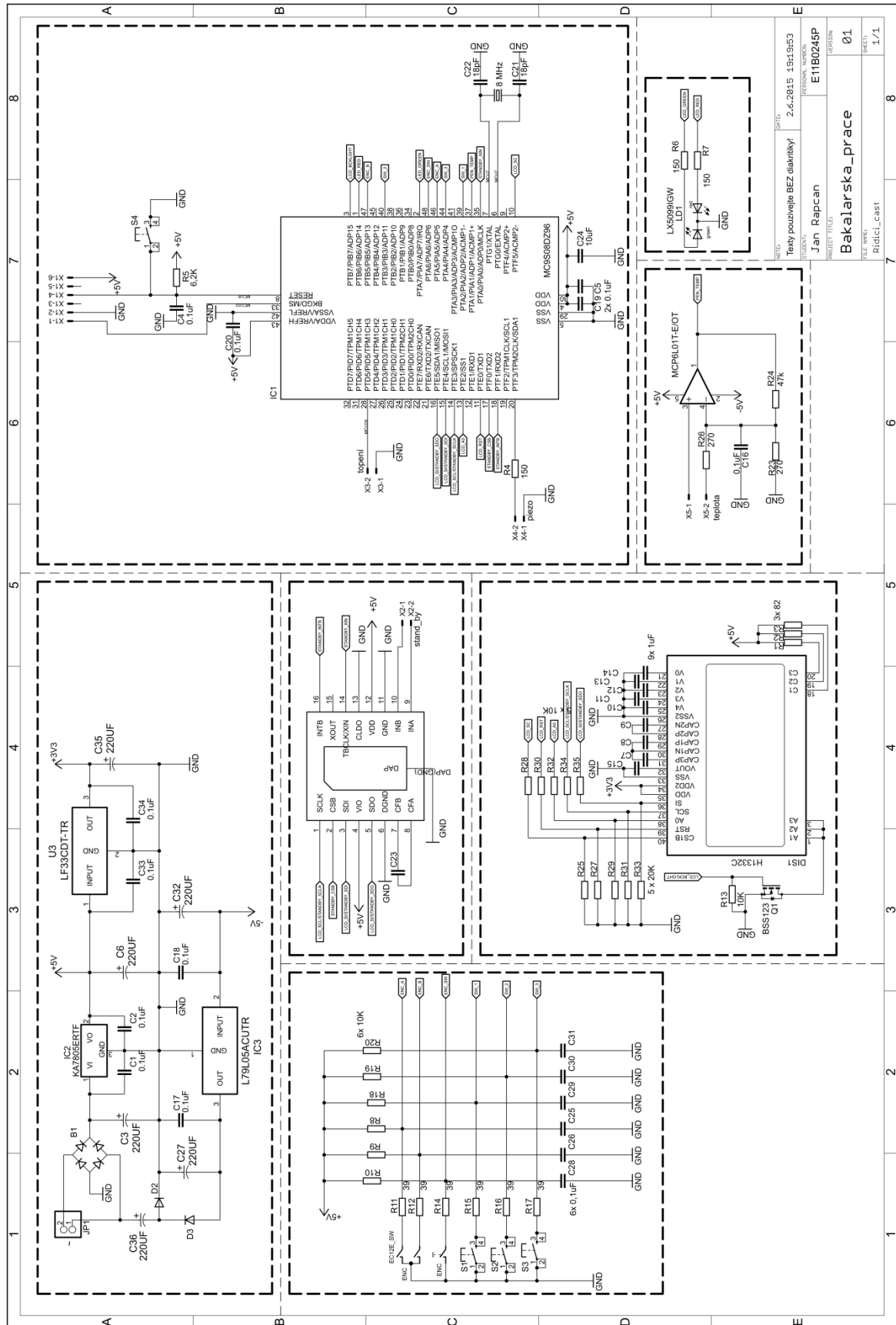
## 4 Použitá literatura

- [1] LUKÁŠ, Štěpán. *Štěpovy osobní stránky: Mikropájčka s elektronickou regulací teploty* [online]. 2007. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://stepa.wz.cz/index.php?page=pajcecka>
- [2] *Pandatron: Pájecí stanice s PIC* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://pandatron.cz/?1422&pajeci\\_stanice\\_s\\_pic](http://pandatron.cz/?1422&pajeci_stanice_s_pic)
- [3] JANÍK, Pavel. *PaJa: Mikropájka 2011* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://www.paja-trb.cz/konstrukce/mikropajka\\_2011.html](http://www.paja-trb.cz/konstrukce/mikropajka_2011.html)
- [4] JANÍK, Pavel. *PaJa: Mikropájka* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.paja-trb.cz/konstrukce/mikropajka.html>
- [5] HAMMERBAUER, Jiří. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*. Plzeň: Fakulta elektrotechnická, 1996.
- [6] Spínaný zdroj. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%ADnan%C3%BD\\_zdroj](http://cs.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%ADnan%C3%BD_zdroj)
- [7] ČERNÝ, Miroslav. *Charakteristiky termistoru* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://physics.fme.vutbr.cz/~mcerny/vyuka/labiny/24.pdf>
- [8] *OMEGA Engineering: Termočlánky - snímače pro měření teploty* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>
- [9] *Electrical engineering: Why do temperature-voltage curves of all thermocouple types pass through the origin?* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://electronics.stackexchange.com/questions/34076/why-do-temperature-voltage-curves-of-all-thermocouple-types-pass-through-the-ori>
- [10] *Farnell* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://farnell.com/>
- [11] *Datasheet: MC9S08DZ96CLF* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data\\_sheet/MC9S08DZ128.pdf](http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08DZ128.pdf)
- [12] Transformátor. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Transform%C3%A1tor>
- [13] *Transformátor: TST50/007* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/katalog/?idp=1&search=TST50W%2F17V&cleanParameters=1>
- [14] *Transformátor: EI-48* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.ecvv.com/product/3225912.html>
- [15] Usměrňovač. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Usm%C4%9Br%C5%88ova%C4%8D>
- [16] Stailizátor napětí. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Stabiliz%C3%A1tor\\_nap%C4%9Bt%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Stabiliz%C3%A1tor_nap%C4%9Bt%C3%AD)
- [17] ZAPLATÍLEK, Karel. *Napájecí zdroje* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [http://user.unob.cz/zaplatilek/Obecne/Skripta\\_napajeci%20zdroje/Skripta\\_napajeci%20zdroje.zip](http://user.unob.cz/zaplatilek/Obecne/Skripta_napajeci%20zdroje/Skripta_napajeci%20zdroje.zip)

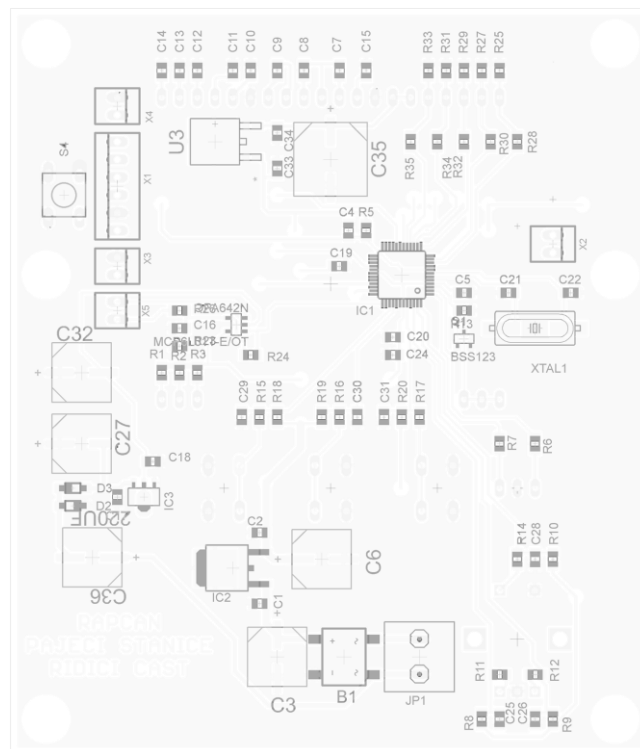
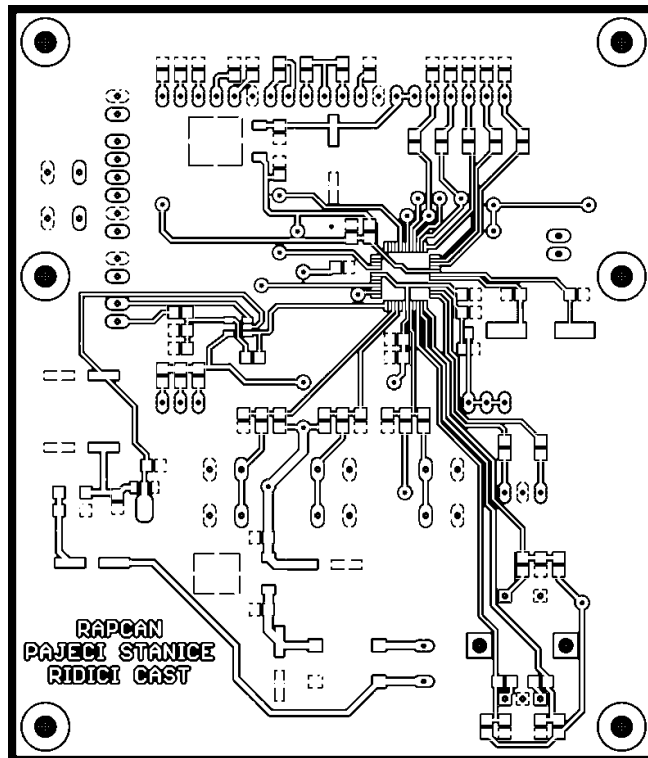
- [18] *Elektronika kvalitně: Použití rotačních enkodérů* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://elektronika.kvalitne.cz/ATMEL/necoteorie/tutorial/RotaryEncoder/RotaryEncoder.html>
- [19] *Datasheet: KA7805* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: [19] <http://www.farnell.com/datasheets/1904989.pdf>
- [20] *Datasheet: EA DOGM128-6* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.lcd-module.com/eng/pdf/grafik/dogm128e.pdf>
- [21] *Datasheet: LDC1000* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/405/lcd1000-556645.pdf>
- [22] *Conrad: Ruční pájení bez kompromisů* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/rucni-pajeni-bez-kompromisu.t1>
- [23] POSPÍŠIL, František. *Program PID regulátoru mikropájky* [online]. [cit. 2015-06-04]. Dostupné z: <http://ok2jnj.ok2kld.cz/ok2jnj/2015/02/program-pi-regulatoru-mikropajky/>

# 5 Přílohy

## Příloha A - Schéma řídicí části

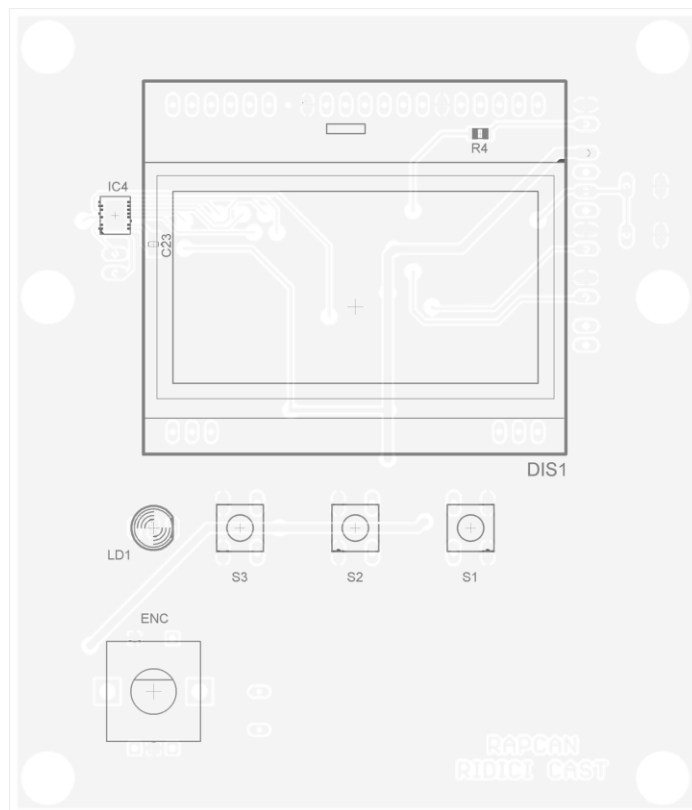
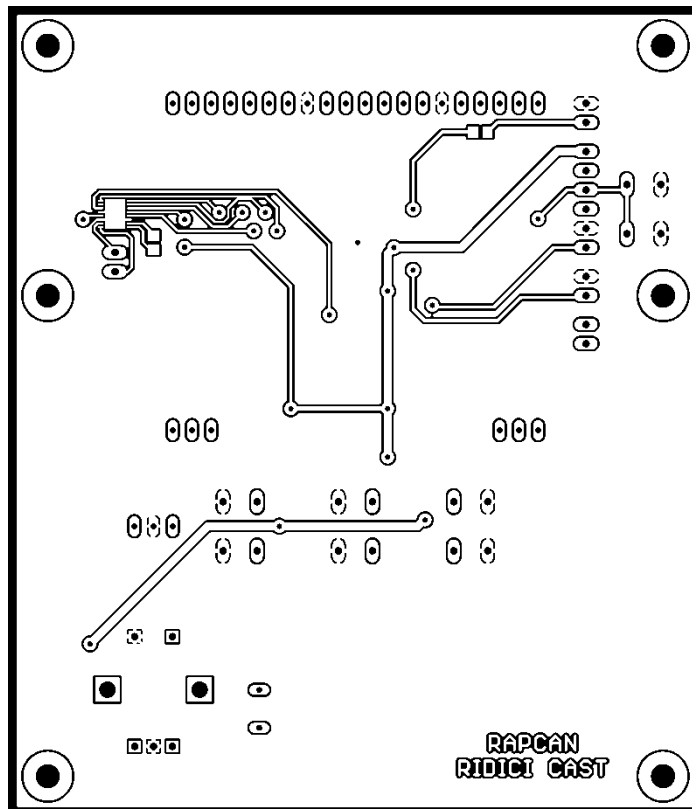


**Příloha B - DPS řídicí část, strana BOT (předloha a osazovací výkres)**

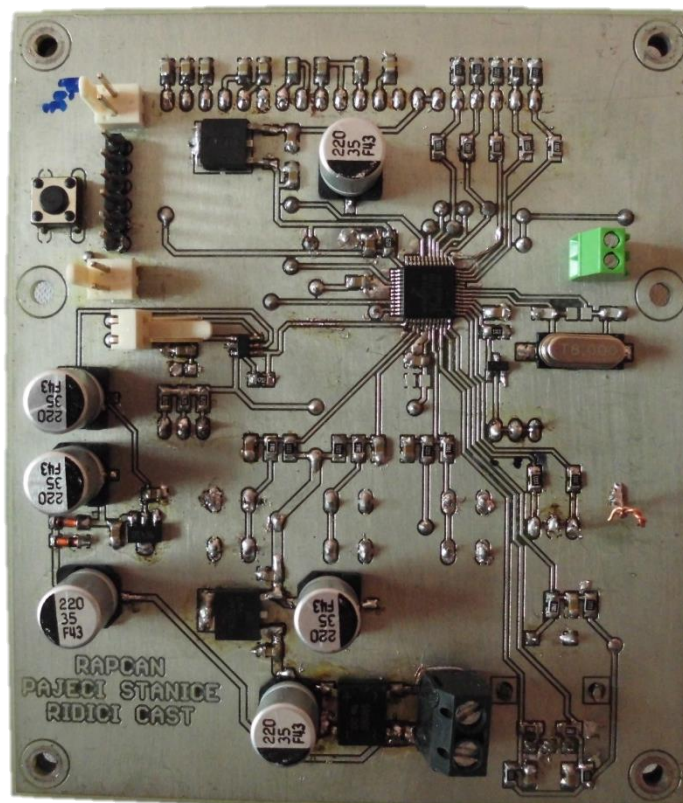




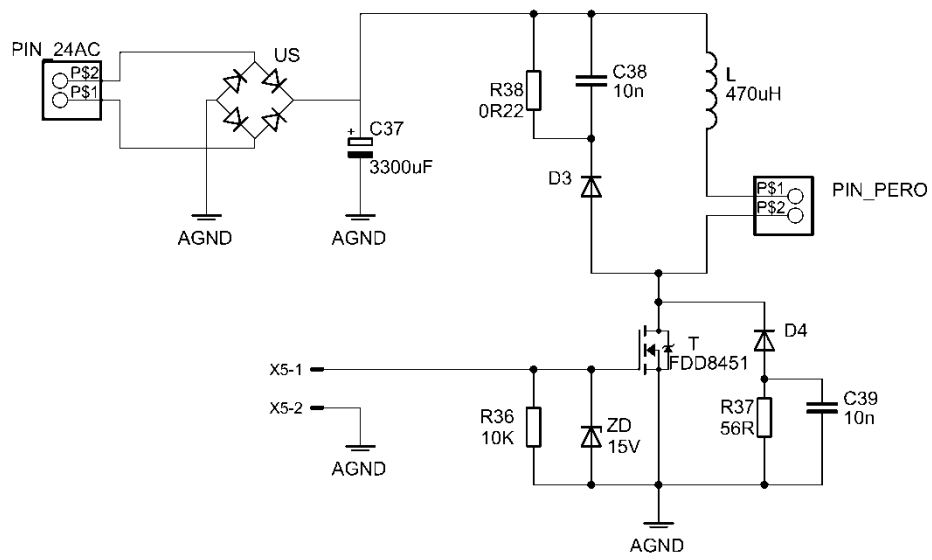
**Příloha C - DPS řídicí část, strana TOP (předloha a osazovací výkres)**



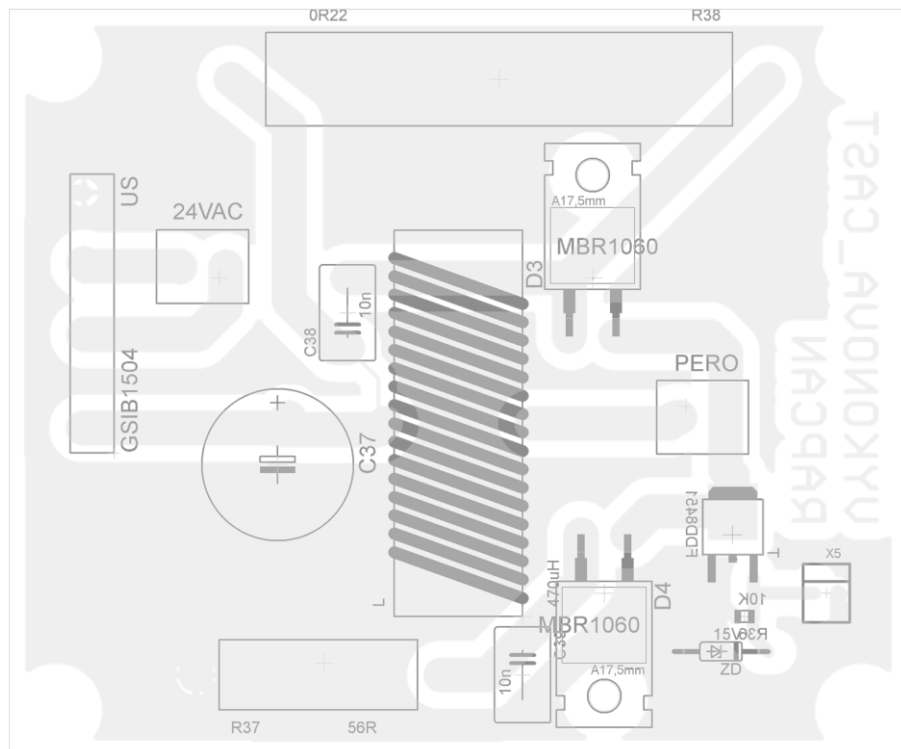
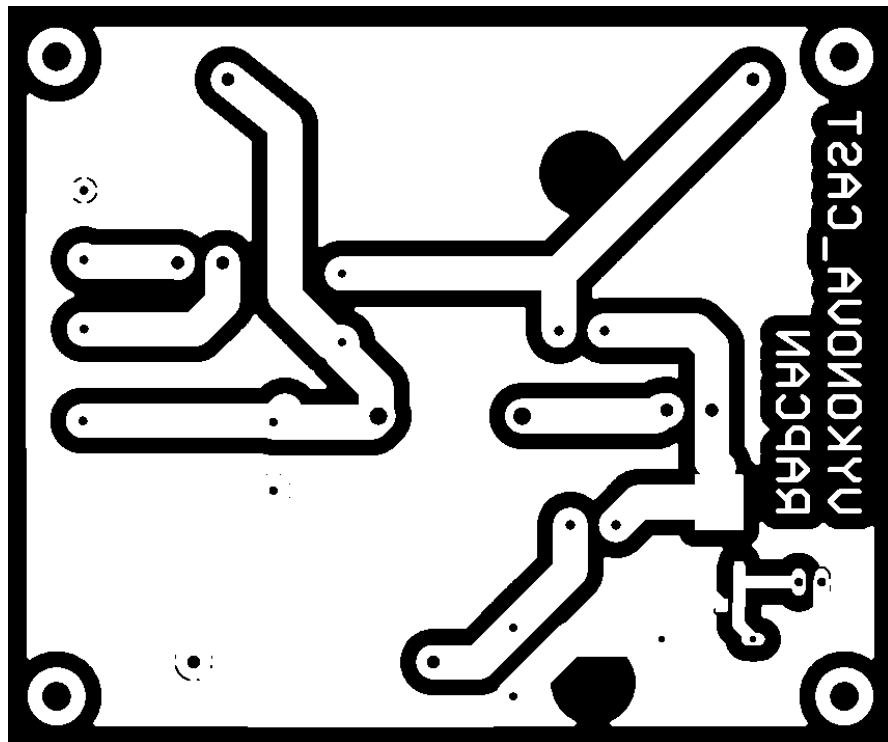
**Příloha D – Osazená DPS řídicí část, strana TOP a BOT**



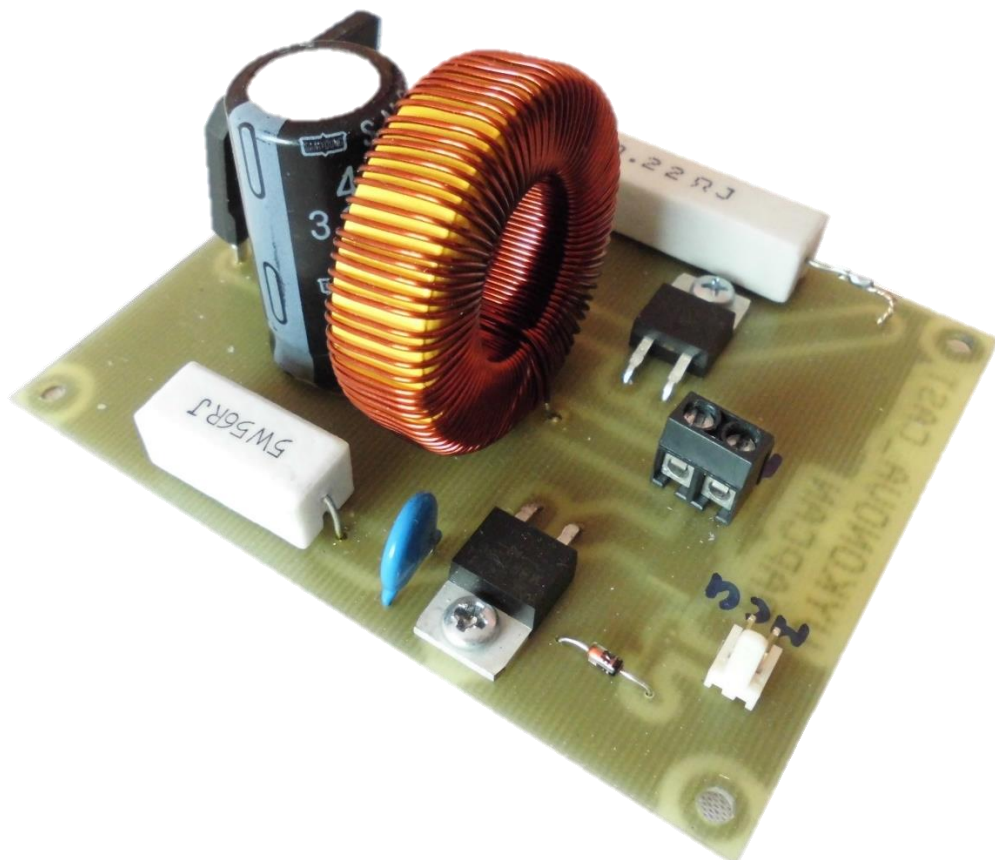
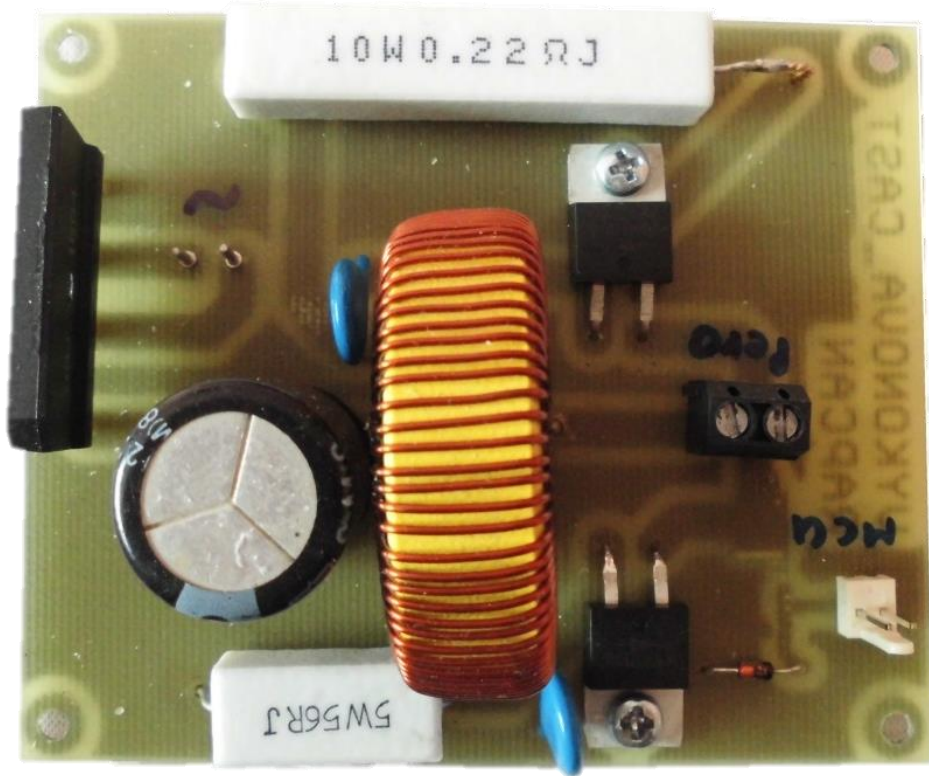
## Příloha E - Schéma výkonové části



Příloha F - DPS výkonová část (předloha a osazovací výkres)



Příloha G - Osazená DPS výkonová část

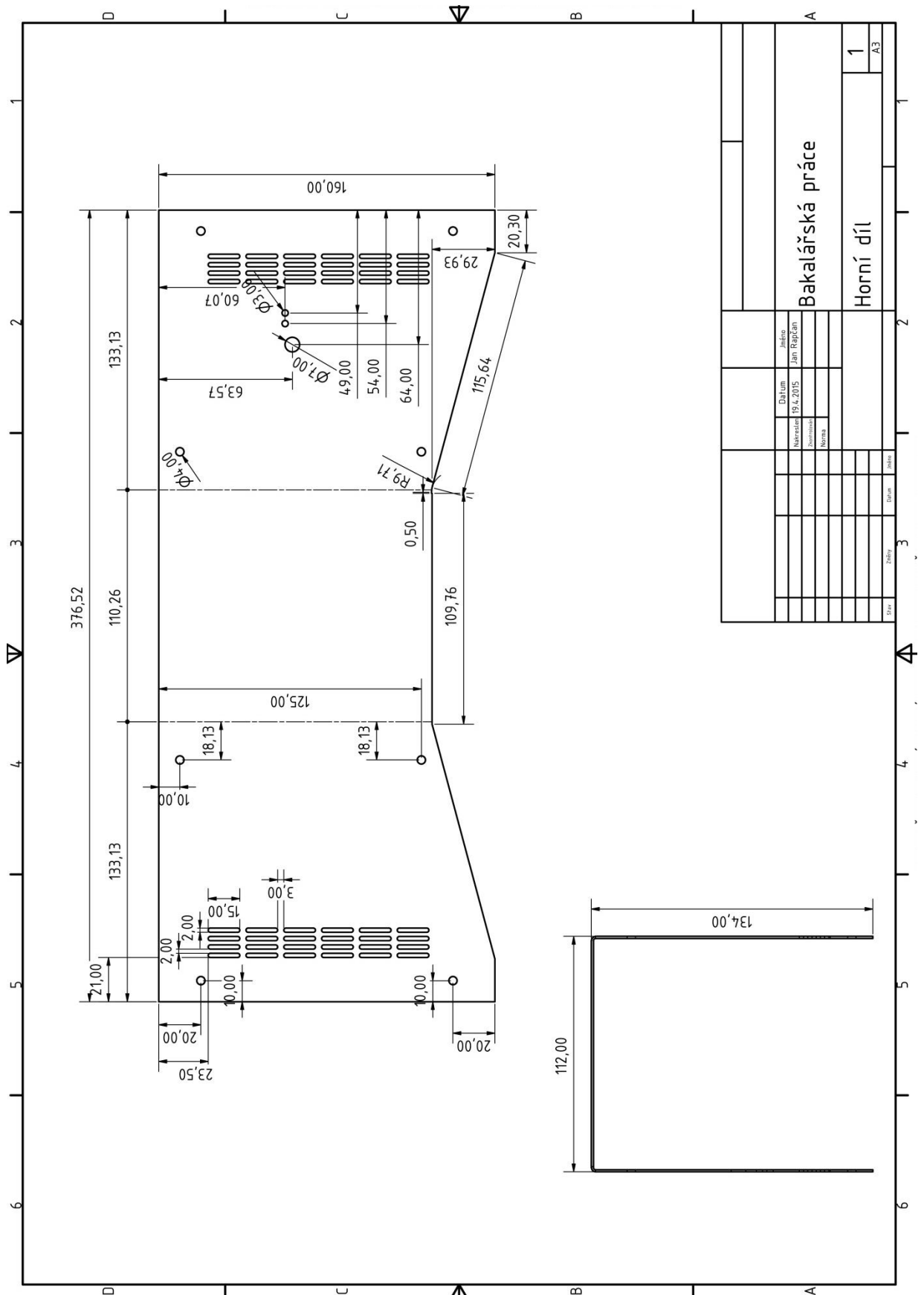


## Příloha H – Seznam použitých součástek

Parts	Value	Pack	Dodavatel	Obj. číslo	Qty	Cena
C1, C2, C4, C5, C16, C17, C18, C19, C20, C25, C26, C28, C29, C30, C31, C33, C34	0,1uF	C0805	Farnell	2407344RL	18	0.30
C3, C6, C27, C32, C36	220uF	CAPAE830X1050N	Farnell	2326134	5	6.168
C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15	1uF	C0805	Farnell	2346937	9	1.34
C21, C22	18pF	C0805	Farnell	2218861	2	8.44
C24	10uF	C0805	Farnell	2425577	1	13.08
C35	220uF	CAPAE1030X1050N	Farnell	2326134	1	6.17
C37	3300uF	E7,5-16	Farnell	1890556	1	59.82
C38, C39	10n	10mm	GES	GES13014619	2	4.60
R1, R2, R3	82	R0805	Farnell	2145565	3	0.30
R4, R7	150	R0805	Farnell	1631371	2	0.069
R5	6K2	R0805	Farnell	1632506	1	0.103
R6, R21	124	R0805	Farnell	2397998	2	0.10
R8, R9, R10, R13, R18, R19, R20, R28, R30, R32, R34, R35, R36	10K	R0805	Farnell	1653284	13	2.10
R11, R12, R14, R15, R16, R17	36,5	R0805	Farnell	2141719	6	1.20
R22	3M9	R0805	Farnell	2324063	1	2.148
R23, R26	200	R0805	Farnell	1653294	2	2.46
R24	40K2	R0805	Farnell	1653299	1	2.45
R25, R27, R29, R31, R33	20K	R0805	Farnell	2129219	5	0.024
R37	56R0	-	GES	GES05301903	1	4.50
R38	0R22	-	GES	GES05302034	1	8.60
IC1	MC9508DZ96	TQFP48_7X7	Farnell	1622707	1	107.47
IC2	KA7805ERTF	TO252	Farnell	2102585	1	22.03
IC3	L79L05ACUTR	SOT89-3	Farnell	2474026	1	3.03
IC4	LDC1000NHRT	WSON	Farnell	2360420	1	155.64
DIS1 a	EAD0GL128W-6	-	SOSelectronic	69518	1	454.38
DIS b	EA LED55X46-W	-	SOSelectronic	60688	1	335.31
ZD	ZF15/BZX55C15	DO35	GES	GES04900067	1	1.20
D2, D3	RB521S30T1G	SOD123	Farnell	2317433	2	0.688
D1, D4	MBR1060	DO220	GES	GES04900203	2	16.90
LD1	LX5099IGW	DUOLED-C-5MM	Farnell	2062474	1	7.40
ENC	EC12E_SW	ALPS_EC12E_SW	Farnell	1520813	1	41.29
X1	-	22-23-2061	Farnell	1462922	1	10.244
X2, X3, X4, X5, X5	22-23-2021	22-23-2021	Farnell	1462926	5	3.123
JP1, JP6, JP7	ARK500/2 B	1X02	GME	821-124	3	4.03
S1, S2, S3, S4	B 6018	DTS-6	GES	GES06500320	4	1.90
U1	BSS123-7-F	SOT95P240X110-3N	Farnell	1843725	1	1.38
U2	MCP6L01T-E/OT	SOT95P270X145-5N	Farnell	1715852	1	5.645
U3	LF33CDT-TR	TO228P972X240-3N	Farnell	2112623	1	33.62
T	FDD8451	DPACK	Farnell	1854389	1	36.52
XTAL1	4kHz	HC49UP	Farnell	1667009	1	28.06
OK1	SFH6186-2	SMD4-7	Farnell	1469583	1	15.14
B1	DF02S-E3/45	DFS	Farnell	2098043	1	11.70
B2	GSIB1504	GSIB-5S	Farnell	1861524	1	9.79
C23	-	C805	Farnell	-	1	-
<b>Součástky mimo DPS</b>						
Piezo	MCKPR3-G4210-4136	-	Farnell	1756486	1	26,572
Síťový konektor	KES 35I/20	-	GES	GES06614247	1	8,90
Stojan	SL-916	-	GME	730-355	1	123,00
X2-6/2	22-01-3027		Farnell	1462825	5	1,514
X1/2	22-01-2065		Farnell	143129	1	8,295
TL	WSB 2100		GES	GES06500408	1	9,90
TR	TST 060/112	60VA, 230V/12V	GES	GES07506999	1	339,00
Pero	ZD-931	48W/ 24V	Puhy.cz	t_06540110	1	199,00



**Příloha J – Výkres boxu pro pájecí stanici, horní část, rozvin**





## Příloha K – Výsledná pájecí stanice

