



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

PÁJECÍ STANICE

SOLDERING STATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Golian

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Dominik Golian

ID: 220979

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Pájecí stanice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte průzkum trhu ohledně pájecích stanic.
2. Navrhněte koncepci pájecí stanice, která bude umožňovat plynulou regulaci teploty v rozmezí 150 až 450 °C. Je požadován režim stand-by a zvuková signalizace. Nakreslete blokové schéma.
3. Zvolte vhodný snímač teploty a mikrokontrolér. Navrhněte obvodové schéma řídicí elektroniky, stanovte hodnoty a typy jednotlivých součástek.
4. Navrhněte desky plošných spojů a mechanické uspořádání.
5. Pájecí stanici realizujte a oživte elektronické obvody.
6. Vytvořte a omlaďte softwarové vybavení pro mikrokontrolér.
7. Pájecí stanici otestujte a zhodnoťte dosažená výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Základní problémy při pájení s bezolovnatými pájkami. In: SMT Centrum [online]. 2013 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/vyber-pajeci-techniky/vhodne-pokoveni-pajecich-hrotu-pro-bezolovnate-pajeni/>
- [2] Mikropájka 2011. In: JANÍK, Pavel. PaJa - trb [online]. 2013 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: http://paja-trb.cz/konstrukce/mikropajka_2011.html

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 23.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cieľom práce je zhotoviť funkčnú spájkovaciu stanicu ktorá bude dosahovať kvalít komerčných výrobkov. Samotný návrh sa nezaobíde bez potrebných znalostí z tejto oblasti. Preto je v úvode práce poskytnutý rýchli náhľad do problematiky spájkovania. Na základe prieskumu trhu sú určené špecifikácie výrobku. Stanica je riadená mikrokontrolérom, čo umožní implementáciu užitočných funkcií z niekoľkých porovnávaných spájkovačiek. V praktickej časti je podrobne popísané elektrické riešenie s návrhom dosky plošných spojov. Ďalej je tu opísaný program, ktorý sa stará o funkčnosť celého výrobku. Riadiaca štruktúra, ktorá reguluje teplotu pera, bola zvolená na základe identifikácii systému. Výstupom je výrobok, ktorý spĺňa zadané ciele.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Spájkovačka, mikrokontrolér, rezistor, termočlánok, prevodník, tranzistor, input, interrupt

ABSTRACT

The goal of this paper is to create a functional soldering station, which would achieve the quality of commercially available products. The design itself will not be satisfactory without sufficient knowledge of the field. Thus the introductory chapter focuses on a quick overview of matters concerning soldering. The attributes are chosen based on market research. The station is equipped with a microcontroller. This allows implementation of useful functions of several of the compared soldering stations. The practical part contains the electrical solutions and circuit board design. The program taking care of functionality of the entire product is described next. Control structure regulating the iron's temperature was selected based on system identification. The result is a product, which satisfies all the requirements.

KEYWORDS

Soldering iron, microcontroller, resistor, thermocouple, converter, transistor, vstup, prerušenie

GOLIAN, Dominik. *Pájecí stanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2022, 63 s. Bakalářská práce. Vedúci práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Dominik Golian
VUT ID autora: 220979
Typ práce: Bakalárska práca
Akademický rok: 2021/22
Téma závěrečnéj práce: Pájecí stanice

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomášovi Machovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	12
1 Spájkovanie	13
2 Prieskum trhu ohľadne spájkovačiek	17
2.1 Transformátorová pištoľová spájkovačka	17
2.2 Mikrospájkovačka napájaná priamo zo siete	17
2.3 Plynová spájkovačka	18
2.4 Spájkovacia stanica	19
2.5 Porovnanie parametrov jednotlivých spájkovacích staníc	20
2.5.1 Porovnanie vymeniteľných hrotov	20
3 Návrh elektronických obvodov	23
3.1 Meranie teploty	24
3.2 Návrh spínacej výkonovej časti	26
3.3 Obvod na detekciu prechodu nulou	28
3.4 Výber zobrazovacej jednotky	29
3.5 Výber ovládacieho prvku a signalizácie	31
3.6 Detekcia pera v stojane	32
3.7 Výber vhodného mikrokontroléru	33
3.8 Návrh napájacieho zdroja	35
3.9 Návrh dosky plošných spojov	36
4 Software	39
4.1 Konfigurácia USART pre výpis kontrolných správ	40
4.2 Konfigurácia SPI0 pre komunikáciu s MAX6675	41
4.3 Ovládanie výkonových prvkov	42
4.4 Čítanie polohy rotačného enkodéru	44
4.5 Uloženie nastavení pred vypnutím	46
4.6 Návrh PSD regulátoru	46
4.6.1 Voľba štruktúry regulátoru a nastavenie parametrov	48
Záver	50
Literatúra	51
Zoznam symbolov a skratiek	55
Zoznam príloh	56

A Schéma zapojenia	57
B Vrchá a spodná časť DPS	58
C Osadzovací plán a podložka pre pastu	59
D Vrchná strana výrobku	60
E Predná strana výrobku	61
F Predná strana s otvoreným krytom výrobku	62
G Obsah elektronickej prílohy	63

Zoznam obrázkov

1.1	Spájka	13
1.2	Spájkovacia pasta	14
1.3	Spájkovačka	15
1.4	Studený spoj	16
2.1	Transformátorová spájkovačka	17
2.2	Mikrospájkovačka	18
2.3	Plynová spájkovačka	19
2.4	Spájkovacia Stanica	19
2.5	Vnútorne zapojenia pier	21
2.6	Zapojenia spínacej časti	22
3.1	Bloková schéma spájkovace	23
3.2	Schéma analógovej časti	24
3.3	Schéma pripojenia prevodníku MAX6675	26
3.4	Schéma spínacej časti a časti pre meranie teploty	27
3.5	Detekcia priechodu nulou	28
3.6	Detekcia priechodu nulou	29
3.7	Použitý LCD display s radičom HD44780	29
3.8	Zapojenie LCD displaya	30
3.9	Zapojenie enkodéru, zvukovej a svetelnej signalizácie	31
3.10	Zapojenie pre detekciu uloženia pera v stojane	32
3.11	Vývojová doska ATMEGA328PB-XMINI	33
3.12	Vnútorná štruktúra AtMega328-PB	34
3.13	Schéma napájacieho zdroja	35
3.14	Ukážka návrhu komponentu	37
3.15	Vrchná a spodná strana navrhutej dosky plošných spojov	38
4.1	Vývojový diagram hlavného programu	39
4.2	Komunikácia na zbernici USART	40
4.3	Možnosti nastavenia preddeličky pre SPI0	41
4.4	Komunikácia medzi MCU a MAX6675	42
4.5	Rasterizácia úsečky	43
4.6	Ukážka PDM regulácie	44
4.7	Ukážka bouncing efektu	45
4.8	Zmeraná prechodová charakteristika pri teplote 24°C	47
4.9	Regulačná schéma	48
4.10	Regulačná schéma	49
A.1	Schéma zapojenia	57
B.1	Vrchná časť DPS	58

B.2	Spodná časť DPS	58
C.1	Osadzovací plán pre spodnú časť	59
C.2	Osadzovací plán pre vrchnú časť	59
C.3	Podložka pre nanesenie pasty	59
D.1	Vrchná strana spájkovačky	60
E.1	Predná strana spájkovačky	61
F.1	PPredná strana s otvoreným krytom spájkovačky	62

Zoznam tabuliek

2.1	Porovnanie parametrov pier	20
-----	--------------------------------------	----

Úvod

V obore elektrotechniky je ručná spájkovačka nevyhnutným nástrojom pri opravách, výrobe prototypov a kusovej výrobe. Cieľom tejto práce bolo využiť doposiaľ získané znalosti ku návrhu spájkovacej stanice, ktorá by sa svojimi parametrami dokázala vyrovnáť bežne dostupným spájkovacím staniciam.

Začiatok práce sa venuje základným pojmom z oblasti spájkovania a opisuje základné pomôcky, ktoré sú pri tejto činnosti nevyhnutné. Podrobnejšie opisuje bežne dostupné spájkovačky, spájkku, jej hlavné vlastnosti a závady spájkovaného spoja, ktoré pri tejto činnosti vznikajú.

Pre stanovenie parametrov výrobku bol vykonaný prieskum trhu zameraný na bežne dostupné spájkovačky. V tejto časti sú opísané konštrukčné riešenia komerčných výrobkov, ich vlastnosti, výhody a nevýhody. Následne budú porovnané parametre a funkcie profesionálnych a poloprofesionálnych spájkovacích staníc, ktoré nám budú definovať vlastnosti výrobku. Podrobnejší rozbor bude venovaný vnútorným zapojeniam spájkovacích pier, od ktorých sa odvíja celkový návrh zapojenia. Samotný výrobok by mal byť konkurencie schopný, čo sa týka dosiahnutých parametrov a ceny výrobku bez ohľadu na návrh a vývoj riešenia.

Ďalším krokom bude návrh elektronických obvodov. V úvode kapitoly sú popísané jednotlivé riešenia, na základe ktorých bola zhotovená bloková schéma. Podľa blokovej schémy bol celý návrh rozdelený na jednotlivé funkčné celky, kde je podrobne popísaný postup návrhu s voľbou hodnôt komponentov. Veľká časť je venovaná meraniu teploty, bez ktorého by samotná realizácia nebola možná. Keďže digitálna technika postupne nahrádza analógovú, celú stanicu bude riadiť vhodne zvolený mikrokontrolér. Po odskúšaní funkčnosti zapojenia postup pokračuje návrhom dosky plošných spojov.

Následujúca časť práce sa venuje programovaniu mikrokontroléru. Stanica bude riadená vhodne navrhnutým firmwarom, ktorý zabezpečí jej funkčnosť. Jeho hlavnou úlohou bude udržiavať konštantnú teplotu na hrote spájkovačky vhodne nastaveným regulátorom. Štruktúra riadenia súvisí s vlastnosťami riadenej sústavy, a preto ju bude najprv potrebné analyzovať.

Výstupom práce by mal byť plne funkčný výrobok spĺňajúci zadané ciele a mal by dosahovať parametre komerčných spájkovacích staníc.

1 Spájkovanie

Spájkovanie je spôsob metalurgického spojovania kovových súčastí roztavenou spájkou. Spájané plochy nie sú natavované, ale len zmáčané použitou spájkou. Hlavnou podmienkou spájkovania je dobrá zmáčanlivosť spojovaného materiálu tekutou spájkou. Zmáčanlivosť definuje, ako ľahko sa dajú dané kovy spájkovať a je rozdelené do niekoľkých tried. Kovy ako meď, zlato a striebro vykazujú vysokú zmáčanlivosť. Oceľ a hliník patria do skupiny so zlou spájkovateľnosťou. Spájkovanie sa používa pri prepojení elektrických komponentov v inštalatérstve (spájanie potrubí), šperkárstve.[1]

Nahriate plochy sú spájané tavenou spájkou. Spájka je prídavný pojivý materiál s nižšou teplotou tavenia ako spojované body. Pri jej výrobe je požadovaná vysoká kvalita výrobných materiálov, inak sa zhoršujú deformačné vlastnosti v oblasti spoja a korózna odolnosť spoja.[1] Podmienkou pre vznik spájaného spoja je vytvorenie difúznej vrstvy na rozhraní spájky a spájanej plochy. [3] Spájky sa delia na dve



Obr. 1.1: Spájka [2]

hlavné skupiny, mäkké a tvrdé. Mäkké sú definované teplotou tavenia do 450°C a používajú sa hlavne v elektronike. Tvrdé spájky majú teplotu tavenia nad 450°C.[3] Spájky sa značia podľa medzinárodného štandardu IIW (International Institute of Welding). Prvé písmeno je B a značí, že sa jedná o prídavný materiál pre spájkovanie. Druhý znak udáva chemické zloženie spájky, pričom číslo za ním udáva priemerný obsah zloženia v %. Tretí znak udáva pomer hodnoty likvidu a solidu spájky.[1]

Spočiatku sa v spájkach používalo olovo, cín a iné prídavné kovy. Pre svoje dobré fyzikálne a chemické vlastnosti, spoľahlivosť a ekonomické parametre boli používané v elektronickom priemysle. Od 1.7.2006 je ich používanie zakázané kvôli toxicite a znečistenia prostredia olovom. V niektorých oblastiach priemyslu však existujú výnimky. [3] Olovnatá spájka bola postupne nahradená bezolovnatou spájkou. Tú tvoria najmä zliatiny cínu a iných kovov (striebro, antimon...) s pracovnou teplotou od 180°C do viac ako 230°C. Cín je v týchto spájkach aktívnou zložkou a pôsobí dobrou zmáčanlivosťou. Obsah cínu v zásadnej miere ovplyvňuje kvalitu spájania. Podľa danej aplikácie sa používajú spájky s rôznym priemerom a zložením. [1]

Pri spájkovaní SMD komponentov sa používajú spájkovacie pasty. Sú to homogénne zmesi častíc kovov s odpovedajúcim zložením spájky s technologickou zložkou. Tá sa skladá z tavidla a príslušného rozpúšťadla s aktivátorom. Rozpúšťadlo upravuje spájkovú zmes do pastovitého stavu s potrebnou viskozitou a zaisťuje tixotropné vlastnosti. Pre spájkovanie pretavením sú nanášané roztieraním cez šablónu. Jednotlivé pasty sa od seba líšia zložením, viskozitou a teplotou tavenia. [3]



Obr. 1.2: Spájkovacia pasta [6]

Pri vystavení kovu vplyvu ovzdušia vzniká na povrchu oxid. Jeho hrúbka závisí na druhu kovu a je úmerná teplote a dobe ohrevu kovu na vzduchu. Tvorba oxidu je pri spájaní nepriaznivá vlastnosť, preto je pre väčšinu materiálov potrebné použiť tavidlo alebo vytvoriť ochrannú atmosféru. Tavidlo sa skladá z rozpúšťadla a chemického aktivátoru. Jeho úlohou je rozpúšťať oxidy a nečistoty na povrchu spájanej plochy. Taktiež bráni ich vzniku a tým zlepšuje zmáčanlivosť základného materiálu zmáčanou spájkou. Pomocou spájky dochádza k rovnomernému rozloženiu teploty

tavenia na celej spájkanej ploche. Teplota tavenia a hustota tavidla musí byť vždy nižšia ako hustota a teplota tavenia spájky. Zbytky tavidla sa musia dať po spájkovaní odstrániť a nesmú byť príčinou korózie v prípade, keď sa neodstránia. [1]

Teplo je do spájkovaného miesta dodávané pomocou spájkovačky. Spájkovačka sa primárne skladá z rukoväte a hrotu, ktorý je zhotovený z kompatibilných kovov so spájkou a do miesta spoju dodáva teplo a spájkku. Veľkosť hrotu sa volí podľa danej aplikácie, tepelnej vodivosti a prístupnosti spoja. Ostré hroty sú vhodné pre spoje s horším prístupom, dotyková plocha medzi spojom a hrotom je malá čo má za následok veľký tepelný odpor. Tupé hroty majú menší tepelný odpor medzi spojom a hrotom, väčšiu tepelnú kapacitu ale horšiu manipulovateľnosť. Na vyhrievanie hrotu sa zvyčajne používa elektrická energia (napájanie zo siete alebo cez transformátor) alebo plyn (pri prenosných spájkovačkách). [1]



Obr. 1.3: Spájkovačka [7]

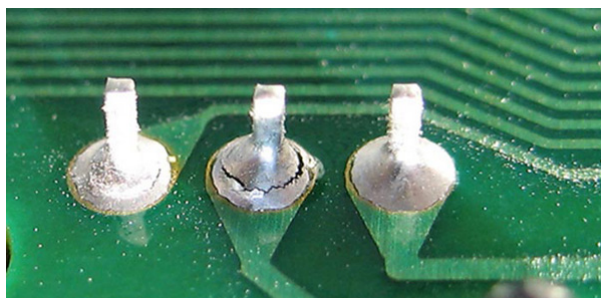
Dneska sa najčastejšie používajú spájkovačky napájané elektrickou energiou. Teplo vzniká priechodom skratového prúdu v bode s najväčším elektrickým odporom (vyhrievacie teleso). [1] Niektoré spájkovačky sú napájané priamo zo sieťového napätia. Majú väčšie rozmery a hmotnosť spájkovacieho pera a dlhú dobu nahrievania. Iné typy používajú pre zníženie napätia transformátor. Sekundárne vinutie transformátoru je zaťažené odporom vyhrievacieho telesa. Moderné spájkovačky majú transformátor umiestený mimo zariadenia. Sú vybavené elektrickým obvodom ktorý zabezpečuje tepelnú stabilizáciu hrotu a môže mať aj prídavné funkcie ako sú napríklad zvuková signalizácia, automatické vypnutie pri nečinnosti a ďalšie. [1]

V priemysle sa používajú iné metódy zohrievania spájkovaného miesta. SMD komponenty sú spájkované v teplovzdušných peciach. Komponenty typu THT sa

spájkujú vlnou. Povrch dosky plošného spoja je zmáčaný pomocou vln z roztavenej spájky.

Pri samotnom spájkovaní môžu vznikať rôzne chyby spájkovaného spoja. Prítomnosť rôznych chýb v spájkovanom spoji do značnej miery ovplyvňuje jeho užitočné vlastnosti. V bežnej praxi nie je možné dosiahnuť ideálny spoj bez chýb. Ich povolený rozsah a množstvo je podľa požiadavkou, ktoré sú kladené prevádzkou na spájkovaný spoj. Chyby spájkovaných spojov sa delia na plošné a priestorové. Medzi plošné patria nezmočené miesta, zanesené zbytky tavidla v mieste spoja, trhliny. Priestorové tvoria najmä póry, dutiny, nedokonalo vyplnené spoje spájkou.

Častou príčinou nefunkčnosti elektrického obvodu je studený spoj. Studený spoj vzniká, ak je spájkovaná plocha ohriata na nižšiu teplotu ako je teplota spájkovania. Prehriatie spojovaných materiálov dôsledkom vysokej spájkovacej teploty spôsobí hrubnutie zrna základného materiálu. Pri ohreve dochádza k vzniku veľkého vnútorného mechanického napätia, deformáciám dielov a k trhlinám. [1]



Obr. 1.4: Studený spoj [8]

2 Prieskum trhu ohľadne spájkovačiek

2.1 Transformátorová pištoľová spájkovačka

Obsahuje transformátor s primárnym vinutím pripojeným cez spínač na prívodný vodič sieťového napätia. Na sekundárnom vinutí transformátoru sa indukuje relatívne veľmi malé napätie a vyšší sekundárny prúd ktorý preteká drôtovým hrotom. To spôsobí pri stlačení spínača zahrievanie hrotu na niekoľko stoviek °C. Ohrievanie hrotu prebieha veľmi rýchlo a je závislé od použitého hrotu a výkonu spájkovačky. Teplota hrotu sa reguluje pomocou dĺžky stlačenia spínača a pri dlhom stlačení dochádza k prepaľovaniu spájky a samotného hrotu. Pri stlačení a uvoľnení spínaču sa na hrote spájkovačky indukuje krátky pulz pomerne vysokého napätia. Pri spájkovaní niektorých citlivých súčiastok by ich tieto pulzy mohli poškodiť alebo zničiť. Tento druh spájkovačky nie je vhodný pre komponenty typu SMD kvôli veľkosti hrotu. Ďalšou veľkou nevýhodou je samostatná veľkosť a hmotnosť spájkovačky. [4]



Obr. 2.1: Transformátorová spájkovačka [5]

2.2 Mikrospájkovačka napájaná priamo zo siete

Skladá sa z rukoväte, ktorá svojim tvarom pripomína pero a vyhrievacieho telesa. Oproti transformátorovým spájkovačkám majú nižšiu hmotnosť, vďaka čomu sa s nimi lepšie pracuje. Vyhrievacie teleso je zhotovené z odporového drôtu, ktorého elektrický odpor je závislý od dĺžky, hrúbky a materiálu odporového drôtu. Vyhrievacie teleso je väčšinou priamo napájané zo siete bez teplotnej regulácie a tepelnej

ochrany. Z toho plynie aj dlhá doba ohrievania hrotu a najmä zlá stabilita pracovnej teploty, ktorá sa počas prevádzky môže výrazne meniť. Pri dlhej dobe činnosti sa hrot môže nahriať na vysokú teplotu a zničiť celý prístroj. Niektoré druhy obsahujú dvojstavovú reguláciu a základnú tepelnú ochranu. Tento druh spájkovačiek väčšinou neumožňuje reguláciu teploty hrotu.



Obr. 2.2: Mikrospájkovačka [9]

2.3 Plynová spájkovačka

Oproti spájkovacím perám sa hrot vyhrieva spaľovaním plynu. Dizajnom pripomínajú spájkovacie perá ale majú kompaktnejšie rozmery a sú viac odľahčené. Majú zabudovaný zásobník plynu, vzhľadom na ktorý je definovaná dĺžka prevádzky. Teplota hrotu sa reguluje pomocou prítoku plynu do trysky ale nemá zabudovaný regulátor, ktorý by zabezpečil stabilitu teploty pri spájkovaní. Čas ohrevu hrotu na pracovnú teplotu je relatívne dlhý, kvôli tepelnej kapacite samotného hrotu. Väčšinou sú kompatibilné s bežne dostupným kvapalným butánom, ktorým sa naplňajú zapaľovače. Na rozdiel od iných druhov spájkovačiek, sa pri spájkovaní elektrických komponentov používa minimálne. Taktiež je vhodná na tavenie, rezanie za tepla, zváranie alebo vypaľovanie vzorov do dreva a kože.



Obr. 2.3: Plynová spájkovačka [10]

2.4 Spájkovacia stanica

Spájkovačky tohto typu sa skladajú zo samostatného spájkovacieho pera a stanice so stojanom. V hrote spájkovacieho pera je umiestnené topné teleso spolu so snímačom teploty, ktoré sú prepojené so stanicou. Ako snímače teploty sa najčastejšie volia termočlánky typu K, ktorých teplotný rozsah pokrýva pracovný rozsah teplôt topného telesa. V stanici je umiestnený transformátor, ktorý znižuje sieťové napätie pre výhrev hrotu a riadiacu elektroniku. Galvanické oddelenie sekundárnej časti transformátoru znižuje riziko úrazu zásahu operátora spájkovačky. Riadiaca elektronika zabezpečuje rýchly náběh nastavenej teploty a jej stabilizáciu. Niektoré typy používajú analógový regulátor zostavený z operačných zosilňovačov. Väčšina staníc používa diskkrétne riadenie pomocou mikrokontroléra, ktorý sa stará aj o prídavné funkcie. Pre spínanie výkonovej časti spájkovačky sa používajú polovodičové spínacie prvky.



Obr. 2.4: Spájkovacia Stanica [11]

2.5 Porovnanie parametrov jednotlivých spájkovacích staníc

Na trhu je veľké množstvo výrobcov spájkovačiek a príslušenstva pre spájkovanie. Najčastejšie sa delia podľa ceny a to pre hobby použitie, poloprofesionálne a profesionálne. Podľa ceny sa odvíjajú aj jednotlivé parametre a kvalita prevedenia. Ďalej sa líšia od výkonu, ktorý môže byť od niekoľko desiatok W až po stovky W. Jednotlivé spájkovacie stanice majú rozdielne dodatočné funkcie, ktoré hlavne súvisia s úsporou energie, bezpečnosťou, kalibráciou a zjednodušením obsluhy prístroja. Spájkovacie perá sú napájané jednosmerným alebo striedavým nízkym napätím. Niektoré stanice sú napájané pomocou externého zdroja s nízkym napätím.

Spájkovacia stanica	PACE ADS200	HAKKO FX888D	Weller WHS 40D	YIHUA 862BD+
výstupný výkon[W]	120	65	40	75
teplota hrotu[°C]	177-454	50-480	150-450	200-480
výstupné napätie [V]		26		
stabilita teploty	1,1°C	1°C		2°C
Dodatočné funkcie	kalibrácia teploty	kalibrácia teploty		kalibrácia PID
	nastavenie rozsahu	zámka		úsporný mód
	zámka	prednastavená teplota		
	časovač vypnutia			
	časovač spánku			
	prednastavená teplota			
Spájkovacia stanica	QUICKO T12 952	TS100	Weller WE1010NA	
výstupný výkon[W]	108	65	70	
teplota hrotu[°C]	200-480	100-400	50-450	
výstupné napätie [V]	24	12-24	23	
stabilita teploty		0,02	6°C	
Dodatočné funkcie	kalibrácia teploty	automatická kalibrácia	kalibrácia teploty	
	časovač vypnutia	časovač vypnutia	zámka	
	časovač spánku	časovač spánku	časovač spánku	
	batrery Guard			
	zvuková signalizácia			

Tab. 2.1: Porovnanie parametrov pier

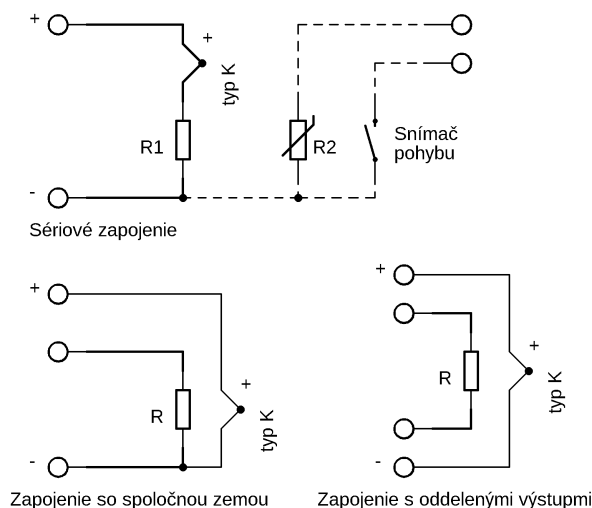
2.5.1 Porovnanie vymeniteľných hrotov

Stabilita teploty a doba reakcie na jej zmenu je závislá od uloženia snímača a topného telesa v hrote. Pri niektorých typoch sa vymieňa len samostatný hrot spájkovačky, pričom snímač a topné teleso sú súčasťou spájkovacieho pera. Teplota hrotu sa môže mierne líšiť od nastavenej teploty vplyvom nedokonalého kontaktu topného telesa a samotného hrotu. Niektoré používajú vymeniteľné hroty tiež nazývané „cartrige“,

kde je snímač teploty umiestnený priamo v hrote a topné teleso čo najbližšie hrotu. Z toho plynie väčšia stabilita a aj doba reakcie na zmenu teploty pri spájkovaní.

Vnútročné zapojenia hrotov:

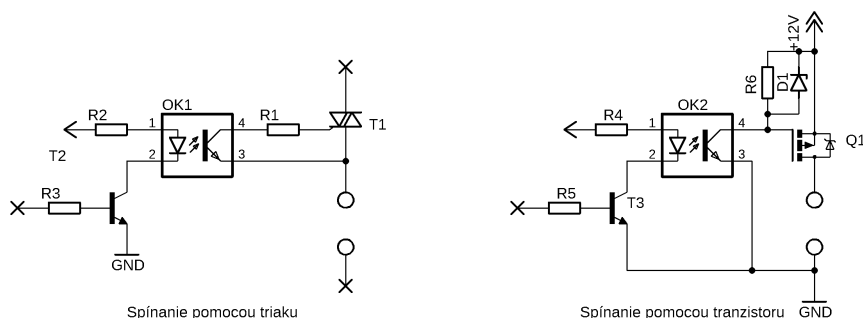
- Sériové zapojenie - Topné teleso a snímač teploty(termočlánok) sú zapojené v sérii. Pri vyhrievaní prúd tečie aj termočlánkom, pričom sa termočlánok správa ako skrat. V čase merania teploty musí byť vyhrievanie vypnuté aby bolo možné zmerať napätie generované termočlánkom. Odpor topného telesa je rádovo nižší oproti vstupnému odporu prevodníka teploty a preto sa zanedbáva. Vstup prevodníka musí byť chránený pred prepätím v čase vyhrievania hrotu. Tento typ zapojenia sa používa, aby sa zredukoval počet vodičov v prívodnom kábely, poprípade sú ostatné vodiče použité na iné funkcie.
- So spoločnou zemou - Oproti sériovému zapojeniu je jeden pól topného telesa spojený s negatívnym výstupom snímača teploty. Výhodou tohto zapojenia je súčasné vyhrievanie hrotu a meranie teploty. Pri tomto zapojení nie je kladený vysoký nárok na ochranné obvody vstupu prevodníka teploty.
- Oddelené - Pri použití tohto druhu zapojenia nie je topné teleso prepojené so snímačom teploty. Teplota je meraná ako rozdiel napätí medzi výstupmi snímača. Pri tomto druhu zapojenia sa eliminujú rušivé zložky a zabezpečí sa presnejšie meranie teploty hrotu. Toto zapojenie dovoľuje súčasné vyhrievanie hrotu a meranie teploty. Prevodník teploty nemusí disponovať ochrannými obvodmi na svojom vstupe a zároveň sú kladené menšie požiadavky na návrh výkonovej spínacej časti. Pri použití tohto zapojenia spájkovacie pero nemá iné ako základné funkcie.



Obr. 2.5: Vnútročné zapojenia pier

Zapojenie výkonovej časti

- Spínanie pomocou triaku - Tento spínací prvok sa volí najmä pri použití spínania striedavého napätia pre napájanie pera. Pri privedení napäťového impulzu na Gate(mriežku) triaku sa otvorí a zostáva otvorený až do ďalšieho priechodu nulou spínaného napätia. Spínacie impulzy sú generované pri priechode nulou, aby sa obmedzil vysoký nábehový prúd. Spínané sú celé pol-periódny a efektívna hodnota výstupného napätia je závislá od ich hustoty. Spínanie a rozpínanie mimo prechodu nulou zapríčiňuje brum transformátoru. Pri tomto zapojení je potrebný obvod na detekciu priechodu nulou.
- Spínanie pomocou unipolárneho tranzistoru - Pomocou mosfetu je zabezpečené spínanie a rozpínanie ktoré je potrebné pri zapojeniach s topným telesom a snímačom teploty v sérii alebo spoločnou zemou. Čas potrebný na zmeranie teploty je rádovo nižší ako perióda pulzne šírkovej modulácie ovládania tranzistoru. Spínanie musí byť dostatočne rýchle aby sa generované napätie termočlánku stihlo stabilizovať a mohlo byť zmerané. Kvôli potrebnému meraniu teploty nesmie byť rozpájaná zem, a preto sa väčšinou volia MOSFETY s kanálom typu P. Tento typ zapojenia sa používa pri typoch spájkovacích staníc, ktoré majú jednosmerné napätia.



Obr. 2.6: Zapojenia spínacej časti

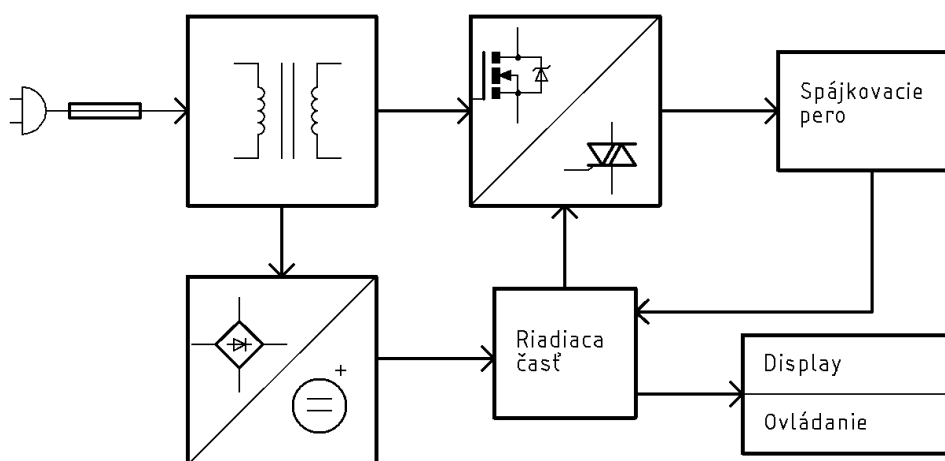
3 Návrh elektronických obvodov

Na základe prieskumu trhu je požadované aby bolo možné nastavovať teplotu v rozsahu 150 až 450 °C. Stabilita teploty a kvalita regulácie prudko závisí od použitého snímača teploty a obvodu pre jej meranie. Voľba prevodníku teploty sa odvíja od použitého snímača teploty v spájkovacom pere.

Pre nastavenie spájkovacej stanice a konfiguráciu teploty je potrebné vybrať ovládací prvok. Ďalej je požadovaný stand-by režim, ktorý sa spustí po 30 minútach nečinnosti. Pre snímanie uloženia pera v stojane bude potrebné vymyslieť mechanické riešenie a vybrať vhodný typ senzoru. O prechode do tohto režimu bude informovať zvuková signalizácia. Spájkovacia stanica bude disponovať kalibráciou regulátoru, prídavnými funkciami ako sú režimy pre prednastavenú teplotu, spánok, kalibrácia teploty a iné. Všetky dôležité údaje budú zobrazované na display.

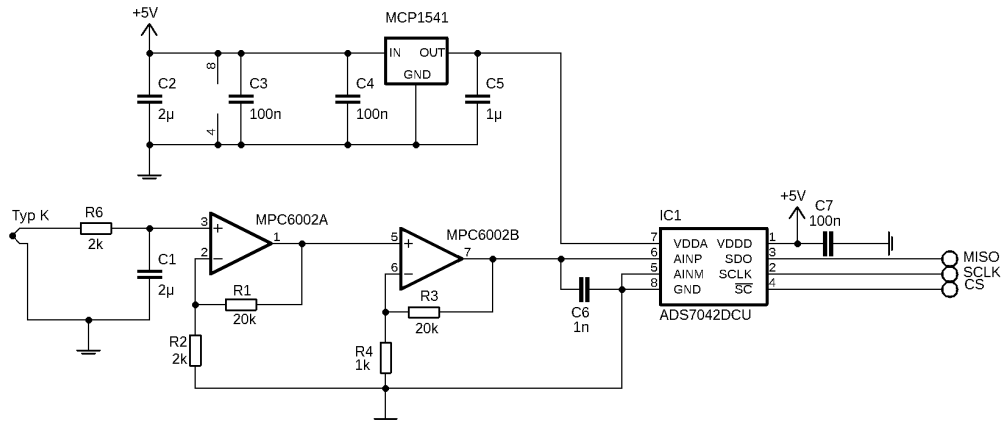
Stanica bude napájana zo sieťového napätia, ktoré bude znížené transformátorom. Toto napätie bude musieť byť ďalej upravené tak, aby s ním bolo možné napájať riadiace obvody. Návrh výkonovej časti do značnej miery závisí od vnútorného zapojenia zvoleného pera. Pero by bolo vhodné napájať striedavým napätím, čím by zanikla potrebou použitia veľkých filtračných kapacít. Potrebný príkon do pera bude spínaný pomocou spínacieho prvku. Aby bolo spínanie správne načasované, bude potrebné navrhnuť obvod, ktorý bude detekovať prechod nulou.

Celá stanica bude riadená mikrokontrolérom, ktorý sa bude starať o jej všetky funkcie. To umožní rýchle upravovanie parametrov stanice. Po otestovaní funkcionality jednotlivých blokov bude potrebné vybrať mikrokontrolér a navrhnuť dosku plošných spojov. Nakoniec by bolo vhodné porovnať dosiahnuté výsledky s komerčne dostupnými výrobkami.



Obr. 3.1: Bloková schéma spájkovacej stanice

3.1 Meranie teploty



Obr. 3.2: Schéma analógovej časti

Napätie generované termočlánkom dosahuje niekoľko mV pri niekoľkých stovkách °C. Pre termočlánky typu K je typické rozlíšenie 41 µV na 1°C. Pre správne meranie teploty bol spočiatku použitý obvod pozostávajúci z externého analógovo digitálneho prevodníku, operačných zosilňovačov a napätovej referencie.

Na zosilnenie bol zvolený operačný zosilňovač typu „rail to rail“ aby nebolo potrebné navrhovať prídavný zdroj so zápornou vetvou. Ako vhodný sa javil použiť operačný zosilňovač MPC6002 od firmy Microchip, ktorý svojimi parametrami vyhovoval danému zapojeniu. Tento obvod má zabudované dva zosilňovače ale najprv bol využitý len jeden.

Bolo zvolené neinvertujúce zapojenie, ktoré má vysokú vstupnú impedanciu a tým pádom je zosilňované napätie ovplyvňované minimálne. Výstupné zosilnenie sa volí pomocou pomeru rezistorov zapojených v spätnej väzbe. Pred vstupom zosilňovaču dosahovalo generované napätie termočlánkom približne 1 mV pri teplote 25 °C a 20 mV pri teplote 550 °C. Aby bola pracovná oblasť využitá čo najviac, výsledné zosilnenie bolo nastavené na hodnotu 200. Z toho vyplýva že pomer rezistorov R_1 k R_2 musí byť 199. Aby prúdy tečúce týmito rezistormi nedosahovali veľkých hodnôt a nezatažovali operačný zosilňovač, boli zvolené R_1 s hodnotou 20 kΩ a R_2 ako 100Ω.

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{20000}{100} = 201 \quad (3.1)$$

Po odskúšaní tohto zapojenia sa ukázalo, že OZ nie je schopný korektne pracovať s tak vysokým zosilnením. [16]

Predzosilnenie signálu bolo docielené pridaním druhého OZ, ktorý bol nezapojený. Prvý stupeň bol nastavený tak, aby bol vstupný signál zosilnený 10-krát a

druhý stupeň mal nastavené zosilnenie 20-krát. Pri tomto zapojení bola zmenená hodnota R_2 na 2 k Ω , hodnota R_3 bola stanovená na 20 k Ω a R_4 na 1 k Ω .

$$A_u = 1 + \frac{R_3}{R_4} = 1 + \frac{20000}{1000} = 21 \quad (3.2)$$

Meranie bolo značne ovplyvnené sieťovým rušením o frekvencii 50 Hz. Potlačenie rušenia sa dosiahlo predradeným dolnopriepustného filtra pred operačný zosilňovač. Medzná frekvencia filtra bola zvolená na 40 Hz, pre dostatočné potlačenie vyšších frekvencií. Kapacita kondenzátoru C_1 bola zvolená na 2 μ F a hodnota rezistoru R_6 dopočítaná.

$$R_6 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 40 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 1989\Omega \quad (3.3)$$

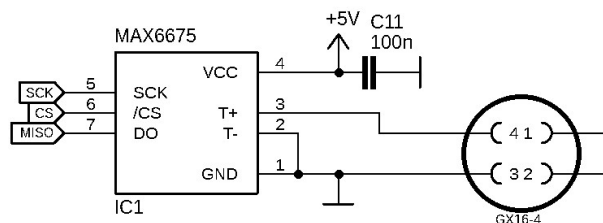
Podľa rezistorovej rady E24 bola pre R_6 vybraná hodnota 2 k Ω .

Aby bolo možné čítať teplotu s dostatočnou presnosťou, bol zvolený externý analógovo digitálny prevodník. Ako vhodný sa javil použiť MPC3201 s 12-bitovým rozlíšením. [17] Jedná sa o integračný prevodník ktorý komunikuje s nadriadeným zariadením pomocou SPI v roli „Slave“. Prevod sa spúšťa zahájením komunikácie a výsledok je postupne generovaný s nástupnou hranou časovacieho signálu. Pri maximálnom napájacom napätí je možné vzorkovať rýchlosťou 100 KSPS. Pri vzorkovaní sa nabíja vnútorná kapacita ADC a vznikajú pulzy na meranom signále. Tento jav bol ošetrený pridaním kondenzátoru C_6 s hodnotou 1 nF na vstup, čo je rádovo vyššia hodnota ako vnútorná kapacita samotného ADC. Referenčné napätie sa privádza na vstup V_{REF} , lebo prevodník nemá vstavanú napäťovú referenciu. Vhodné bolo použiť referenciu s napätím 4.096 V, čo definuje presnosť 1 mV na bit. [17]

$$LSB = \frac{V_{REF}}{N} = \frac{4,096}{2^{12}} = 1mV/bit \quad (3.4)$$

Ďalšou podmienkou bolo aby vstupné napätie nepresiahlo referenčné. To bolo zaistené nižším napájacím napätím OZ. Od presnosti a stálosti referencie sa odvíja presnosť celého merania. Ako zdroj referenčného napätia bola zvolená MCP1541 s napätím 4,096 V. Z tejto referencie je možné odoberať prúd o veľkosti 2 mA, čo umožnilo priame pripojenie na ADC. Použité hodnoty komponentov boli vyčítané z technických dokumentácií.

Toto zapojenie by v ideálnych podmienkach dokázalo merať teplotu s presnosťou 2 bity na jeden stupeň. Vstupné rušenie sa nepodarilo dostatočne odfiltrovať a získané výsledky nedosahovali kvalít pre spätnoväzobnú reguláciu. Toto zapojenie nebolo vhodné, parametre zvolených komponentov mali veľký vplyv na výsledky merania. Kvôli cene samotných komponentov bol použitý obvod nahradeným samotným prevodníkom teploty ktorý dosahoval rádovo vyššie kvality.



Obr. 3.3: Schéma pripojenia prevodníku MAX6675

Meranie teploty obvodom MAX6675

Ako prevodník teploty bol zvolený integrovaný obvod MAX6675, ktorý je určený pre termočlánky typu K. Komunikácia prebieha pomocou SPI rozhrania. Použitý prevodník dokáže vzorkovať teplotu s periódou maximálne 200 ms, čo je rádovo menší interval v porovnaní s časovými konštantami pera. Prevod teploty prebieha kontinuálne. Pri zahájení komunikácii je aktuálny prevod zastavený a odošle sa posledná nameraná hodnota. Táto vlastnosť nám do systému vnáša dopravné oneskorenie s maximálnou dobou času jednej vzorky. Nevýhodou je, že prevodník neposiela informáciu o dokončenom prevode ale posiela nulový výsledok a začína nový prevod. Pri čítaní vzoriek musí byť zaistené, aby časový interval medzi dvomi začiatkami komunikácie bol väčší ako perióda vzorkovania.

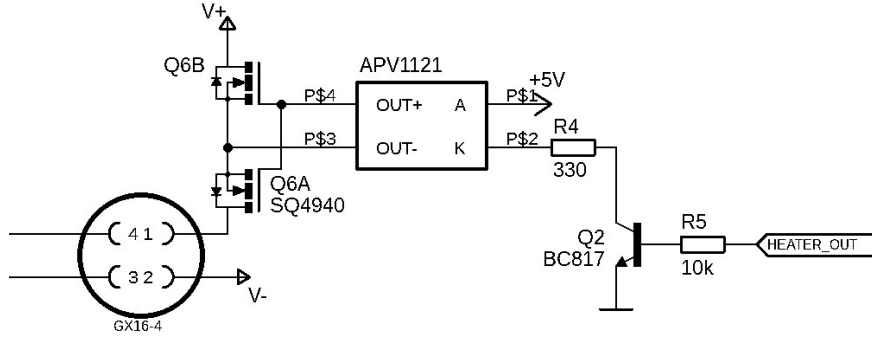
Výsledky sú posielané ako dva byty. Pozícia druhého bitu v prvom byte je informácia o rozpojenej meracej smyčke. Bit 3 až 15 udáva hodnotu prevodu, čo nám dáva 12-bitové rozlíšenie teploty pre rozsah od 0 do 1023.75 °C. Výhodou použitia tohto obvodu je, že pri zmene spájkovacieho pera nie je potrebná kalibrácia teploty, vplyvom generovaného napätia vzniknutého medzi jednotlivými prepojami. Kondenzátor C_{11} bol zvolený na základe technickej dokumentácie. [12]

3.2 Návrh spínacej výkonovej časti

Pri vyhrievaní hrotu dosahuje pretekajúci prúd hodnoty niekoľko jednotiek ampérov a závisí od veľkosti odporu vyhrievacieho telesa. Pri zvolenom type pera s odporom 12 Ω a napájacom napätí 24 V dosahuje prúd 2 A, a preto je jeden z hlavných parametrov pri výbere vhodného spínacieho prvku.

$$I = \frac{U_{ef}}{R} = \frac{24}{12} = 2A \quad (3.5)$$

Ako vhodný spínací prvok by sa mohol javiť triak. Pre spínanie a rozopínanie v ktorejkoľvek časti priebehu boli použité unipolárne tranzistory typu MOSFET s



Obr. 3.4: Schéma spínacej časti a časti pre meranie teploty

kanálom N v antisériovom zapojení. Ďalším kľúčovým parametrom je maximálne napätie medzi „Drain“ a „Source“, ktoré bude dosahovať v rozopnutom stave maximálne 36 V a malo by byť volené s dostatočnou rezervou. Bol zvolený tranzistor SQ4940, ktorým môže pretekať maximálne 12 A a maximálnym napätím U_{DS} 40 V. Maximálne napätie U_{GS} pre unipolárne tranzistory MOSFET je vo väčšine prípadov ± 20 V a je vhodné sa k tejto hodnote nepriblížiť. Aby došlo k otvoreniu tranzistora, U_{GS} musí presiahnuť prahové napätie $U_{GS_{TH}}$ s hodnotou 2 V. Tranzistoru má v zopnutom stave prechodový odpor 20 m Ω čo zaistí výkonovú stratu o veľkosti 80 mW. [19]

$$P = I^2 \cdot R_{DS(on)} = 2^2 \cdot 0,02 = 80mW \quad (3.6)$$

Napätie na elektródach „Source“ sa mení s časom, preto bolo potrebné použiť „mosfet-driver“, ktorý má oddelenú zem. Pre budenie mosfetov bol vybratý budič APV1121, kde je použité galvanické oddelenie optickou väzbou. Výstupné napätie je generované fotodiódami, preto výstupný prúd dosahuje relatívne malé hodnoty, maximálne 14 μ A. [31]

Po vypnutí je potrebné zabezpečiť, aby sa kapacita medzi „Gate“ a „Source“ vybila a došlo k zatvoreniu tranzistoru. APV1121 disponuje vnútorným obvodom, ktorý túto kapacitu skratuje a privádza na potenciál „Source“. Fotodiódy sú budené pomocou infračervených LED diód. Výstupný prúd je priamo úmerný prúdu pretekajúcemu LED diódou. Tento obvod zároveň chráni riadiacu časť v prípade prerazu výkonových tranzistorov. Rezistor R_4 slúži na obmedzenie pretekajúceho prúdu. Podľa katalógu výrobcu na LED dióde vznikne úbytok o veľkosti 1.5 V pri prúde 20 mA. Veľkosť pretekajúceho prúdu bola zvolená na hodnotu 10 mA.

$$R_4 = \frac{U_{nap} - U_{LED} - U_{KE}}{I} = \frac{3}{0,01} = 300\Omega \quad (3.7)$$

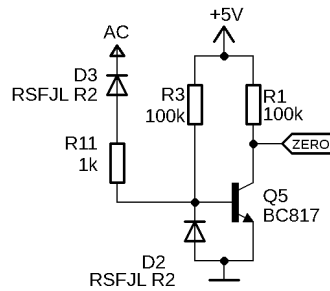
Podľa rady E6 bola zvolená hodnota R_4 na 330 Ω . Aby nedochádzalo k preťažovaniu výstupu riadiaceho mikrokontroléru pre ovládanie budiču bol zvolený bipolárny

tranzistor. Rezistor R_5 bol volený tak, aby tranzistor pracoval ako spínač. Veľkosť kolektorového prúdu je závislá od bázeového prúdu. Báza-emitor tvorí PN priechod, pre ktorý je typické napätie 0.7 V. Tranzistor BC813 má prudový zosilňovací činiteľ 250. [32]

$$I_{Cmax} = \beta \cdot \frac{U_{nap} - U_{BE}}{R} = 250 \cdot \frac{5 - 0,7}{10^3} = 0,1A \quad (3.8)$$

Z výpočtu vyplíva, že so zvoleným rezistorom by bolo možné spínať prúd o veľkosti 100 mA.

3.3 Obvod na detekciu prechodu nulou



Obr. 3.5: Detekcia priechodu nulou

Detekciu priechodu nulou zabezpečuje obvod pozostávajú z tranzistoru, diód a rezistorov. Rezistory R_3 a R_1 slúžia ako „pull-up“. Hodnota rezistorov 100 kΩ bola zvolená tak aby pretekajúci prúd nebol príliš veľký a zbytočne nezaťažoval zdroj.

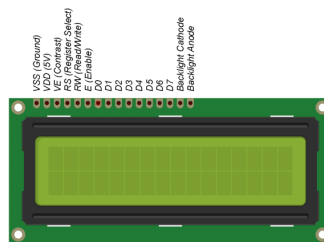
$$I_{Max} = \frac{U_{nap} - (-U_m)}{R_3} = \frac{5 - (-12 \cdot \sqrt{2})}{10^6} = 0,22mA \quad (3.9)$$

Pri kladnej polvlne cez rezistor R_3 tečie do bázy tranzistoru Q_5 prúd, čo otvorí tranzistor a na výstupe je logická 0. V tomto stave je dióda D_2 zatvorená, čo zabezpečí, aby sa na báze nevyskytlo vysoké napätie. Keď sa polvlina zmení na zápornú, dióda D_2 prejde zo zatvoreného stavu do otvoreného. Na báze tranzistoru Q_5 je v tomto prípade záporné napätie, čo má za následok zatvorenie tranzistoru. Aby nedošlo k prirazu tranzistoru medzi Bárou a Emitorom, dióda D_2 obmedzuje bárove napätie na -0.7 V. Rezistor R_{11} obmedzuje bázeový prúd pri zápornej polvlne. Spolu s rezistorom R_3 tvorí napäťový delič a preto bolo vhodné túto hodnotu zvoliť o niekoľko rádov nižšie. Pri nízkej hodnote rezistoru môže byť prekročená maximálna výkonová strata. Rezistorom prechádza len záporná polvlina, čo zníži efektívnu hodnotu napätia na polovicu.

$$P = \frac{(U_{nap} \cdot \frac{1}{2})^2}{R_{11}} = \frac{(12 \cdot \frac{1}{2})^2}{10^3} = 36mW \quad (3.10)$$

The image shows a RIGOL oscilloscope screen. At the top, the brand name "RIGOL" is on the left, and several status indicators are on the right: "T'D", "H 5.00ms", "50.0MSa/s 3.00M pts", "D -1.60000000ms", and "T f 10.4 V". The main display area shows a square wave in cyan and a sine wave in yellow. The sine wave is labeled "tr" for rise time. The horizontal scale is 5.00ms, and the vertical scale is 10.0V. The frequency of the sine wave is 50.0Hz. On the left side, there are icons for various measurement functions: Horizontal, Period, Freq, Rise Time, Fall Time, +Width, and -Width. On the right side, there are buttons for "Coupling" (set to AC), "BW Limit" (set to OFF), "Probe" (set to 10X), "Invert" (set to OFF), "Volts/Div" (set to Coarse), and "Unit" (set to [V]). At the bottom, there are four channels labeled 1, 2, 3, and 4, each with a voltage level: 10.0V, 2.00V, 1.00V, and 1.00V respectively. A USB icon is visible in the bottom right corner.

3.4 Výber zobrazovacej jednotky



Pre zobrazovanie bol zvolený znakový LCD display s rozlíšením 2*16 znakov a radičom HD44780. Na komunikáciu sa používa paralelné 8 alebo 4 bitové rozhranie. Po pripojení napájania je potrebné počkať 20 ms na jeho ustálenie a potom je možné display vhodne inicializovať. Ako prvé je potrebné nastaviť šírku rozhrania. To sa nastavuje pomocou 4 horných bitov, kde sa táto inštrukcia posiala niekoľkokrát za

sebou a je nutné dodržať časovanie týchto inštrukcií. Následne sa volí veľkosť jedného znaku (5*8 pixelov alebo 5*10 pixelov) a potom rozlíšenie LCD modulu. Po samotnej inicializácii je predvolene vypnuté zobrazenie.

Pomocou pinu RS(register select) sa volí medzi príjmom inštrukcií alebo dát. Pin E (Enable) slúži na časovanie pre príjem. Z tohto displaya je možné čítať dáta uložené v jeho pamäti, ale využitie tejto funkcie sa nepredpokladá preto nie je implementovaná v kóde. Samotné dáta na zobrazenie sa ukladajú do DDRAM pamäte, znaky sú uložené v pamäti CGRAM, kde je volných 8 matíc pre užívateľom definovaných znakov. Tvorba knižnice pre font znakov UTF-8 nieje potrebná, kvôli jej zabudovaniu v radiči HD44780. Kontrast je možné nastavovať veľkosťou napätia na pine V0. [22]

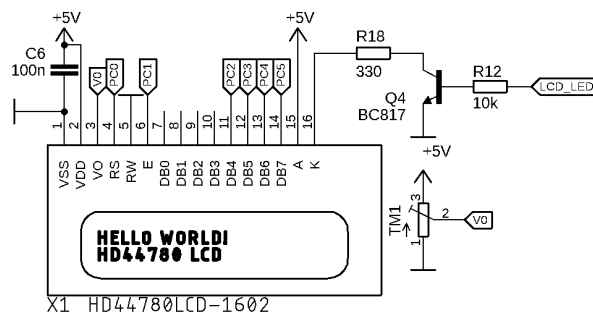
Podsvietenie displaya je zabezpečené pomocou LED diód. Intenzitu je možné meniť zmenou striedy PWM signálu privedeného na anódu alebo katódu. Pre ovládanie bol zvolený 4 bitový režim aby sa zredukoval počet použitých výstupov mikrokontroléru. Vstup RW (read/write) je trvalo uzemnený, lebo čítanie dát z modulu sa nepredpokladá. Kontrast je nastavovaný pomocou napätia z potenciometru TM_1 , ktorý tvorí napäťový delič a jeho pomer sa nastavuje polohou bežca.

$$U_{výstupné} = U_{vstupné} \frac{R1}{R1 + R2} \quad (3.11)$$

Rezistor R_{18} bol zvolený ako 330Ω podľa rady E6.

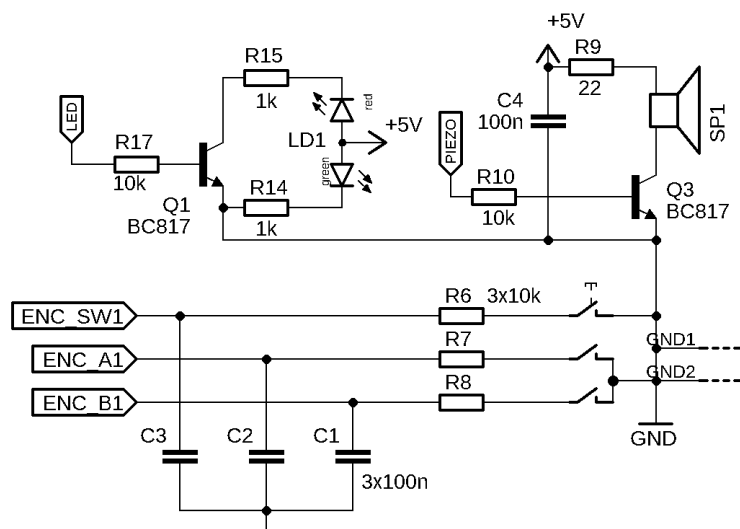
$$R_{18} = \frac{U_{nap} - U_{LED}}{I} = \frac{5 - 1,7}{0,01} = 330\Omega \quad (3.12)$$

Pomocou tranzistoru Q_4 je spínaná katóda podsvietenia zobrazovacej jednotky. Bázyový rezistor bol zvolený rovnako ako pri spínacej časti. 3.8 Kondenzátor C_6 s hodnotou 100nF slúži ako lokálny filtračný a filtruje rušenie v napájacej vetve, a zároveň aj rušenie generované zobrazovacím modulom. Hodnota bola vyčítaná z technickej dokumentácie. [22]



Obr. 3.8: Zapojenie LCD displaya

3.5 Výber ovládacieho prvku a signalizácie



Obr. 3.9: Zapojenie enkodéru, zvukovej a svetelnej signalizácie

Aby bolo možné nastavovať želanú teplotu a konfigurovať niektoré funkcie spájkovacej stanice, bolo potrebné zvoliť vhodný ovládací prvok. Niektoré spájkovacie stanice používajú na nastavovanie teploty potenciometer. Pred vypnutím stanice nastavená teplota nemusí byť uložená do pamäti, lebo vyplýva z polohy bežca potenciometra. Voľba tohto prvku by však spôsobila komplikácie s nastavovaním niektorých funkcií výrobku.

Miesto potenciometra bol zvolený rotačný enkodér, ktorý má podobnú konštrukciu ale funguje na inom princípe. Oproti potenciometru miesto spojitého analógového signálu sa pri otáčaní generujú dva kvadratúrne signály. Tieto signály sú voči sebe elektricky otočené o 90° , aby bolo možné určiť smer otáčania. Niektoré rotačné enkodéry majú v sebe zabudované tlačidlo. Keďže nebolo potrebné vedieť polohu od počiatku, bol zvolený relatívny enkodér so zabudovaným tlačidlom pracujúci v režime X1. Tento režim je špecifický tým, že jeden výstupný signál sa dá použiť ako „clock“ a podľa logickej úrovne druhého signálu sa určuje smer otáčania.

Pri jeho použití je potrebné ošetriť „debouncing“, ktorý je typický pre mechanické spínacie prvky a vzniká pri spínaní a rozpínaní kontaktov. Na ošetrovanie tohto javu bol použitý dolno-priepustný filter, keďže generované zákymy trvajú len niekoľko μs . Ako vhodný sa javil použiť filter s časovou konštantou 1 ms, z čoho bola zvolená hodnota 10 k Ω pre rezistor R_3 a hodnota kondenzátoru 100 nF.

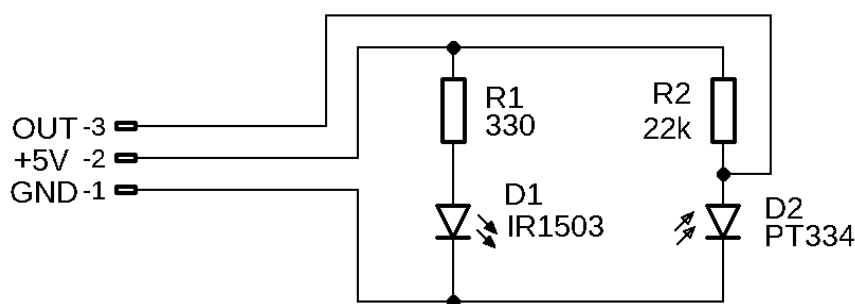
$$\tau = R_6 \cdot C_1 = 10^4 \cdot 10^{-7} = 1ms \quad (3.13)$$

Pre zvukovú signalizáciu bol použitý piezoelektrický menič so zabudovaným oscilátorom. Rezistor R_4 chráni menič pred nadprúdom a je ovládaný pomocou tranzistoru BC546 aby nedochádzalo k zafažovaniu výstupu mikrokontroléru. Bázové rezistory R_{10} a R_{17} bola zvolené tak, aby tranzistor pracoval v spínacom režime. 3.8 Kondenzátor C_4 filtruje napätie a zabraňuje prenosom pulzov do napájacej vetvy.

Na indikáciu zapnutej stanice slúži zelená LED dióda, ktorá je cez rezistor napájaná priamo z +5V vetvy. Červená LED je použitá na signalizáciu spínanie výkových prvkov a signalizáciu poruchy. Rezistory boli najprv zvolené tak, aby LED diódami pretekal prúd o veľkosti 10 mA. Pri takomto prúde však bola intenzita príliš vysoká a tak boli miesto 330 Ω rezistorov použité 1 k Ω rezistory a pretekajúci prúd bol znížený na približne 3.5 mA.

$$I_{LD1} = \frac{U_{nap} - U_{LED}}{R_{14}} = \frac{5 - 1,5}{1000} = 3,5mA \quad (3.14)$$

3.6 Detekcia pera v stojane



Obr. 3.10: Zapojenie pre detekciu uloženia pera v stojane

Kvôli zvýšeniu bezpečnosti a úspore elektrickej energie prejde stanica pri nečinnosti do úsporného módu. Na základe toho je potrebné poznať, či je pero uložené v držiaku alebo sa sním pracuje. Ako prvá bola zvolená koncepcia s mikrospínačom. Pri vložení pera do stojanu by bol spínač stlačený váhou pera. Toto riešenie bolo mechanicky komplikované a niekedy ani nedochádzalo k zopnutiu spínača.

Mechanický spínač bol preto nahradený optickým snímaním. Optické snímanie pozostáva z vysielачu a prijímaču. Na vysielanie bola použitá infračervená LED dióda a pre príjem fototranzistor. Po vložení pera do stojanu dôjde k prerušeniu optického lúča, ktorý dopadá na fototranzistor. Fototranzistor prejde zo saturácie do stavu, kde vykazuje veľkú impedanciu.

Podľa katalógového listu na fotodióde vzniká úbytok napätia 1.2 V pri prúde 20 mA. Veľkosť tečúceho prúdu sa dá nastaviť predradným rezistorom. Prúd bol

zvolený na 15 mA. Hodnota rezistoru bola spočítaná pomocou Ohmovho zákona.

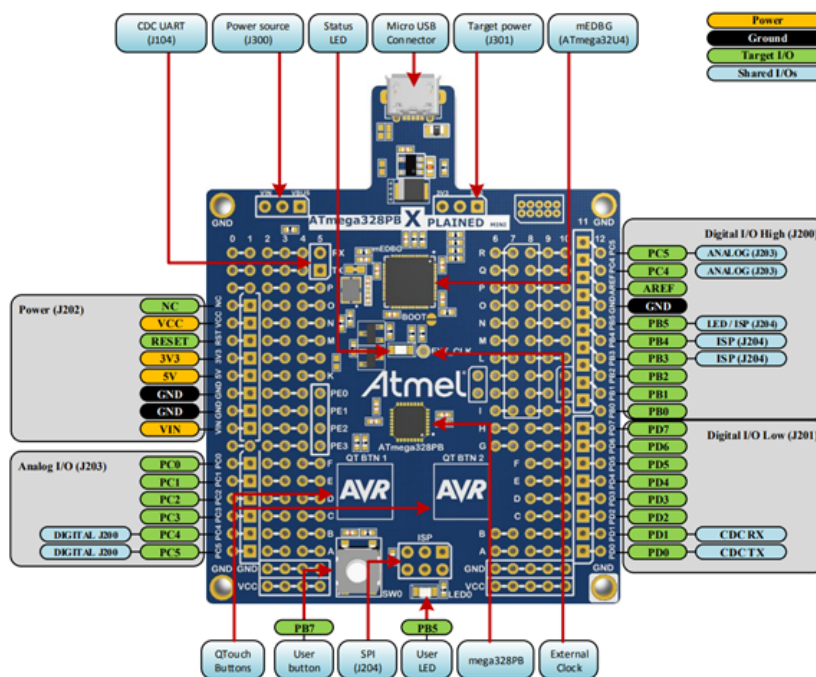
$$R_1 = \frac{U_{nap} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{5 - 1,2}{0,015} = 253,3\Omega \quad (3.15)$$

Podľa rezistorovej rady E6 bola zvolená hodnota najbližšia väčšia hodnota 330 Ω . Hodnota rezistoru R_2 bola zvolená testovaním. Samotný vnútorný rezistor má hodnotu približne 37 k Ω . Táto hodnota bola príliš vysoká a nedochádzalo k zopínaniu fototranzistoru. Preto bol k nemu paralelne pridaný R_2 s hodnotou 22 k Ω , čo nám dáva výslednú hodnotu približne 14 k Ω .

$$R = \frac{R_2 \cdot R_{interný}}{R_2 + R_{interný}} = \frac{22 \cdot 37 \cdot 10^6}{(22 + 37) \cdot 10^3} = 13,8k\Omega \quad (3.16)$$

3.7 Výber vhodného mikrokontroléru

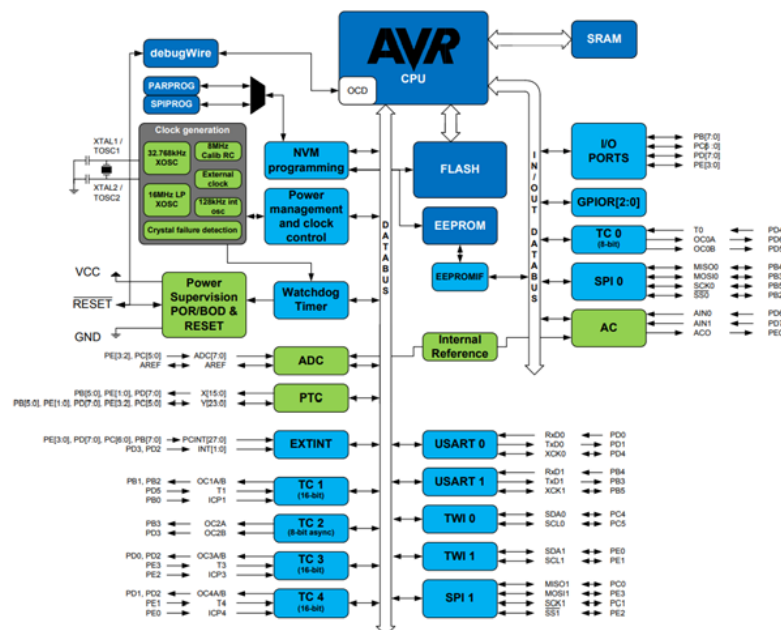
Jednotlivé zapojenia boli testované na vývojovej doske ATMEGA328PB-XMINI ktorá je osadená mikrokontrolérom AtMega328-PB. Oproti modelu 328-P disponuje väčším počtom časovačov a vstupno-výstupných periférií. Ukázalo sa, že tento mikrokontrolér má dostatok GPIO, rýchlosť vykonávaného programu bola dostatočná a preto bol následne aj zvolený.



Obr. 3.11: Vývojová doska ATMEGA328PB-XMINI[13]

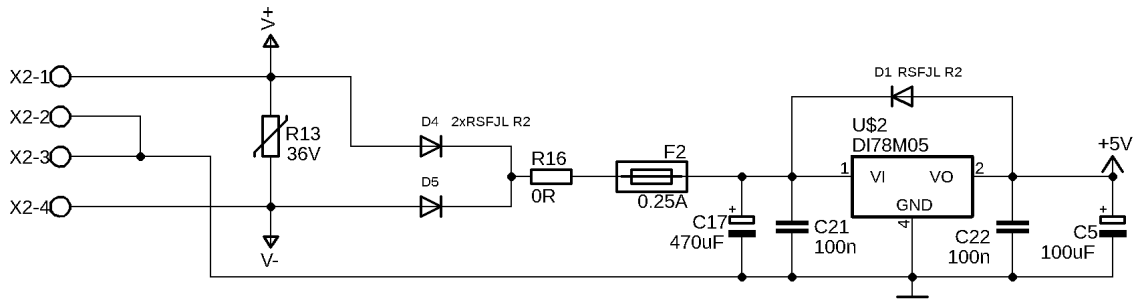
Samotná jednotka má zabudované potrebné periférie na komunikáciu s potrebnými modulmi. Jedná sa o nízko energeticko náročný 8-bitový MCU, ktorý je založený na AVR RISC architektúre. Má zabudovaných 32kB FLASH pamäte pre

Čip sa programuje ISP rozhraním, ktoré komunikuje pomocou SPI rozhrania. Pre ladenie je potrebný programátor s podporou „debugWIRE“ rozhrania, ktoré pre komunikáciu používa len jeden vodič. Mikrokontrolér je oproti modelu 328-P dostupný len v SMD variantach. [14]



34

3.8 Návrh napájacieho zdroja



Obr. 3.13: Schéma napájacieho zdroja

Pre správnu funkčnosť zapojenia bolo potrebné navrhnuť napájací zdroj, ktorého parametre nám definujú použité obvody. Bezpečná pracovná oblasť mikrokontroléru AtMega328-PB pri frekvencii 16MHz je v rozmedzí od 3.6 V do 5.5 V. Na základe tejto podmienky bola veľkosť napájacieho napätia stanovená na 5 V. Ostatné použité moduly dokážu pracovať s napájaním od 3.3 do 5 V. Pri aktívnom stave všetkých periférií a modulov bol odmeraný pretekajúci prúd. Prúd dosahoval hodnoty maximálne 70 mA a jeho efektívna hodnota bola približne 65 mA. Pri návrhu sa počítalo s rezervou, a tak bol zdroj navrhnutý tak, aby mohol krátkodobo dodávať až 100 mA. Maximálny príkon riadiacej časti je približne 0.35 W.

$$P_{max} = U \cdot I_{max} = 5 \cdot 0,07 = 0,35W \quad (3.17)$$

Aby bolo možné obvod napájať, sieťové napätie bolo znížené transformátorom na 24 V striedavých. Toto napätie je použité pre napájanie pera a detekciu fáze. Ďalej je toto napätie usmernené dvojcestným usmernovačom, keďže bol použitý symetrický transformátor so sekundárnymi napätiami 2x12V. Ako ochrana spínacích prvkov bol použitý varistor, kde pri prekročení menovitého napätia dochádza k výraznému zníženiu odporu. Bol zvolený varistor s menovitým napätím 36V, čo bolo určené na základe maximálnej hodnoty amplitúdy a napätia U_{DS} použitého tranzistoru. Táto ochrana slúži na obmedzenie napäťových špičiek, ktoré by mohli zničiť výkonové tranzistory.

$$U_{MAX} = U_{ef} \cdot \sqrt{2} = 24 \cdot \sqrt{2} = 33,94 \approx 34V \quad (3.18)$$

Za usmernovačom je umiestnená poistka ako ochrana riadiacej časti v prípade skratu. Bola použitá rýchla poistka s menovitým prúdom 0,25A, aby nedochádzalo k jej vybaveniu nábohovým prúdom. Jednosmerné pulzujúce napätie dosahuje 16 V. Toto napätie bolo vyhladené kondenzátorom s kapacitou 470 μ F. Hodnota bola

zvolená tak, aby výsledné napätie nekolísalo o viac ako 10% z nominálnej hodnoty.

$$C_{17} = I \cdot \frac{T}{\Delta V} = 0,1 \cdot \frac{0,01}{1,6} = 437,5 \mu F \quad (3.19)$$

Pre kondenzátor C_{17} bola zvolená hodnota 470 μF . Toto zvlnenie je potlačené stabilizátorom, ktorý bol použitý na zníženie napätia. Bol vybraný lineárny stabilizátor rady 7805. Katalóg súčiastky udáva potlačenie zvlnenia 80dB, čo by znamenalo, že zvlnenie by bolo zmenšené 10000-krát. Nevýhodou použitia daného prvku je, že vykazuje menšiu účinnosť v porovnaní so spínaným stabilizátorom. Samotný obvod pozostáva z vnútornej referencie, ktorá zabezpečuje konštantný výstup a výkonového tranzistoru. Výstup sa reguluje pomocou ovárania tranzistoru, na ktorom sa pri vstupnom napätí $\approx 16V$ vytvára maximálna výkonová strata 1.1 W.

$$P = (U_{vstupné} - U_{výstupné}) \cdot I = (16 - 5) \cdot 0,1 = 1,1 W \quad (3.20)$$

Na uchladenie takejto straty stačilo použiť rozliatu meď na doske plošných spojov. Dióda D1 zabráňuje výskytu vyššieho napätia na výstupe ako na vstupe. Kondenzátor C_{21} slúži na vyfiltrovanie šumu. Výstupné kondenzátory C_{22} a C_5 filtrujú výstup. Hodnoty kapacít boli zvolené na základe doporučených hodnôt z katalógového listu. [21]

3.9 Návrh dosky plošných spojov

Jednotlivé zapojenia boli testované na univerzálnych doskách plošných spojoch. Každý blok bol naspájkovaný na vlastnej DPS, ktorá bola zhotovená tak, že z oboch strán mala vyvedené konektory. To umožňovalo rýchle rozoberanie a upravovanie daného zapojenia podľa potrieb. Po odkontrolovaní funkčnosti blokov bolo potrebné ako prvé nakresliť schému celého zapojenia.

Pre kreslenie schémy a návrh dosky plošných spojov bol použitý návrhový program Eagle. Tento program disponuje rozsiahlym množstvom najčastejšie používaných komponentov. Niektoré knižnice, ktoré nie sú zahrnuté, je možné voľne stiahnuť z oficiálnych stránok. Pre niektoré komponenty bolo potrebné vytvoriť vlastné knižnice. Knižnica pozostáva z komponentov, schematických symbolov a takzvaného footprintu.

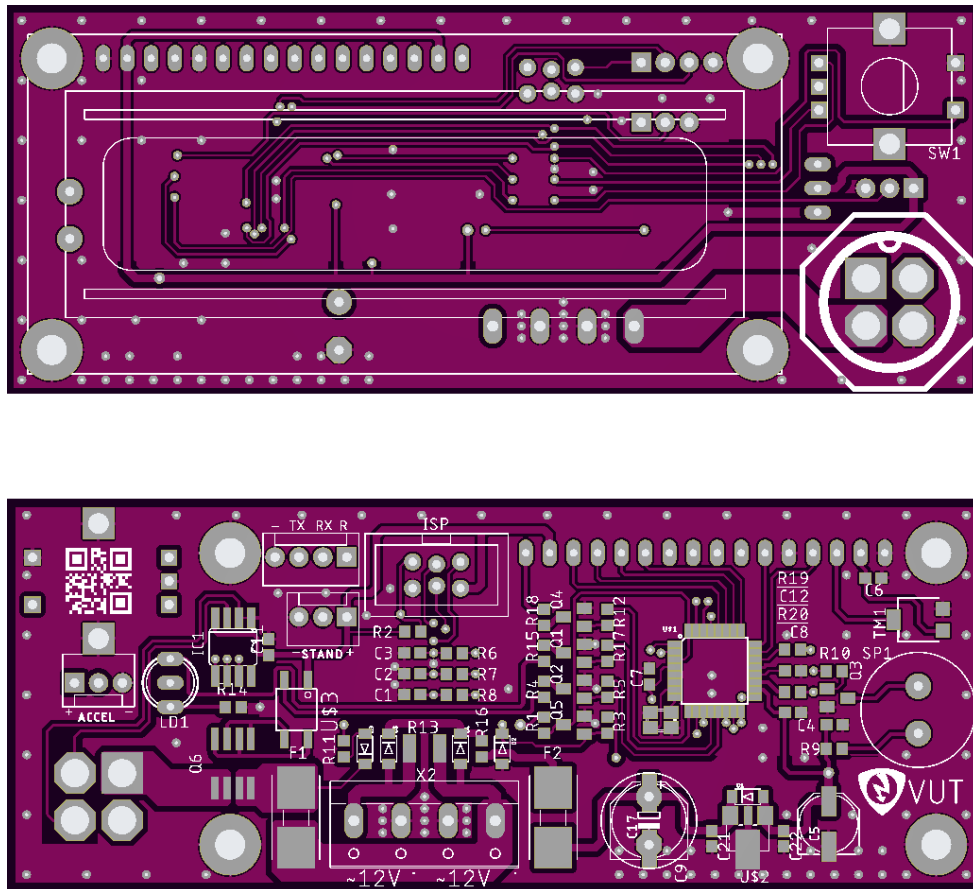
Pre mikrokontrolér AtMega328-PB nebola nájdená potrebná knižnica a tak musela byť vytvorená. Schematická značka bola prevzatá od mikrokontroléru z rovnakej rodiny, ktorá bola doplnená o vývody portu E. Nakoniec boli namapované jednotlivé vývody na púzdro TQFP32. Pre budič unipolárnych tranzistorov bolo potrebné nakresliť schematickú značku footprintu, kvôli nedostupnosti obvodu v štandardizovanom púzdre. Pri kontrolovaní footprintu pre lineárny stabilizátor bolo zistené, že

[illegible]

Návrh PCB prebieha prevedením schémy zapojenia na dosku plošných spojov. Takto vygenerovaná doska obsahuje všetky komponenty zahrnuté v schéme, ktoré nie sú navzájom prepojené. Pri návrhu bol kladený dôraz na minimalizáciu veľkosti a bol použitý obojstraný dizajn pre kombináciu SMD a THT komponentov. Návrh sa začal umiestnením ovládacích prvkov, zobrazovacej jednotky a konektoru pre pero na prednú stranu PCB. Toto rozloženie definovalo minimálne rozmery dosky. Následne boli na kraj dosky umiestnené konektory kvôli lepšiemu prístupu. Samotné rozmestnenie nebolo finálne, len nám dávalo predstavu o rozložení hlavných komponentov. K rozmiestneným komponentom sa postupne pridávali súčiastky, ktoré boli s nimi prepojené a kreslili sa vodivé cesty. Komponenty pre jednotlivé funkčné bloky boli umiestnené čo najbližšie pri sebe, aby sa predišlo dlhým vodivým cestám.

Na prichytenie LCD boli pridané montážne otvory spojené so zemou. Potlačenie rušenia bolo dosiahnuté rozliatím mede v oboch vrstvách. Pre lepší vizuálny efekt boli upravené niektoré cesty a rozmiestnené označenia súčiastok. Nakoniec bola celá

doska skontrolovaná funkciou Errors. Pre výrobu bolo potrebné vygenerovať gerber súbory. Ako základový materiál bol zvolený FR-4, s hrúbkou 1.6 mm. Hrúbka medi bola zvolená na 35 μm a povrchovou úpravou HASL.

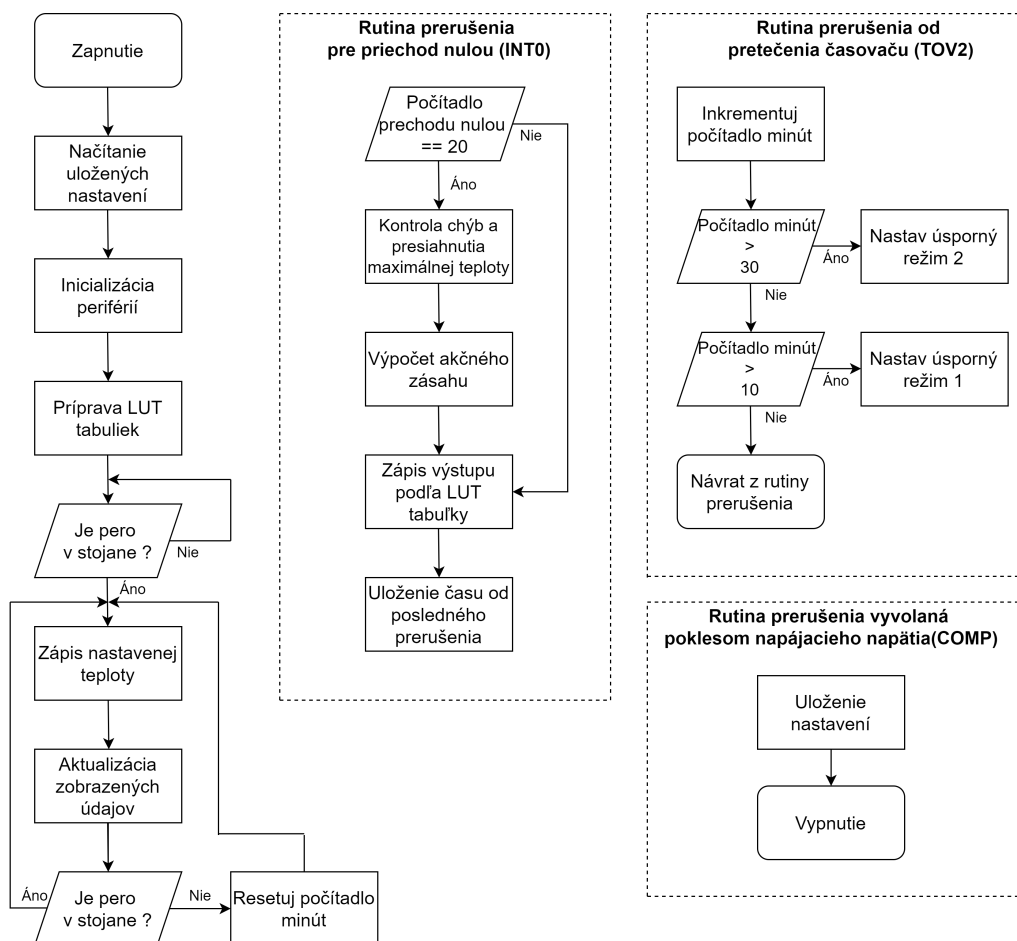


Obr. 3.15: Vrchná a spodná strana navrhutej dosky plošných spojov

4 Software

Zariadenie bolo programované pomocou „debugWIRE“ rozhrania programátorom Atmel-ICE. Pred samotným nahrávaním programu bolo potrebné nastaviť „fuse“ registre, ktorými sa volí oscilátor a konfiguruje sa programovacie rozhranie. Bol zvolený externý oscilátor a s vypnutou preddeličkou. Ďalej bolo nastavené, aby nedochádzalo k prepisovaniu obsahu EEPROM pri programovaní.

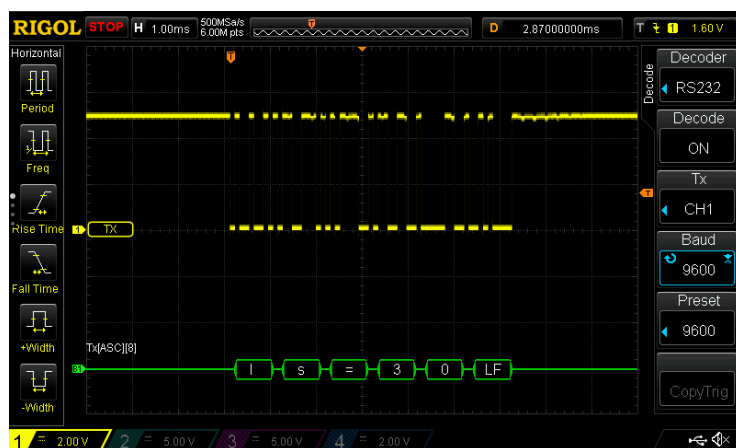
Program sa začína načítaním uložených údajov a inicializáciou potrebných periférií. V supersmyčke sa zapisuje nastavená teplota, aktualizujú sa údaje pre zobrazenie a resetuje sa počítadlo spánku. Program používa prerušenia pre rýchlu reakciu na asynchrónne udalosti z vonku. Prerušenia sú vyvolávané zmenou logickej úrovne na danom pine. Pre správne časovanie budú použité časovače. Komunikácia s prevodníkom bude prebiehať po linke SPI. Jas obrazovky a tón piezoelektrického meniču bude možné nastavovať zmenou striedy PWM signálu.



Obr. 4.1: Vývojový diagram hlavného programu

4.1 Konfigurácia USART pre výpis kontrolných správ

Mikrokontrolér AtMega328-PB disponuje dvomi zbernicami typu USART, ktoré sú svojou funkcionalitou zhodné. Vo vývojovej doske je s prevodníkom prepojený USART0, ktorý bol nakonfigurovaný podľa potrieb. Správanie USART sa nastavuje pomocou 4 konfiguračných registrov, kde sa volí rýchlosť komunikácie(Baud rate), šírka rámcov(5-9 bitov), počet stop bitov a parita. Taktiež sa v nich nachádzajú stavové bity ktoré informujú o aktuálnom stave modulu alebo vyvolávajú prerušenia. Pre príjem a vysielanie slúži jeden spoločný dátový register UDR. USART modul bol nakonfigurovaný na nastavenie, ktoré sa používa najčastejšie. Šírka rámca bola zvolená ako 8-bitová, jeden stop bit a žiadna parita, keďže modul má slúžiť len ako vysielateľ pre kontrolné hodnoty, a nie je potrebné kontrolovať ich správnosť. Vo finálnej verzii sa použitie nepredpokladá a preto nie sú využité prerušenia, ktoré by zaistili rýchlejší chod programu, ale je použitý takzvaný „pooling“. Nevýhodou použitia „pollingu“ je, že mikrokontrolér čaká na zmenu príslušného stavového bitu a je zastavený chod programu dokiaľ daná podmienka nie je splnená. Celý modul je naprogramovaný tak aby bolo možné meniť prenosovú rýchlosť.



Obr. 4.2: Komunikácia na zbernici USART

4.2 Konfigurácia SPI0 pre komunikáciu s MAX6675

Na rozdiel od USART sa jedná o synchronnú komunikáciu, čím je možné dosahovať vyššie rýchlosti toku dát. Prenos po SPI linke môže byť duplexný alebo simplexný. Komunikáciu s prevodníkom teploty prebieha simplexne, keďže z prevodníku je priamo čítaná teplota bez zápisu.

Pre komunikáciu sa využívajú linky SCK, MOSI, MISO, ktoré môžu byť spoločné pre viacero zariadení. Master volí pomocou linky SS(CS) zariadenie, s ktorým bude komunikovať. Hodiny sú generované masterom na linke SCK. Pomocou linky MISO (Master In Slave Out) sú dáta čítané zo slave zariadenia. S každým tikom sa preniesie jeden bit po linke MISO a zároveň aj po linke MOSI.

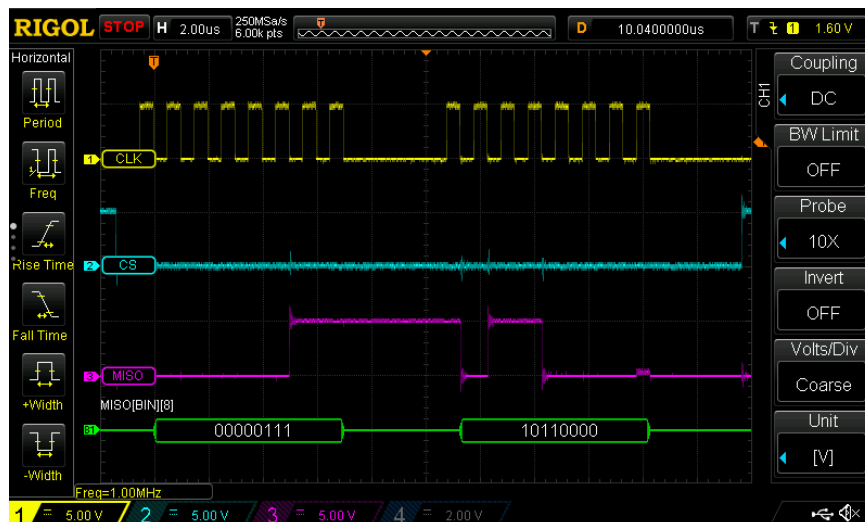
Pre komunikáciu s prevodníkom sa používa nastavenie, kde je linka SCK v ne-utrálnom stave v log.0 a prijímané dáta sú čítané na vzostupnú hranu. Správanie celej periférie sa nastavuje pomocou registra SPCR, kde je možné voliť poradie(či sa odosiela ako prvý MSB alebo LSB bit), polaritu, fázu a rolu periférie. Bitmi SPR sa volí rýchlosť komunikácie. Pri vstupnej frekvencii 16 MHz bola zvolená preddelička tak, aby výsledná frekvencia bola 1 MHz.

Table 23-5. Relationship Between SCK and Oscillator Frequency

SPI2X	SPR0[1]	SPR0[0]	SCK Frequency
0	0	0	$f_{osc}/4$
0	0	1	$f_{osc}/16$
0	1	0	$f_{osc}/64$
0	1	1	$f_{osc}/128$
1	0	0	$f_{osc}/2$
1	0	1	$f_{osc}/8$
1	1	0	$f_{osc}/32$
1	1	1	$f_{osc}/64$

Obr. 4.3: Možnosti nastavenia preddeličky pre SPI0[14]

Pre správnu činnosť bolo potrebné nastaviť fyzické piny SCK a SC na výstup a MISO na vstup. Aby sa predišlo čakaniu na ukončenie príjmu, miesto aktívneho čakania boli použité prerušenia. Prevod sa začína zavolaním funkcie MAXStart, ktorá nastaví počet prijímaných bytov, následne pin CS do log nuly, čím sa zahájí komunikácia. Jednotlivé byty sú čítané v rutine prerušenia pre daný modul. Po vyvolaní prerušenia sa ako prvé uloží prijatý byte. Následne sa skontroluje koľko bytov má byť ešte prijatých. Na základe toho sa buď začína nový príjem alebo sa komunikácia ukončuje nastavením pinu CS do log. 1. Teplota je vyčítaná pomocou funkcie MAXRead. Po zavolaní funkcie sa najprv skontroluje či boli prijaté všetky byty a ich správnosť. Po kontrole nasleduje prepočet, kde sa testujú stavové bity či bol prevod úspešný a vracia sa hodnota zmeranej teploty.



Obr. 4.4: Komunikácia medzi MCU a MAX6675

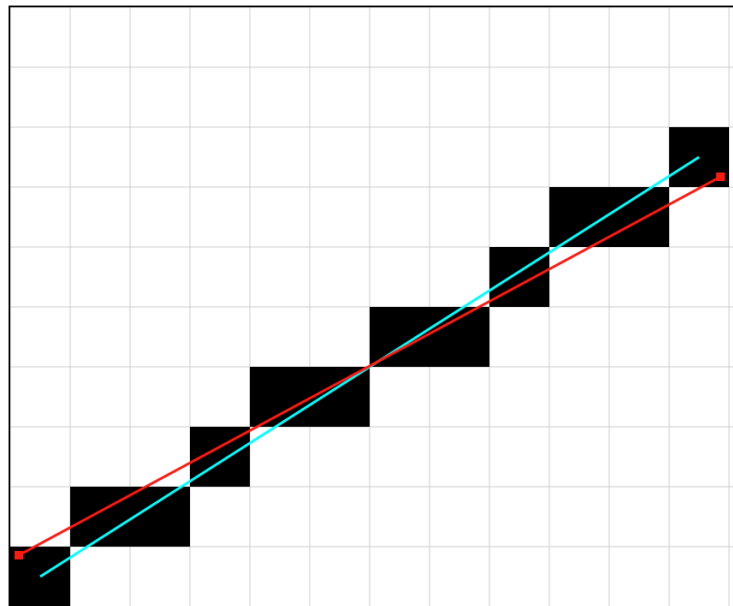
4.3 Ovládanie výkonových prvkov

Pre správnu reguláciu teploty bolo potrebné zosúladiť viacero modulov pre správnu činnosť. Na generovanie budiaceho signálu pre spínacie prvky bol použitý 16-bitový časovač č.1, ktorý zabezpečí presnejšie generovanie výstupného signálu. Štruktúra časovaču v porovnaní s dostupnými 8-bitovými je veľmi podobná, až na šírku počítačového registru TCNT a porovnávacích registrov OCR. Na detekciu prechodu nulou bolo použité externé prerušenie ISC0, ktoré je volané pri zmene logickej úrovne na danom pine. Toto prerušenie má druhú najvyššiu prioritu zo všetkých dostupných prerušení, a preto bolo použité miesto „pin change interruptu“, kde sa jednotlivé vstupné piny radia do skupín a je potrebné vyšetriť, na ktorom nastala zmena. Na meranie dĺžky pol-periód bol zvolený čítač č.4, ktorý má rovnaký dizajn ako časovač č.1.

Celé nastavenie sa začína konfiguráciou GPIO, inicializáciou časovačov a nastavením správy prerušenia. Vstupy pre detekciu prechodu nulou a meranie pol-periód boli nastavené ako vstupné bez použitia pull-up rezistoru. GPIO pre ovládanie výkonových prvkov bol nastavený ako výstupný.

Po nakonfigurovaní potrebných periférií mikrokontrolér čaká, kedy sa amplitúda signálu mení z kladnej do zápornej, aby došlo k synchronizácii a mohla byť odmeraná frekvencia napájacieho napätia. Na základe zmeranej frekvencie sa vygeneruje PDM LUT pre ovládanie budenia spínacej časti. Pri frekvencii siete 50 Hz trvá jedna polperióda 10 ms, vzorkovacia perióda prevodu teploty je 200 ms, čo nám dáva 20 cyklov medzi vzorkovaním. Aby boli jednotlivé budiace signály čo najrovnomernejšie rozložené, pre vygenerovanie tabuľky bol použitý upravený Bresenhamov algoritmus.

Tento algoritmus aproximuje 2 body úsečky tak, aby sa výsledná úsečka čo najviac podobala pôvodnej. Použitie tohto algoritmu je veľmi výhodné, lebo na výpočet používa celočíselnú aritmetiku, z čoho vyplýva aj jeho vysoká rýchlosť. Šírku osi x

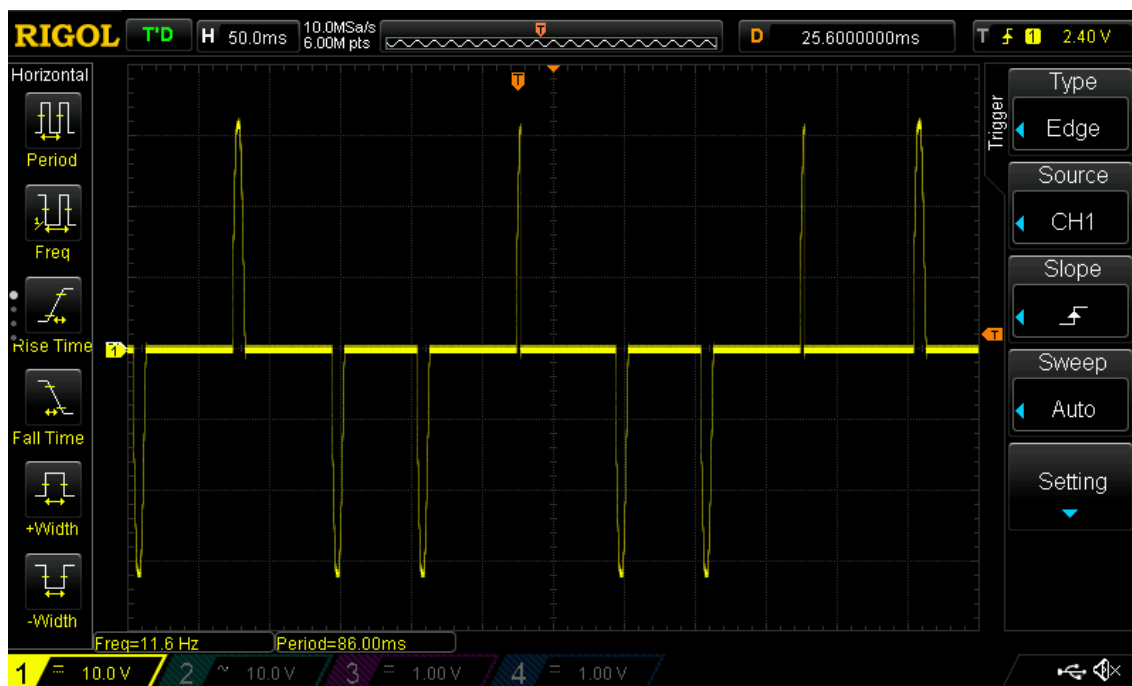


Obr. 4.5: Rasterizácia úsečky

udáva počet cyklov na jednu periódu, výšku konca úsečky udáva požadovaný výkon, teda počet cyklov, ktoré majú byť v log.1. Upravný algoritmus postupne prechádza x osu a tam, kde dôjde k zmene y hodnoty, zapíše do výstupného poľa 1, inak 0.

Po takto vygenerovanej tabuľke sa čaká na nový priechod nulou, ktorý vygeneruje prerušenie. V rutine prerušenia sa počíta počet ubehnutých cyklov, zahajuje sa prevod teploty a meria sa perióda medzi dvomi prechodmi nulou. Po ubehnutí počtu cyklov na jednu vzorkovaciu periódu sa spúšťa nový prevod teploty. Výsledok sa kontroluje na chyby, spočíta sa nový akčný zásah, na základe ktorého sa vyberá vzor z PDM LUT tabuľky. Ak sa v danom cykle hodnota vzoru tabuľky rovná 1, aktivuje sa výstup do log 1, inak ostáva vypnutý.

Aby bolo možné rozlíšenie zväčšiť z 20 cyklov a nemusel byť výstup aktívny počas celej polperiódy cyklu, bol ďalej jeden cyklus rozdelený na menšie časti. Toto rozdelenie zaobstaráva časovač č.1, ktorý môže výstup deaktivovať pred príchodom nového cyklu. Aby bola generovaná šírka pulzu čo najpresnejšia, používa sa predposledná zmeraná perióda, kedy mala amplitúda napájacej vetvy rovnakú fázu. Na konci prerušenia sa maže príznak prerušenia pre čítač č.4, aby bolo možné opakovane merať časové úseky medzi dvomi prerušeniami.



Obr. 4.6: Ukážka PDM regulácie

4.4 Čítanie polohy rotačného enkodéru

Čítanie polohy z rotačného enkodéru v sebe zahŕňa množstvo skrytých problémov. Jedným z nich je pri použití mechanického enkodéru takzvaný “bouncing”. Pri spínaní dochádza k odrážaniu spínacích kontaktov. Tento jav spôsobí, že sa na výstupe nevygeneruje zmena logickej úrovne, ale séria pulzov, čo by znamenalo zlé odčítanie polohy. Zákmity trvajú niekoľko μs a pre ich odstránenie sa používajú analógové a digitálne filtre.

Pri použití digitálneho filtra sa po zmene logickej úrovne čaká na odoznenie zákmitov a potom sa sníma stav pinu. Pre analógové filtrovanie sa používa dolnopriepustný RC filter. Časová konštanta sa volí podľa dĺžky trvania zákmitu. Nakoniec bol použitý analógový filter, aby bol ušetrený jeden časovač.

Periód generovaných pulzov závisí priamoúmerne od otáčok enkodéru. Pri určovaní polohy v smyčke programu, pri dlhom vykonávaní programu, by mohlo dochádzať k zlému odčítaniu pulzov. Pre presné odčítanie polohy boli nakoniec použité prerušenia. Pred odčítaním polohy, bolo potrebné najprv nastaviť potrebné piny a prerušenia.

Inicializácia enkodéru prebieha nastavením GPIO na vstup spolu s pustením “pull-up” rezistorov. Ďalej sa nastavujú registre pre prerušenia. Detekciu zmeny polohy využíva “pin-change” prerušenie. Toto prerušenie má spoločný vektor pre



Obr. 4.7: Ukážka bouncing efektu

skupinu niekoľkých vstupov, preto je potrebné v rutine prerušenia zistiť, na ktorom vstupe nastala zmena. Tlačidlo ekodéru je pripojené na vstup s prerušením INT1, ktoré má v porovnaní s “pin-change“ vlastný vektor a vyššiu prioritu. Prerušenie je nakonfigurované tak, aby bolo vyvolané so zmenou logickej úrovne pomocou registru EICRA. Na detekciu rýchlosti otáčania sa a dĺžky stlačenia tlačidla bol použitý časovač č.3.

Po zavolaní rutiny prerušenia sa ako prvé uloží stav príznakových bitov pretečenia a porovnania s registrami OCR. Pomocou týchto bitov sa určuje rýchlosť otáčania sa a dĺžka stlačenia tlačidla. Preddelička bola zvolená tak, aby aby časovač pretiekol za 1 s a nastavil sa príznakový bit TOV v registri TIMSK3 na identifikáciu dlhého stlačenia.

$$T_{OVF} = \frac{N \cdot (1 + TOP)}{f_{CPU}} = \frac{N \cdot (1 + 65535)}{16 \cdot 10^6} = 1.048s \quad (4.1)$$

Komparačné registre OCR3 sú nastavené tak, aby k zhode došlo približne za 30 a 100 ms. Pri zhode dochádza k nastaveniu príznakových bitov, pomocou ktorých sa indentifikuje rýchlosť otáčania enkodérom. Pred výstupom z prerušovacej rutiny sa resetujú príznakové bity, aby bolo možné určiť rýchlosť v ďalšom prerušení. Nakoniec sa nastaví čítač na 0 a znova sa spustí.

4.5 Uloženie nastavení pred vypnutím

Pred samotným vypnutím je potrebné zabezpečiť aby sa aktuálne nastavenia uložili do pamäte a bolo ich možné načítať pri zapnutí. Mikrokontrolér AtMega328-PB má v sebe zabudovaný 1 kByte EEPROM pamäte. Pri jej použití treba brať do úvahy, že životnosť tejto pamäte je 100000 cyklov zápisu. Aby nedošlo k jej poškodeniu, je potrebné minimalizovať prepisovanie uložených hodnôt.

Jednou z možností bolo ukladať nové hodnoty len v prípade ich zmeny. Tento postup nebol vhodný kvôli ukladaniu pozície rotačného enkodéru, kde by dochádzalo k prepisu každým krokom. Nastavenia by bolo možné ukladať aj po uplynutí určitého časového úseku. Zvolením tejto metódy by sa parametre nemuseli uložiť vždy a počet cyklov by závisel od doby používania.

Nakoniec bolo zvolené sledovanie napájacieho napätia. V čase vypnutia napájacie napätie začne klesať, rýchlosť klesania závisí od spotreby jednotlivých komponentov a veľkosti všetkých kondenzátorov v danej vetve. Použitý mikrokontrolér je schopný plnohodnotne fungovať na 16 MHz od 3.6V, čo umožňuje nastaviť komparačné napätie na širokom intervale. Napájacie napätie je privedené cez delič napätia na vstup mikrokontroléru. Komparačná úroveň napätia bola zvolená na 4.5 V a je porovnávaná s 1.1 V vnútornou referenciou. Pre porovnávanie bol použitý zabudovaný komparátor.

Komparátor bol pomocou registra ACSR nastavený tak, aby na neinvertujúci vstup bolo privedené napätie z vnútornej referencie. Po takomto nastavení je potrebné počkať 70 μ s na jeho ustálenie. Aby došlo k rýchlej reakcii na zmenu napätia, bolo ďalej povolené prerušenie od komparátoru a zvolená nábežná hrana. Pomocou bitu ACME sa sa volí použitie analógového multiplexoru medzi analógovo-digitálnym prevodníkom a komparátorom. Voľba vstupu pre multiplexor sa volí v konfiguračnom registri ADMUX. Po poklese napájacieho napätia dochádza k vyvolaniu prerušenia, kde sú uložené všetky nastavenia. Tento spôsob ukladania zabezpečí, že nastavenia sa ukladajú len pri vypnutí stanice a nedochádza k zbytočnému prepisovaniu pamäte EEPROM.

4.6 Návrh PSD regulátoru

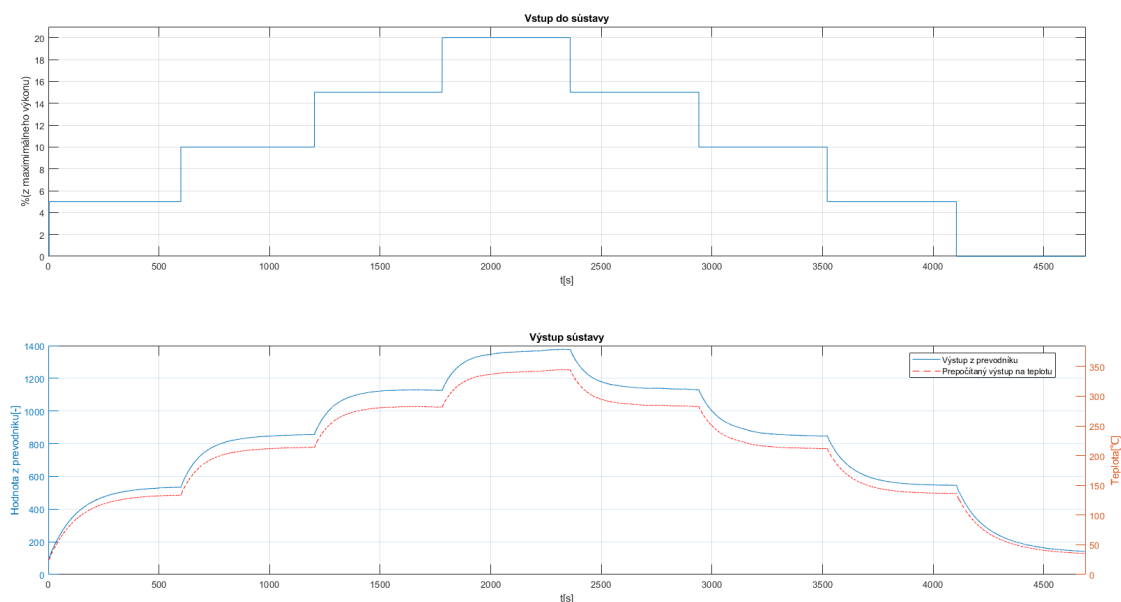
Jednou z hlavných vlastností spájkovacej stanice je udržiavať nastavenú teplotu na hrote spájkovačky. Pri spájkovaní dochádza k rýchlemu ochladzovaniu hrotu a na túto zmenu je potrebné rýchlo reagovať patričným akčným zásahom aby vyregulovanie trvalo čo najkratšie. Výpočet nového akčného zabezpečuje regulátor. Pred návrhom regulačnej schémy, výberom štruktúry regulátora a jeho nastavení je potrebné poznať parametre regulovanej sústavy. Samotný model sústavy sa dá určiť

viacerými spôsobmi.

Jednou z možností je sústavu matematicky a fyzikálne popísať, tento prístup sa používa hlavne v prípade, že samotnú sústavu nie je možné zmerať. Pri meraní, sa na rozdiel od modelu, upltaňujú všetky fyzikálne princípy, čo nám dáva presnejší výstup ale horšiu predstavu o vnútornej štruktúre sústavy. Merajú sa statické parametre, ako je zosilnenie sústavy a dynamické vlastnosti, čím sa určujú jednotlivé časové konštanty. Pre určenie parametrov sa vo väčšine prípadov používa impulzová a prechodová charakteristika.

Niekedy sa na identifikáciu používa generátor PRBS. PRBS je generátor “náhodného” signálu, ktorý generuje biely šum. Biely šum je špecifický tým, že všetky frekvenčné zložky majú rovnaké zasúpenie v generovanom signále.

Na stanovenie parametrov bola zmeraná prechodová charakteristika. Pre lepšiu predstavu správania sa sústavy bola hodnota jednotkového skoku postupne zvyšovaná. Z grafu vyplýva, že sa jedná o sústavu prvého rádu, čiže systém má len jednu



Obr. 4.8: Zmeraná prechodová charakteristika

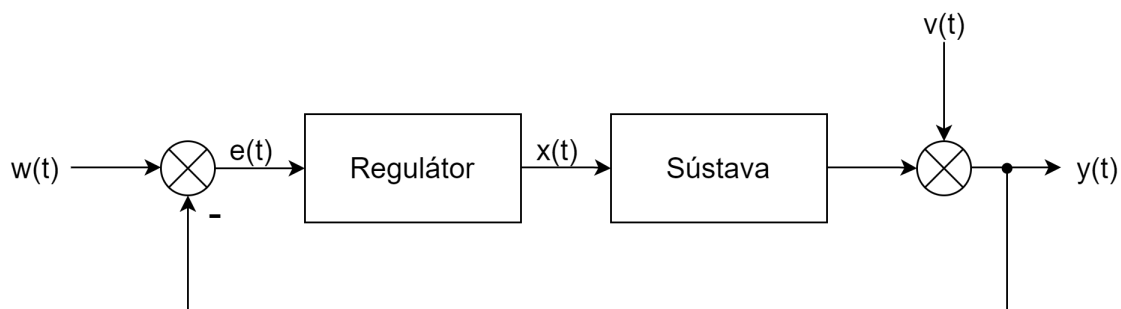
časovú konštantu. Ďalej vidno, že zosilnenie sústavy exponenciálne klesá so stúpajúcim rozdielom teploty hrotu a prostredia. To je spôsobené tým, že hrot spájkovačky do prostredia musí odovzdávať viac tepla. Časová konštanta klesá s rastúcou teplotou. Z toho vyplýva, že sa jedná o nelineárny systém. Pred samotným návrhom treba brať do úvahy, že regulátor môže do sústavy dodávať energiu, ale nemôže ju späťne odoberať. Pre návrh regulátoru bola použitá pracovná oblasť od 300 °C do 350 °C. Pre túto oblasť bolo spočítané zosilnenie $K = 12.55$ a odčítaná časová konštanta

$\tau=79\text{s}$.

$$F_s(s) = \frac{K}{\tau s + 1} = \frac{12.55}{79s + 1} \quad (4.2)$$

4.6.1 Voľba štruktúry regulátoru a nastavenie parametrov

Na základe znalosti systému bola zvolená regulačná schéma podľa nasledujúceho zapojenia. Zapojenie je zjednodušené o nelinearity a ďalšie členy, ktoré sa v reálnom



Obr. 4.9: Regulačná schéma

systéme vyskytujú. Výstup systému je porovnávaný so želanou hodnotou, podľa čoho sa počíta regulačná odchylka. V tomto prípade regulátor reaguje rovnako na zmenu želanej hodnoty, ale aj poruchu, ktorá vzniká pri ochladzovaní hrotu pri spájkovaní. Želaná hodnota pre nás predstavuje požadovanú teplotu. Pre sústavu prvého rádu je poustačujúce použitie PI regulátoru.

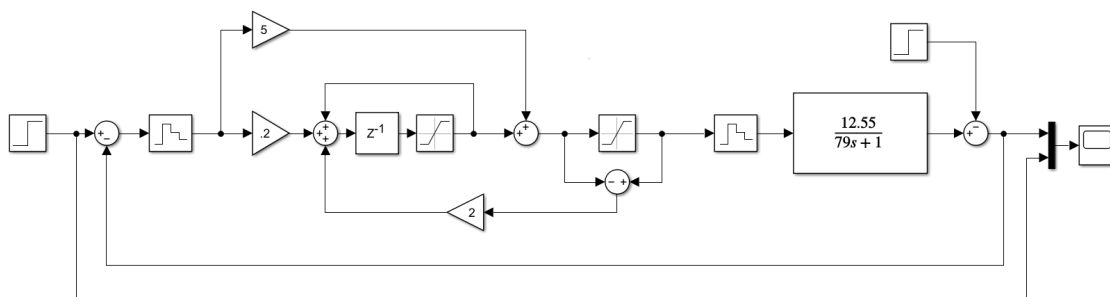
$$F_R(s) = \frac{K(Ts + 1)}{s} \quad (4.3)$$

Časová konštanta bola zvolená podľa modelu sústavy. V ideálnom prípade by sa menovateľový polynóm sústavy a čitateľ regulátoru vykrátili. Výsledkom by bol integrátor zapojený v spätnej väzbe. Otvorená slučka by vo frekvenčnej oblasti pretínala osu 0 dB so sklonom -20 db na dekádu v celom frekvenčnom pásme, čo by nám umožnilo nastaviť ľubovoľne veľké zosilnenie.

V reálnom systéme sa póly sústavy posúvajú, čo vyplýva aj zo zmeranej prechodovej charakteristiky, a preto nie je možné dosiahnuť ich vykrátenie. Model regulátoru bol zvolený ako spojitý, ktorý sa po nastavení parametrov prepočíta na diskretný. Nastavený regulátor však posielal do sústavy príliš veľký akčný zásah a preto bolo potrebné pridať na výstup regulátoru saturáciu. Vrchná hranica saturácie bola obmedzená na hodnotu 100, čo je vrchná hranica spínaného napätia posielaného do pera. Ako bolo už spomenuté, regulátor nemôže odoberať teplo z hrotu pera záporným akčným zásahom, a preto bola spodná hranica saturácie zvolená na hodnotu

0. Použitím saturácie na výstupe regulátoru dochádzalo k preintegrovaniu integračnej zložky, čo spôsobilo veľké rozkmitanie v okolí želanej hodnoty. K preintegrovaniu dochádza v prípade, že regulátor integruje odchylku v čase, keď vypočítaný zásah prekonal hodnoty maximálneho akčného zásahu obmedzeného fyzikálnymi dôvodmi.

Prvým riešením bolo pridanie saturácie integračnej zložky. Toto riešenie kmitanie znížilo, ale výstupná teplota bola stále kmitavá. Pre úplné odstránenie bola zavedená spätná väzba z výstupnej saturácie. Hodnota akčného zásahu za saturáciou je odčítaná od hodnoty pred saturáciou. V prípade, že hodnota nepresiahla medze saturácie, je ich rozdiel nulový. Ak je hodnota na výstupe saturovaná, rozdielom vstupu a výstupu dostávame zápornú spätnú väzbu pre integrátor. Pri návrhu regulátoru je potrebné počítať s dopravným oneskorením, ktoré vzniká kvôli vzorkovaniu a jeho hodnota môže byť až perióda vzorkovania. V tomto prípade bolo zanedbané, lebo hodnota vzorkovania je rádovo nižšia ako ako časové konštanty v sústave. Pri prepočte na diskretný tvar bol použitý tvarovač nultého rádu, aj keď v skutočnosti sú na výstupe polvlny sínusoidy. Efektívna hodnota závisí od hustoty výskytu polvln sínusoidy, a preto je možné tento obvod aproximovať týmto tvarovačom. Nastavenie regulátoru bolo odskúšané pre viacero parametrov sústavy, na základe čoho boli doladené vlastnosti regulátoru.



Obr. 4.10: Regulačná schéma

Záver

Predložená bakalárská práca sa zaoberala návrhom a realizáciou spájkovacej stanice s automatickou reguláciou teploty a automatickým prechodom do úsporného módu.

Úvod práce poskytuje rýchli náhľad do problematiky spájkovania a opisuje nástroje, ktoré sú pri tejto činnosti nevyhnutné. Ďalej bol vykonaný prieskum trhu so zameraním na bežne dostupné spájkovačky. V tejto kapitole sú diskutované jednotlivé riešenia, ich výhody a nevýhody. Podrobnejší opis je venovaný používaným zapojeniam spájkovacích pier a elektronických obvodov.

Po prieskume trhu bolo možné stanoviť kľúčové parametre spájkovacej stanice a bol zvolený typ zapojenia pera, od ktorého sa odvíjal jej celý návrh. Pri zvolenom type pera so sériovým zapojením sa ukázalo, že obvody pre snímanie teploty musia byť navrhnuté precízne. Zapojenie pre meranie teploty nevykazovalo veľkú kvalitu a bolo nahradené obvodom MAX6675. Prevodníkom nebolo možné merať teplotu s daným zapojením spájkovacieho pera. Preto bolo zvolené pero s oddelenými vývodmi pre vyhrievacie teleso a termočlánok. Riešenie tohto problému nastalo v skorom štádiu vývoja, keď ešte neboli navrhnuté ostatné obvody.

Bloky celého zapojenia boli najprv osadené na univerzálnych doskách plošných spojov. To umožnilo rýchle úpravy, opravy obvodu a testovanie. Nakoniec boli upravené hodnoty niektorých pasívnych prvkov, tak aby obvody splňali svoju funkciu.

Zapojenia boli testované s vývojovou doskou ATMEGA328PB-XMINI osadenou mikrokontrolérom At-Mega328PB. Pri testovaní bol kladený dôraz na znovu použitie kódu, čo umožnilo rýchlejší návrh finálneho softwaru. Testovaný MCU splňal potrebné požiadavky, a preto nebol dôvod voliť iný.

Odskúšaním celého zapojenia sa začal návrh dosky plošných spojov. Pre jej výrobu bol zvolený obojstranný dizajn s kombináciou SMD a THT komponentov. Pri oživovaní výrobku sa ukázali chyby, ktoré boli prehliadnuté pri jej návrhu.

Nastavená teplota spájkovaného miesta je udržiavaná pomocou PS regulátoru. Pri návrhu regulátoru sa vyšlo z modelu regulovanej soustavy, ktorý bol stanovený na základe prechodovej charakteristiky.

Zariadenie je schopné plynulo regulovať a udržiavať teplotu od 150 do 450°C. Pre rýchlejšiu voľbu teploty boli pridané módy s prednastavenými hodnotami, ktoré sú užívateľsky konfigurovateľné. Stanica disponuje dvomi stand-by režimami. Pri prvom dochádza k zníženiu nastavenej teploty a druhý po 30 minútach vypína výhrev hrotu. Prechod do týchto režimov oznamuje zvuková signalizácia. Užívateľské rozhranie stanice dovoľuje nastavovať niektoré základné parametre. Navrhnutý hardware by po menších úpravách programu umožnil napájanie stanice z akumulátoru, čo bude ďalším cieľom do budúcnosti.

Literatúra

- [1] RUŽA, Viliam *Pájení*. 2. upr. a dop. vyd. : PRAHA: SNTL, 1988.
- [2] Cínová spájka na cievke *OBI* [online]. [cit. 28.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<https://www.ob.sk/spajkovacie-prislusenstvo/cinova-spajka-na-cievke/p/1720846>>.
- [3] SZENDIUCH, Ivan a kolektiv *Moderní mikroelektronické technologie - základ elektrotechnického hardware*. Brno: VUTUM, 2015, ISBN 978-80-214-5293-0.
- [4] Olejár Martin. *Transformátorová páječka - jak pájet?* [online]. [cit. 13.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=81>>.
- [5] Trafospájkovačka ETP 4 75W *NÁSTROJE CZ* [online]. [cit. 28.,11.,2021]. Dostupné z URL: <https://eshop.nastrojecz.cz/sk/stroje_c9148280346377/spajkovacky-a-spajecky_c203628694470708/spajkovacka-transformatorova-etp-4-75w-skrutka-blister_p60488/>.
- [6] 100g Solder Paste Syringe Lead-free Soldering Flux High Insulation Resistance Solder Paste Syringe With Needle Low Temperature *AliExpress* [online]. [cit. 14.,11.,2021]. Dostupné z URL: <https://www.aliexpress.com/item/32894349794.html?dp=340192-129155.12605515&aff_fcid=6caac094bef044eb976ac29524c67b48-1640438019725-06683&aff_fsk&aff_platform=api-new-product-detail&sk&aff_trace_key=6caac094bef044eb976ac29524c67b48-1640438019725-06683&terminal_id=fe75d6deed304c869c17b32a5572c398>.
- [7] Basetech ZD-99 Soldering station Analogue 58 W +150 - +450 °C *CONRAD* [online]. [cit. 12.,11.,2021]. Dostupné z URL: <https://www.aliexpress.com/item/32894349794.html?dp=340192-129155.12605515&aff_fcid=6caac094bef044eb976ac29524c67b48-1640438019725-06683&aff_fsk&aff_platform=api-new-product-detail&sk&aff_trace_key=6caac094bef044eb976ac29524c67b48-1640438019725-06683&terminal_id=fe75d6deed304c869c17b32a5572c398>.
- [8] Jan Vítek *Speciální samohojící gel opraví nejen studené spoje* [online]. 27.11.2015 [cit. 17.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<https://goughlui.com/2014/10/01/usb-cable-resistance-why-your-phonetablet-might-be-charging-slow/>>.

- [9] RND 560-00158 - Soldering Iron 25W 430°C 230V *DISTRELEC*/ [online]. [cit. 18.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<https://www.distrelec.sk/sk/soldering-iron-25w-430-230v-rnd-lab-rnd-560-00158/p/30099737>>.
- [10] plynová spájkovačka Dremel VersaTip 2000-6 F0132000JA *CONRAD*/ [online]. [cit. 18.,11.,2021]. Dostupné z URL: <https://www.conrad.sk/p/plynova-spajkovacka-dremel-versatip-2000-6-f0132000ja-1200-c-90-min-piezozap-gclid=CjwKCAiAn5u0BhADEiwA_pZwcBj9df3ts3Suz_ajE-NetKNNW6_WCWFHFSfw1fvONxPbOBMCmHQmhRoCmSgQAvD_BwE>.
- [11] T0053298699 *Farnell*/ [online]. [cit. 18.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<https://sk.farnell.com/weller/t0053298699/soldering-station-70w-230vac-450deg/dp/2851721>>.
- [12] maxim integrated *MAX6675 Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)*/ [online]. [cit. 23.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>>.
- [13] Microchip *ATmega328PB Xplained Mini*/ [online]. [cit. 21.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/50002660a.pdf>>.
- [14] Microchip *ATmega328PB Datasheet*/ [online]. [cit. 23.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001906A.pdf>>.
- [15] *16x2 LCD Interfacing with Atmega16*/ [online]. 25.12.2015[cit. 23.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<https://avrgeeks.com/16x2-lcd-interfacing-atmega16/>>.
- [16] Microchip *MCP6001/1R/1U/2/4 1 MHz, Low-Power Op Amp*/ [online]. 1.6.2002[cit. 24.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP6001-1R-1U-2-4-1-MHz-Low-Power-Op-Amp-DS20001733L.pdf>>.
- [17] Microchip *MCP3201 2.7V 12-Bit A/D Converter with SPI Serial Interface*/ [online]. 8.2.2011[cit. 25.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21290f.pdf>>.
- [18] Texas Instruments *LM2576xx Series SIMPLE SWITCHER® 3-A Step-Down Voltage Regulator*/ [online]. 1.6.1999[cit. 25.,11.,2021]. Dostupné z URL:

- <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf?ts=1641022430566&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F>.
- [19] ALPHA OMEGA *AOD413A 40V P-Channel MOSFET*/ [online]. [cit. 27.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<http://aosmd.com/pdfs/datasheet/AOD413A.pdf>>.
 - [20] SHARP *PC817X Series*/ [online]. [cit. 28.,11.,2021]. Dostupné z URL: <<https://www.farnell.com/datasheets/73758.pdf>>.
 - [21] Diotec Semiconductor *DI78M05UAB Positive Fixed Voltage Regulators*/ [online]. [cit. 3.,4.,2022]. Dostupné z URL: <<https://www.tme.eu/Document/9bdeda276d62a241bd777da5c2cde5d6/di78m00uab.pdf>>.
 - [22] HITACHI *HD44780U, LCD-II, Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver*/ [online]. [cit. 3.,15.,2022]. Dostupné z URL: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>>.
 - [23] PACE *Operation and Maintenance Manual for ADS200 Soldering System*/ [online]. [cit. 2.,12.,2021]. Dostupné z URL: <https://paceworldwide.com/sites/default/files/2019-07/ADS200-Operation-Manual_Rev1-4.pdf>.
 - [24] HAKKO *Instruction manual HAKKO FX-888D*/ [online]. [cit. 3.,12.,2021]. Dostupné z URL: <<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Tools/fx888d.pdf>>.
 - [25] Weller *WHS 40D, WHS 40*/ [online]. [cit. 3.,12.,2021]. Dostupné z URL: <<https://docs.rs-online.com/4716/A7000000006581881.pdf>>.
 - [26] YIHUA *2 in 1 YIHUA 862D+ rework station*/ [online]. [cit. 3.,12.,2021]. Dostupné z URL: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/yihua862d_plus-datasheet.pdf>.
 - [27] Quicko *T12 STC-OLED DIGITAL SOLDERING STATION - USER MANUAL*/ [online]. [cit. 5.,12.,2021]. Dostupné z URL: <<https://www.manualslib.com/manual/1630946/Quicko-T12-Stc-Series.html>>.
 - [28] MINIWARE *TS100 Mini Soldering Iron*/ [online]. [cit. 5.,12.,2021]. Dostupné z URL: <<https://needful.co.ua/image/catalog/product/ts100-more/TS100-User-Manual-v1.03.pdf>>.
 - [29] Weller *Wellerr WE1, WEP70, PH70*/ [online]. [cit. 9.,12.,2021]. Dostupné z URL: <<https://www.itm.com/pdfs/cache/www.itm.com/we1010na-kit/manual/we1010na-kit-manual.pdf>>.

- [30] Rasterizace úsečky *Rasterizace úsečky pomocí Bresenhamova algoritmu – applet/* [online]. [cit. 9.,12.,2021]. Dostupné z URL: <https://www.utko.fekt.vut.cz/~rajmic/applets/Bresenham_line/line.html>.
- [31] apv *Rasterizace úsečky pomocí Bresenhamova algoritmu – applet/* [online]. [cit. 9.,12.,2021]. Dostupné z URL: <https://www.utko.fekt.vut.cz/~rajmic/applets/Bresenham_line/line.html>.
- [32] ON Semiconductor *RBC817-40W 45 V, 0.5 A, General Purpose NPN Transistor/* [online]. [cit. 9.,12.,2021]. Dostupné z URL: <https://www.utko.fekt.vut.cz/~rajmic/applets/Bresenham_line/line.html>.

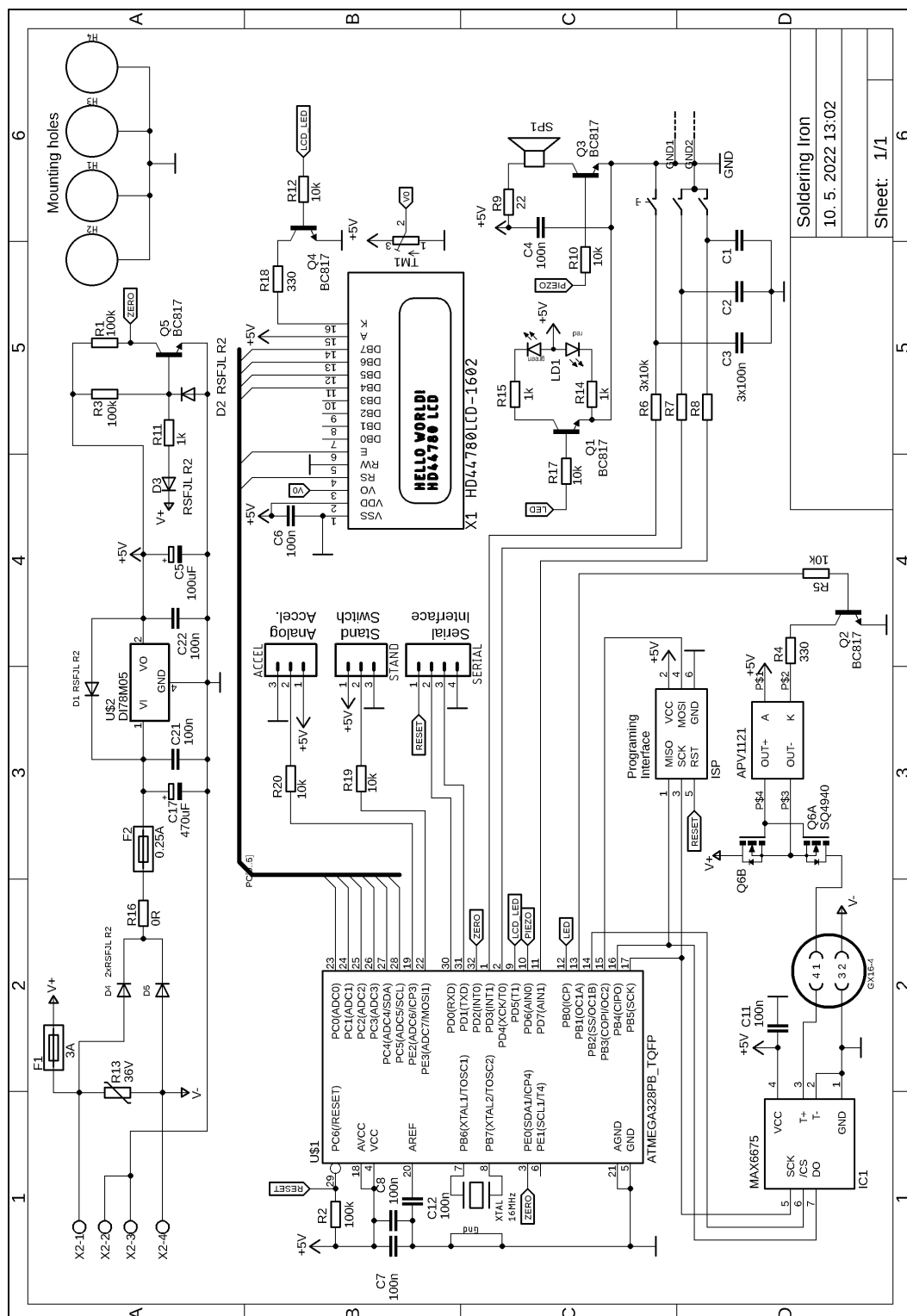
Zoznam symbolov a skratiek

ADC	Analógovo digitálny prevodník – Analog to Digital Converter
CGRAM	Character generator random access memory
DDRAM	Display data random access memory
DPS	Doska plošných spojov
EEPROM	Electrically erasable programmable read only memory
GPIO	General Purpose Input Output
KSPS	Kilo Samples Per Second
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Dióda vyžarujúca svetlo – Light emitting diode
LSB	Least significant bit
LUT	Vyhľadávacia tabuľka – Look Up table
MCU	Mikrokontrolér – microcontroller unit
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MSB	Most significant bit
OZ	Operačný zosilňovač
PCB	Doska plošných spojov – Printed Circuit Board
PDM	Pulzne hustotná modulácia – Pulse Density Modulation
PWM	Pulzno šírková modulácia – Pulse width modulation
RISC	Reduced instruction set computer
SRAM	Static random access memory
SPI	Serial Peripheral Interface
SMD	Povrchová montáž – Surface mount devices
THT	Through Hole Technology

Zoznam príloh

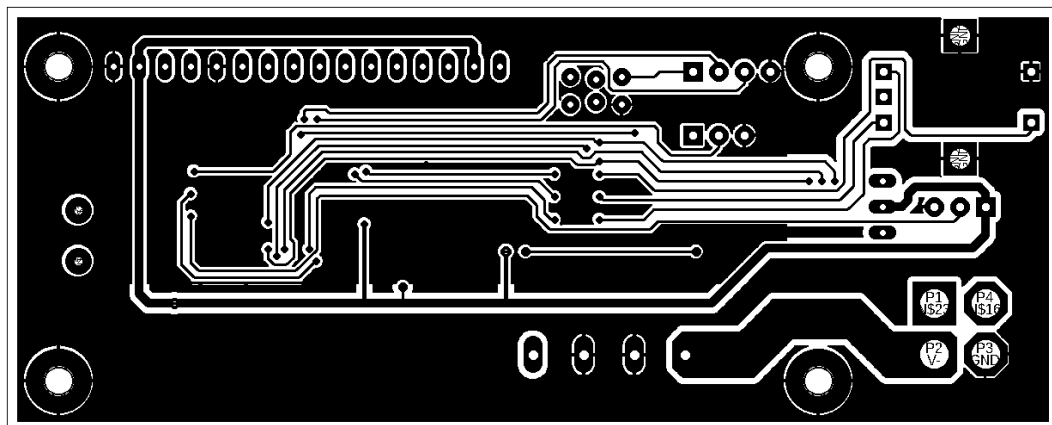
A	Schéma zapojenia	57
B	Vrchá a spodná časť DPS	58
C	Osadzovací plán a podložka pre pastu	59
D	Vrchná strana výrobku	60
E	Predná strana výrobku	61
F	Predná strana s otvoreným krytom výrobku	62
G	Obsah elektronickej prílohy	63

A Schéma zapojenia

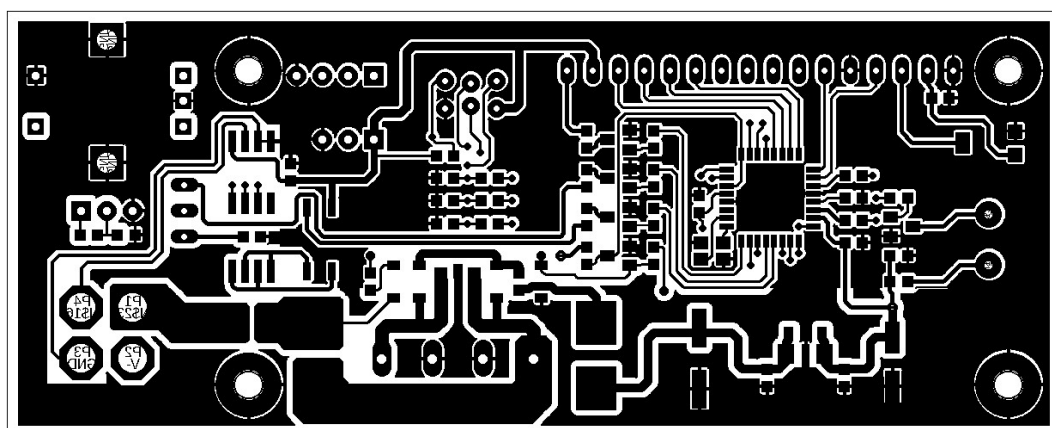


Obr. A.1: Meranie teploty zosilnovačom

B Vrchá a spodná časť DPS

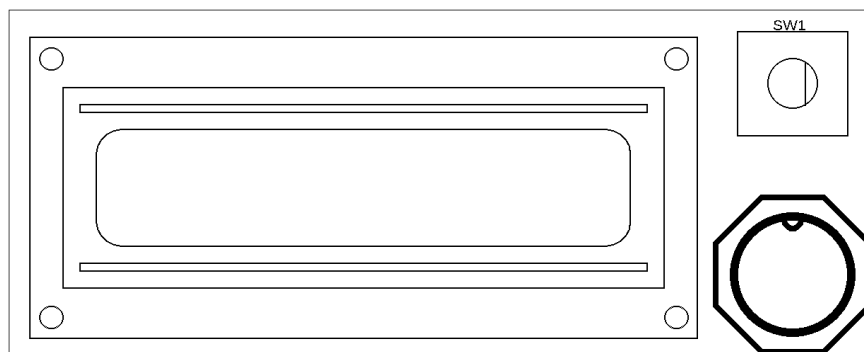


Obr. B.1: Vrchná časť DPS

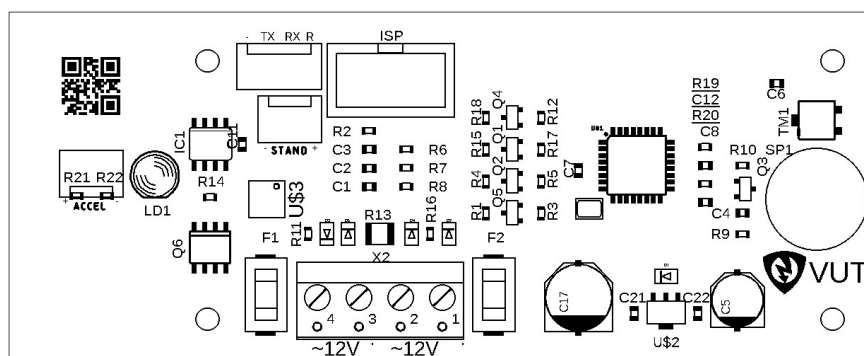


Obr. B.2: Spodná časť DPS

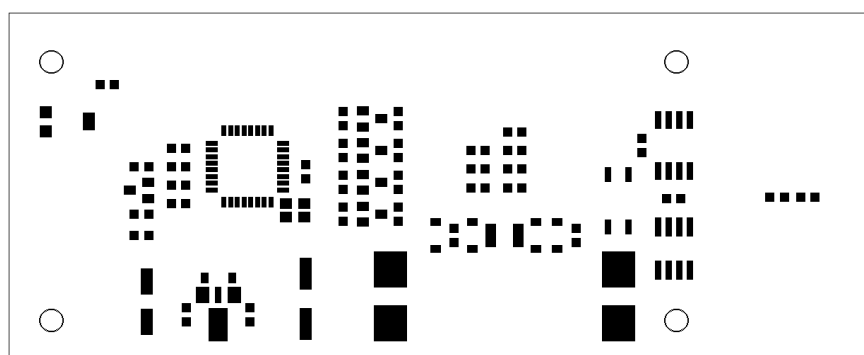
C Osadzovací plán a podložka pre pastu



Obr. C.1: Osadzovací plán pre spodnú časť

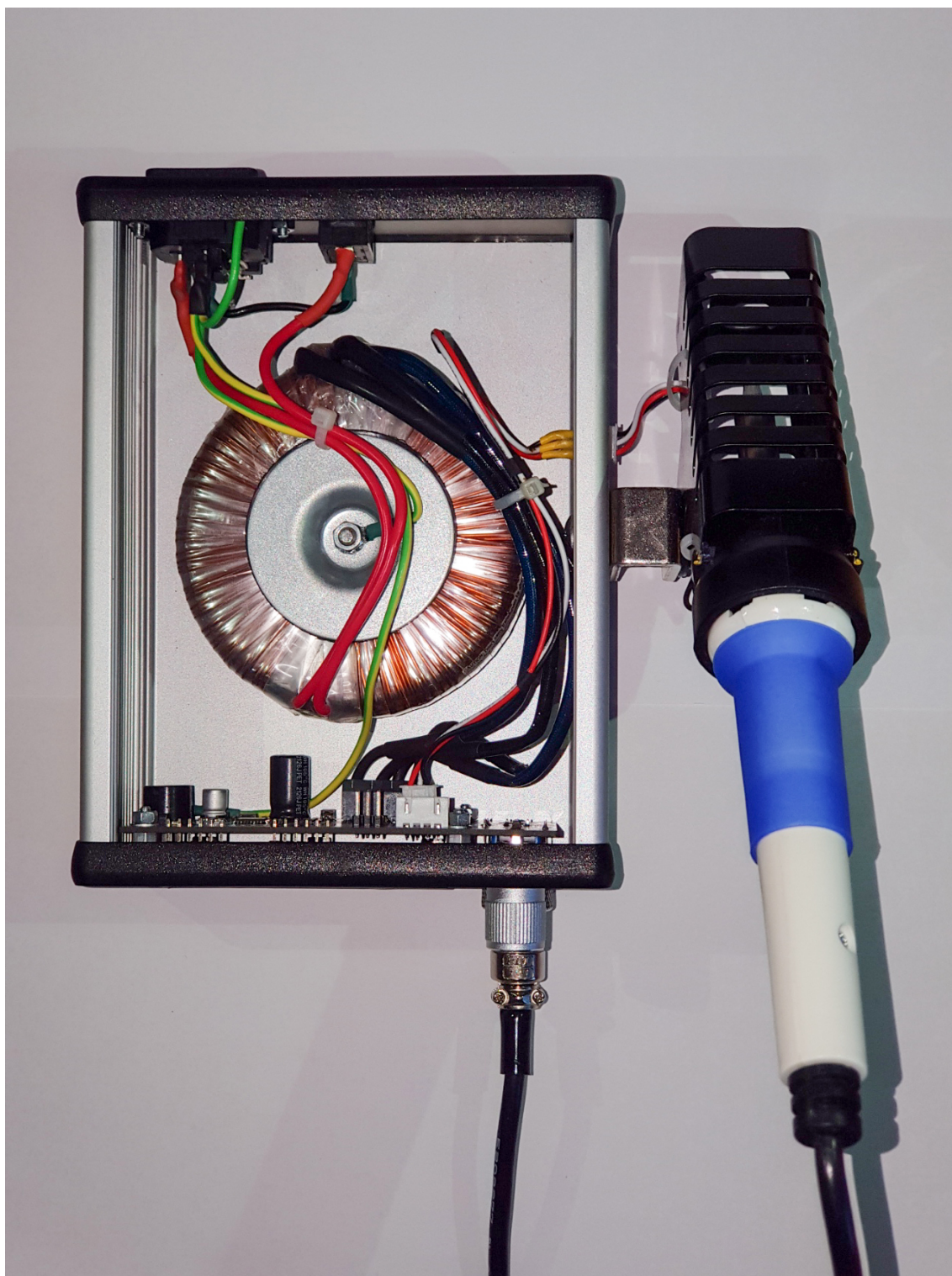


Obr. C.2: Osadzovací plán pre vrchnú časť



Obr. C.3: Podložka pre nanosenie pasty

D Vrchná strana výrobku



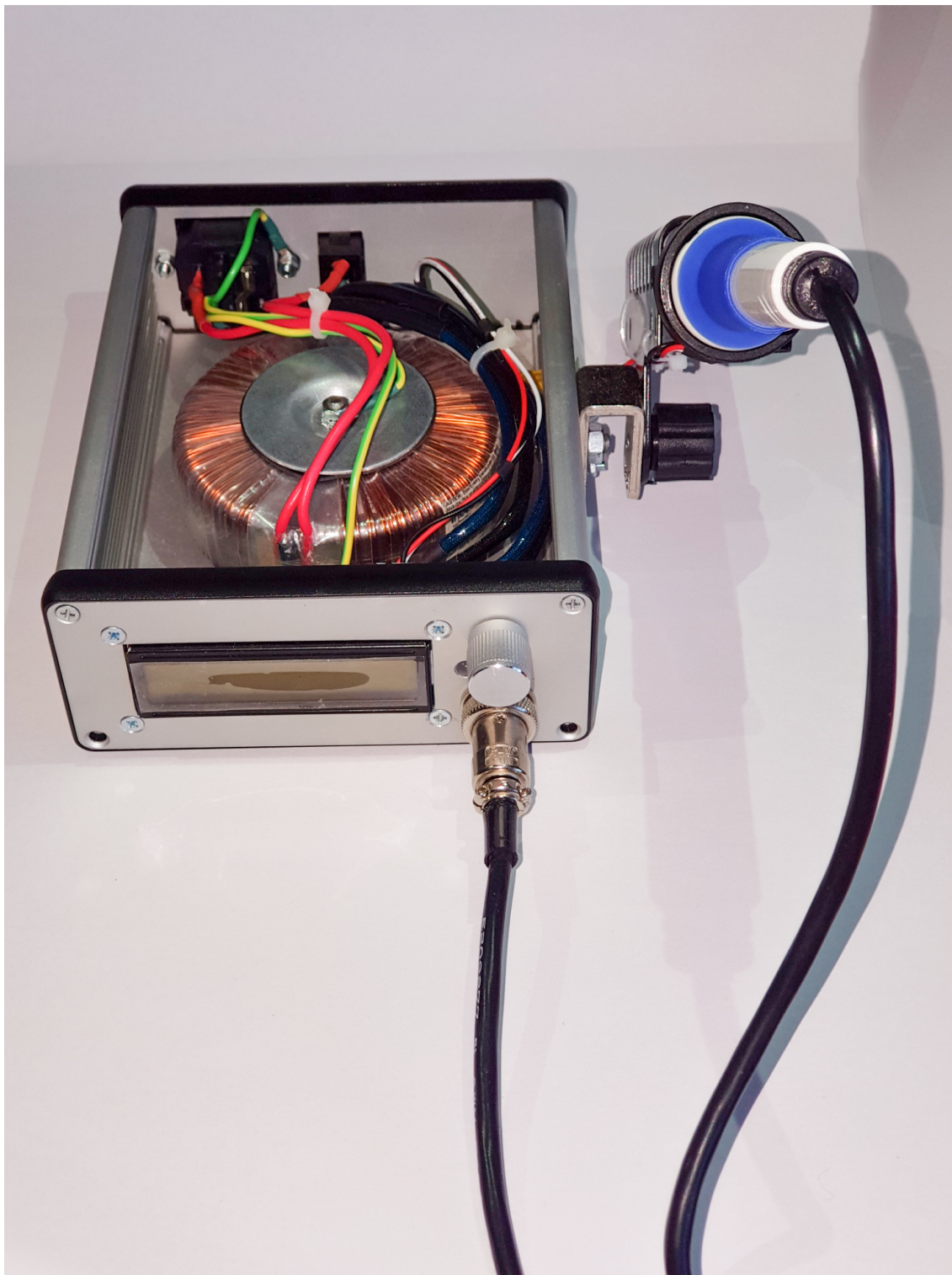
Obr. D.1: Vrchná strana spájkovačky

E Predná strana výrobku



Obr. E.1: Predná strana spájkovačky

F Predná strana s otvoreným krytom výrobku



Obr. F.1: Predná strana s otvoreným krytom spájkovačky

G Obsah elektronické přílohy

```
/ ..... koreňový adresár
├── Obrázky
│   ├── vrcha_strana.jpg
│   ├── z_hora.jpg
│   └── z_predu.jpg
├── Program ..... Zdrojové súbory
│   ├── Zdrojové súbory
│   │   ├── Board.h
│   │   ├── Debug.h
│   │   ├── Encoder.c
│   │   ├── Encoder.h
│   │   ├── Heater.c
│   │   ├── Heater.h
│   │   ├── LCD.c
│   │   ├── LCD.h
│   │   ├── main.c
│   │   ├── Mx6675.c
│   │   ├── MAX6675.h
│   │   ├── PSD.c
│   │   ├── PSD.h
│   │   ├── SolderingIron.c
│   │   ├── SolderingIron.h
│   │   ├── Terminal.c
│   │   ├── Terminal.h
│   │   ├── Utils.c
│   │   └── Utils.h
│   └── SolderingIron.hex
├── Schéma a návrh dosky plošných spojov ..... vytvorené v Eagle 9.6.2
│   ├── med_b.jpg
│   ├── med_t.png
│   ├── osadzovaci_plan_b.jpg
│   ├── osadzovaci_plan_t.png
│   ├── schema.png
│   ├── SolderingIron.brd
│   ├── SolderingIron.sch
│   └── schema.png
```