

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

MIKROPÁJECÍ STANICE ŘÍZENÁ MIKROPOČÍTAČEM

Martin Břeň

Bakalářská práce
2016

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Břeň**
Osobní číslo: **I13052**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Mikropájecí stanice řízená mikropočítačem**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je návrh a realizace mikropájecí stanice, řízené mikropočítačem. Mikropočítač řídicí jednotky pájecí stanice bude umožňovat řízení teploty hrotu mikropájecí vybranými typy regulátorů, zároveň bude umožňovat komunikaci a řízení mikropájecí nadřazeným systémem - osobním počítačem. Komunikace s nadřazeným řídicím systémem bude realizována pomocí rozhraní USB. Nadřazený řídicí systém bude umožňovat plnou diagnostiku a ovládání systému. Součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace mikropájecí stanice, včetně kompletních zdrojových kódů realizovaného software a přehledně zpracovaného uživatelského návodu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4

PLÍVA, Z. Eagle Prakticky, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-252-7

ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4

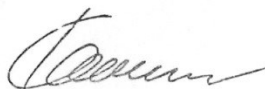
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **18. listopadu 2015**

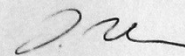
Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2016**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2016

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 10. 5. 2016

Podpis

Martin Břeň

ANOTACE

Práce se zabývá návrhem a realizací mikropájecí stanice řízené mikro počítačem ATmega32A firmy Atmel. Mikropájecí stanice umožňuje regulaci pomocí libovolného termoelektrického snímače teploty v určitém rozsahu termoelektrického napětí. Ovládání mikropájecí stanice je umožněno rotačním enkodérem, tlačítky a LCD displejem, nebo pomocí sériové linky. Součástí práce je navrhnout vhodný komunikační protokol pro vzdálené ovládání a diagnostiku pomocí sériové linky a následnou implementaci tohoto protokolu v mikropájecí stanici a v programu pro výpočetní prostředí MATLAB.

KLÍČOVÁ SLOVA

mikropájecí stanice, ATmega32A, mikro počítač, pájecí pero, termočlánek.

TITLE

MICROSOLDER STATION CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

ANNOTATION

The work deals design and implementation of microsolder station controlled by microcontroller ATmega32 of company Atmel. Microsolder station enables regulation using any thermocouple sensors within a certain range of thermoelectric voltage. Control of microsolder station is allowed by rotary encoder, buttons and LCD display or via serial port. Part of this work is to design an appropriate communications protocol for remote operation and diagnostics via serial port and the subsequent implementation of this protocol in microsolder station and in a program for MATLAB computing environment.

KEYWORDS

Microsolder station, ATmega32A, Microcontroller, Soldering handle, Thermocouple.

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam značek	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	12
ÚVOD	13
1 PÁJENÍ SPOJŮ	14
1.1 PÁJEDLA	14
1.2 PÁJKY	14
1.3 TAVIDLA	15
2 VLASTNOSTI MIKROPÁJKY	16
2.1 PÁJECÍ PERO	16
2.1.1 Měřící termočlánek	17
2.2 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI MIKROPÁJKY	19
3 POUŽITÉ KOMPONENTY	20
3.1 PÁJECÍ PERO	20
3.2 MIKROPOČÍTAČ	20
3.2.1 Vlastnosti ATmega32A	21
3.2.2 Vnitřní periférie	22
3.3 LCD DISPLEJ	23
3.3.1 Komunikace na sběrnici	24
3.4 DIGITÁLNÍ TEPLOMĚR	25
3.5 PŘÍSTROJOVÝ ZESILOVAČ	26
3.6 A/D PŘEVODNÍK	26
3.7 PŘEVODNÍK USB – UART	27
3.8 ROTAČNÍ ENKODÉR	28
3.9 TRIAK	28
4 REALIZACE MIKROPÁJECÍ STANICE	30
4.1 NAPÁJECÍ OBVODY	30
4.1.1 Pro digitální obvody	31
4.1.2 Pro milivoltmetr	34
4.2 MIKROPOČÍTAČ	35
4.3 MILIVOLTMETR	36

4.4	VÝKONOVÝ SPÍNACÍ PRVEK	38
4.5	DIGITÁLNÍ TEPLOMĚR	39
4.6	DETEKTOR PRŮCHODU NULOU	39
4.7	LCD DISPLEJ	41
4.8	ROTAČNÍ ENKODÉR A TLAČÍTKA	42
4.9	INDIKÁTOR ODLOŽENÉHO PERA	43
4.10	PŘEVODNÍK USB – UART	44
5	PROGRAM MIKROPOČÍTAČE	45
5.1	ZPRACOVÁNÍ VSTUPŮ	45
5.2	HLAVNÍ PROGRAM	45
5.3	REALIZACE REGULÁTORU	46
5.4	MĚŘENÍ TEPLoty	47
5.5	ŘÍZENÍ TRIAKU	48
5.6	OVLÁDÁNÍ MIKROPÁJECÍ STANICE	49
5.7	KOMUNIKACE S PC	50
5.7.1	Komunikační protokol	51
6	ZHODNOCENÍ KONCEPCE NÁVRHU	53
7	ZÁVĚR	55
	LITERATURA	56
	PŘÍLOHY	57

Seznam zkratk

A/D	analogově digitální
CISC	kompletní instrukční sada
DPS	deska plošných spojů
EEPROM	elektricky mazatelná paměť
ESD	elektrostatický výboj
ISP	sériová sběrnice pro programování mikropočítače
LCD	displej z tekutých krystalů
LED	světlo emitující dioda
MCU	mikropočítač
PC	osobní počítač
PID	proporcionálně integračně derivační (regulátor)
PWM	pulzně šířková modulace
RISC	redukovaná instrukční sada
SMD	součástky pro povrchovou montáž
SMT	technologie povrchové montáže
SPI	sériová sběrnice
TWI	dvouvodičová sběrnice
UART	univerzální asynchronní sběrnice
USB	univerzální sériová sběrnice

Seznam značek

u_{VST}	vstupní napájecí napětí z transformátoru, V
U_{MAX}	maximální vstupní elektrické napětí, V
U_{MIN}	minimální vstupní elektrické napětí, V
U_{NAP}	napájecí napětí integrovaných obvodů, V
ΔU_{NAP}	maximální zvlnění napětí integrovaných obvodů, V
U_{REF}	referenční napětí převodníku, V
U_{IREF}	referenční napětí pro detekci proudového přetížení, V
U_{UREF}	referenční napětí pro regulaci výstupního napětí, V
U_{SAT}	saturační napětí spínacího tranzistoru, V
U_{BE}	napětí na přechodu báze-emitor, V
U_L	napětí při sycení tlumivky, V
U_D	napětí na diodě, V
U_T	ovládací napětí triaku, V
U_{TK}	maximální vstupní napětí z termočlánku, V
U_{OH}	minimální napětí na vývodu mikropočítače při logické jedničce, V
U_{IL}	maximální napětí vývodu mikropočítače detekované jako logická nula, V
u_{ZP}	napětí přiváděné na vstup komparátoru, V
U_{ZR}	referenční napětí pro detekci průchodu nulou, V
U_{LED}	napětí na LED diodách, V
I_{MAX}	maximální odebíraný proud, A
I_P	špičkový proud, A
I_T	proud potřebný k sepnutí triaku, A
I_{LED}	proud procházející LED diodami, A
R	odpor rezistoru, Ω
C	kapacita kondenzátoru, F
L	indukčnost tlumivky, H
f	spínací frekvence, Hz
f_0	mezní frekvence filtru, Hz
t	čas, s
τ	časová konstanta filtru, s
t_{ON}	doba sycení, s
h_{21}	zesílení tranzistoru

Seznam obrázků

Obr. 2.1 – Řez pájecím perem mikropájky Velleman VTSSC20N	16
Obr. 2.2 – Závislost termoelektrického napětí na teplotě standardních typů termočlánků.....	18
Obr. 3.1 – Zapojení konektoru pájecího pera.....	20
Obr. 3.2 – Pouzdro TQFP mikroprocesoru ATmega32A	21
Obr. 3.3 – Blokové schéma mikropočítače ATmega32A	22
Obr. 3.4 – Rozměry displeje a rozmístění vývodů.....	23
Obr. 3.6 – Sekvence pro čtení bytu z LCD	25
Obr. 3.5 – Sekvence pro zápis bytu do LCD	25
Obr. 3.7 – Grafy časových závislostí čtení a zápisu bitu	26
Obr. 3.8 – Komunikace s A/D převodníkem pře SPI rozhraní	27
Obr. 3.9 – Kvadrurní signál z rotačního enkodéru.....	28
Obr. 3.11 – Řízení triaku spínáním celých půlvln	29
Obr. 3.10 – Řízení triaku spínáním části půlvlny	29
Obr. 4.1 – Blokové schéma mikropájecí stanice.....	30
Obr. 4.2 – Schéma napájecího zdroje pro digitální obvody.....	31
Obr. 4.3 – Schéma napájecího zdroje pro analogové obvody.....	34
Obr. 4.4 – Schéma zapojení mikropočítače	36
Obr. 4.5 – Schéma zapojení milivoltmetru	37
Obr. 4.6 – Schéma zapojení spínacího obvodu triaku	38
Obr. 4.7 – Schéma zapojení digitálního teploměru.....	39
Obr. 4.8 – Schéma zapojení detektoru průchodu nulou.....	40
Obr. 4.9 – Schéma zapojení LCD displeje.....	41
Obr. 4.10 – Schéma zapojení konektoru ovládání	42
Obr. 4.11 – Schéma zapojení tlačítek a rotačního enkodéru.....	42
Obr. 4.12 – Schéma zapojení vývodu pro indikaci odloženého pera	43
Obr. 4.13 – Schéma zapojení převodníku USB – UART	44
Obr. 5.1 – Vývojový diagram hlavního programu	46
Obr. 5.2 – Vývojový diagram jednoho cyklu regulátoru	47
Obr. 5.3 – Vývojový diagram aktualizace teploty desky	48
Obr. 5.4 – Ukázka zobrazení hlavního zobrazení	49
Obr. 5.5 – Ukázka zobrazení seznamu.....	49
Obr. 5.6 – Ukázka zobrazení pro nastavování hodnoty	49

Obr. 5.7 – Ukázka zobrazení pro nastavování hodnoty	50
Obr. 5.8 – Vývojový diagram zpracování přijatých dat.....	51

Seznam tabulek

Tab. 2.1 – Vlastnosti standardních typů termočlánků.....	18
Tab. 3.1 – Vlastnosti mikropočítače ATmega32A	21
Tab. 3.2 – Popis vývodů displeje	23
Tab. 3.3 – Seznam podporovaných příkazů.....	24
Tab. 4.1 – Parametry měniče pro napájení digitálních obvodů	31
Tab. 4.2 – Parametry měniče pro napájení milivoltmetru	34
Tab. 4.3 – Parametry externích součástek měniče pro napájení milivoltmetru	35
Tab. 5.1 – Definované příkazy pro ovládání mikropájky	52
Tab. 6.1 – Parametry sestavené mikropájecí stanice	54
Tab. 6.2 – Zvolené parametry regulátoru a změřené parametry kvality regulace	54

ÚVOD

Z důvodu miniaturizace elektroniky a pro jednoduchou strojní manipulaci se součástkami typu SMD se stále více rozšiřuje technologie SMT. Zároveň součástky SMD bývají citlivé na ESD a přehřátí, proto se opouští klasické transformátorové pájky a nahrazují je mikropájecí stanice, které jsou navrhovány tak, aby jejich používání nezpůsobovalo poškození součástek a zároveň práce se stanicemi byla jednoduchá.

Cílem bakalářské práce je navrhnout a realizovat mikropájecí stanici řízenou mikropočítačem, umožňující velké množství nastavování parametrů regulátoru a digitální nastavování teploty. Dalším krokem je navržutí komunikačního protokolu pro komunikaci s PC a programu pro PC v prostředí MATLAB, který bude mít implementovaný tento komunikační protokol a bude využívat všech jeho možností. Cílem práce je vytvořit zařízení pro regulaci teploty tepelných soustav s termočláňkovým snímačem teploty různých typů.

1 PÁJENÍ SPOJŮ

Pájení je proces, při kterém se spojují dva kovy pomocí snadno tavitelných slitin. Pro pájení je potřeba mít pájedlo, pájku a tavidlo (Schinkmann, 1991 – 2016).

1.1 PÁJEDLA

Pájedla jsou zařízení pro nahřátí materiálů a pájek, a následné spájení těchto materiálů pomocí pájky. Pájedla lze rozdělit podle technologie na dvě základní skupiny.

Ruční:

- Plynové – pro ohřev používají hoření plyných látek (nejčastěji propan – butan).
- Transformátorové páječky – využívají ohřevu drátu, kterým prochází proud (řádově desítky A).
- Mikropájky – topným tělesem se ohřeje hrot, který následně ohřívá pájku.
- Horkovzdušné pájedla – využívají ohřevu spojů pomocí přehřátého vzduchu. Vhodné pro demontáž integrovaných obvodů v provedení SMD.

Průmyslové:

- Pájení pomocí pájecí vlny – deska s osazenými součástkami projíždí nad vlnou roztavené pájky. Hlavní podmínkou je možnost přímého ostříku pájených plošek.
- Pájení pomocí par – využívá se skupenského tepla, které se uvolňuje při kondenzaci par na nejchladnějších místech, kde rozpustí nanesenou pájku. Pájení probíhá při konstantní teplotě, která je dána bodem varu použitých par.
- Infračervené pece – používají k ohřevu desky s nanesenou pájkou infračervené světlo. Hlavní nevýhodou této technologie je různá absorpce infračerveného světla různými komponentami na desce (integrované obvody se ohřívají rychleji, než pájecí plošky).

1.2 PÁJKY

Pájky jsou obvykle slitiny kovů s teplotou tavení nižší než pájené materiály. Pájky lze rozdělit na tvrdé a měkké pájky.

Tvrde pájky souží ke spojování materiálů, u kterých spoje musí vydržet velké mechanické nebo tepelné namáhání. Teplota tání je vyšší než 450 °C. Jsou složeny z kovů s vyšší teplotou tavení (např. stříbro, měď, hliník, kadmium, nikl, zinek, ...)

Měkké pájky slouží k vytváření vodotěsných a elektricky vodivých spojů, které nebudou vystaveny velkému mechanickému namáhání. Teplota tání je menší než 450 °C. Jedná se o slitiny olova a cínu v různém poměru podle potřebných vlastností, nebo bezolovnaté slitiny cínu (Schinkmann, 1991 – 2016).

1.3 TAVIDLA

Úkolem tavidla je zjednodušit pájení a zvýšit výslednou kvalitu spoje. Tavidla musí zabránit oxidaci pájených materiálů během pájení, zlepšovat schopnost pájky smáčet pájené materiály a mohou také chemicky dočišťovat pájené materiály.

Pro měkké pájky se nejčastěji používá kalafuna, pro tvrdé pájky se používá borax nebo kyselina boritá (Schinkmann, 1991 – 2016)

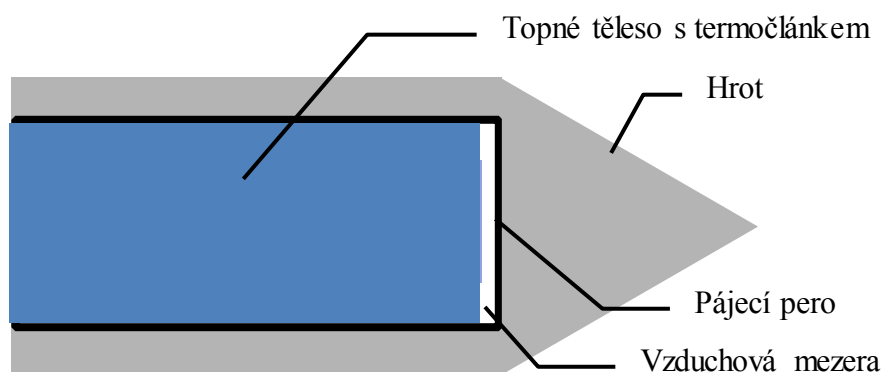
2 VLASTNOSTI MIKROPÁJKY

Jedná se o elektronické zařízení, které slouží k pájení převážně vodivých elektrických spojů na DPS. Mikropájka se obvykle skládá z mikropájecí stanice a pájecího pera.

Existuje velké množství mikropájek v několika cenových kategoriích. Informace o rozdílech mezi těmito mikropájkami jsou většinou velmi obtížně dostupné. Lze předpokládat, že nejlevnější mikropájky budou obsahovat jednoduchý analogový obvod pro porovnání požadovaného napětí (využití potenciometru, jako děliče napětí, se zobrazenou teplotní stupnicí) s napětím naměřeným ze snímače teploty a podle stavu výstupu z komparátoru spíná topení pájecího pera. Se vzrůstající cenou mikropájek začínají mikropájky obsahovat digitální řízení teploty, přesnější měřicí obvody, přesné nastavování teploty, zobrazování teplot na displeji a další funkčnost. Zároveň s cenou se mění konstrukce pájecího pera pro získávání lepších vlastností (nižší tepelný odpor uvnitř hrotu, větší tepelná kapacita, ...).

2.1 PÁJECÍ PERO

Pájecí pero se skládá z těla pájecího pera, snímače teploty topného tělesa a hrotu. Struktura pájecího pera mikropájkou Velleman VTSSC20N je vidět na obr. 2.1. Toto pero využívá k měření teploty termočlánek a k ohřevu používá keramické topné těleso, které vytváří menší magnetické pole než topné těleso z odporového drátu. Toto topné těleso je navrženo pro napájecí napětí 24 V a jeho příkon při maximálním zatížení je 48 W. (Velleman, 2016).



Obr. 2.1 – Řez pájecím perem mikropájkou Velleman VTSSC20N

Při dotyku hrotu mikropájky pájecích plošek dojde k odvedení tepla z hrotu pájecí plošky a hrot se ochladí. Ve chvíli, kdy je zjištěna nižší teplota hrotu mikropájky řídicí elektronika mikropájky zareaguje a začne ohřívat topné těleso, aby se teplota hrotu vrátila zpět na požadovanou teplotu. Ohřáté topné těleso následně předá teplo pájecímu hrotu.

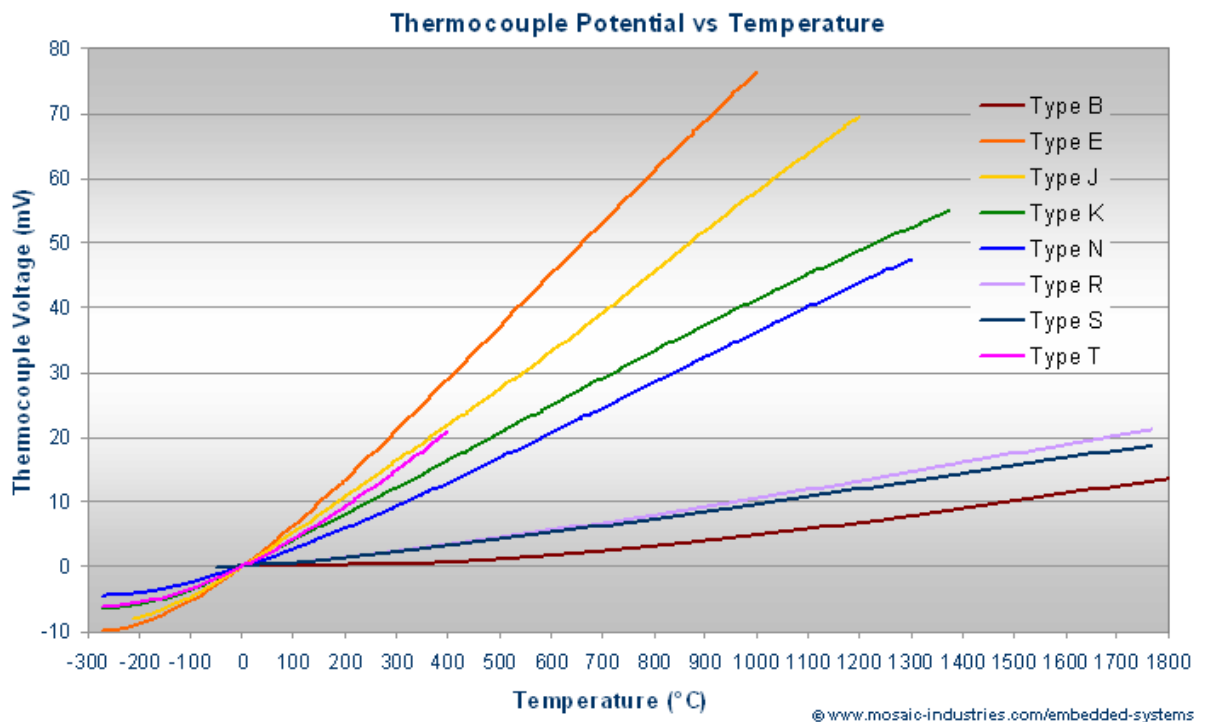
Z důvodu větší vzdálenosti mezi měřícím termočlánkem a hrotem mikropájky nelze regulovat přímo povrchovou teplotu hrotu, ale vnitřní teplotu viz obr. 2.1. Proto při rychlém pájení několika plošek za sebou, nestihne hrot přenést dostatečné množství tepla z vnitřku pera a hrot se příliš ochladí a nemůže tavit pájku.

Na tento problém obvykle uživatel zareaguje zvýšením teploty, které může způsobit zkrácení životnosti hrotu. Tento problém lze řešit odlišnou konstrukcí pera, nebo částečně změnou konstrukce regulátoru, který je schopen z průběhu teploty uvnitř pera odhadnout teplotu povrchu hrotu.

2.1.1 Měřící termočlánek

Většina pájecích per využívá k měření teploty hrotu mikropájky termočlánekové snímače teploty. Termočlánky generují napětí odpovídající rozdílu teplot mezi měřeným a referenčním bodem. Jako referenční bod se využívá změny skupenství určitých látek pro jejich schopnost udržovat konstantní teplotu i při změně akumulované tepelné energie, nebo masivní svorkovnice, u které je měřená teplota jiným druhem snímače teploty. Dalšími nevýhodami jsou existence termoelektrického jevu mezi dvěma libovolnými kovy a jejich nízké výstupní napětí řádově desítky mV. Tyto nevýhody jsou kompenzovány velkým rozpětí pracovních teplot. Existují standardizované typy termočláneků.

Jednotlivé typy se rozlišují použitím různých materiálů, které ovlivňují jejich vlastnosti, hlavně rozsah pracovních teplot a závislost hodnoty termoelektrického napětí na teplotě termočláneku.



Obr. 2.2 – Závislost termoelektrického napětí na teplotě standardních typů termočlánků
(Mosaic Industries, Inc., 2014)

Tab. 2.1 – Vlastnosti standardních typů termočlánků (Mosaic Industries, Inc., 2014)

Typ	Složení	Rozsah pracovních teplot
B	(+) Platina - 30% Rhodium (-) Platina - 6% Rhodium	Od 250 °C do 1 820 °C
E	(+) Ni-Cr (-) Konstantan	Od -270 °C do 1 000 °C
J	(+) Železo (-) Konstantan	Od -210 °C do 1 200 °C
K	(+) Ni-Cr (-) Ni-Al	Od -250 °C do 1 250 °C
N	(+) Ni-Cr-Si (-) Ni-Si-Mg	Od -250 °C do 1 300 °C
R	(+) Platina (-) Platina - 13% Rhodium	Od -50 °C do 1 768 °C
S	(+) Platina (-) Platina - 10% Rhodium	Od -50 °C do 1 768 °C
T	(+) Měď (-) Konstantan	Od -250 °C do 400 °C

2.2 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI MIKROPÁJKY

Realizovaná mikropájka je určena pro pájení pomocí slitin cínu, které vyžadují pájecí teplotu do 450 °C (Schinkmann, 1991 – 2016). Veškeré použité komponenty jsou voleny podle následujících parametrů stavěné mikropájky.

- Regulace teploty do 400 °C pomocí mikropočítače.
- Nastavování požadované teploty pomocí rotačního enkodéru s možností jejího uložení.
- Zobrazování požadované a aktuální teploty na LCD displeji.
- Co nejpřesnější měření napětí na termočlátku v rozsahu od 0 V do 20 mV.
- Možnost volby typu použitého termočlátku.
- Nastavování parametrů použitého regulátoru.
- Komunikace s PC umožňující čtení a nastavování všech parametrů a kompletní diagnostiku mikropájky.

3 POUŽITÉ KOMPONENTY

3.1 PÁJECÍ PERO

Je použito pájecí pero od mikropájecí stanice Velleman VTSSC20N. Jeho vnitřní konstrukce je znázorněna na obr. 2.1. Identifikace použitého typu termočlásku byla provedena ohřátím pájecího pera v originální pájecí stanici na teplotu 300 °C a následným odečtem hodnoty výstupního napětí termočlásku v pájecím peru multimetrem MASTECH MY68, která byla následně porovnána se standardními hodnotami termočlásků.

Napětí na termočlásku bylo 15 mV a při odečtu pokojové teploty 20 °C odpovídá zjištěná hodnota napětí termočlásku typu J podle obr. 2.2 a tabulky (OMEGA Engineering, Inc., 2003 – 2016).

Pájecí pero se připojuje k mikropájecí stanici pomocí čtyřvodičového vedení a konektoru DIN 5. Zapojení vývodů konektoru je na obr. 3.1. Nepopsaný vývod č. 2 je na pájecím peru propojen s pájecím hrotem a má sloužit jako ochrana před ESD.

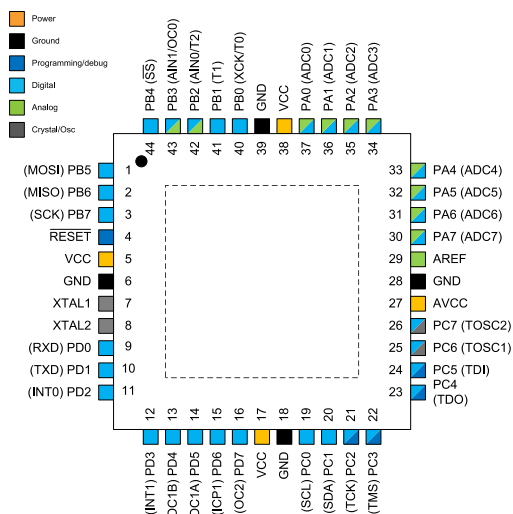


Obr. 3.1 – Zapojení konektoru pájecího pera (Janík, 2011 – 2016)

3.2 MIKROPOČÍTAČ

Mikropočítače lze rozdělit podle architektury procesoru na Harvardskou, která odděluje paměť dat od paměti programu, a Von Neumannovu, která používá společnou paměť pro program i pro data. Většina mikropočítačů využívá Harvardskou architekturu, která díky oddělené paměti programu od paměti dat, nabízí možnost uchování programu v paměti i při odpojení napájení. Dále je lze rozdělit podle typu instrukční sady na RISC a CISC. Redukovaná instrukční sada (RISC) nabízí pouze jednodušší instrukce, které je schopen procesor velmi rychle zpracovávat, typicky během jednoho instrukčního cyklu, který nemusí odpovídat hodinovému taktu. Naopak kompletní instrukční sada (CISC) nabízí velké množství složitých instrukcí a k jejich zpracování je potřeba většího počtu instrukčních cyklů.

K realizaci mikropájky je použit mikropočítač ATmega32A od firmy Atmel v SMD pouzdru TQFP44.



Obr. 3.2 – Pouzdro TQFP mikroprocesoru ATmega32A (Atmel Corporation, 2015)

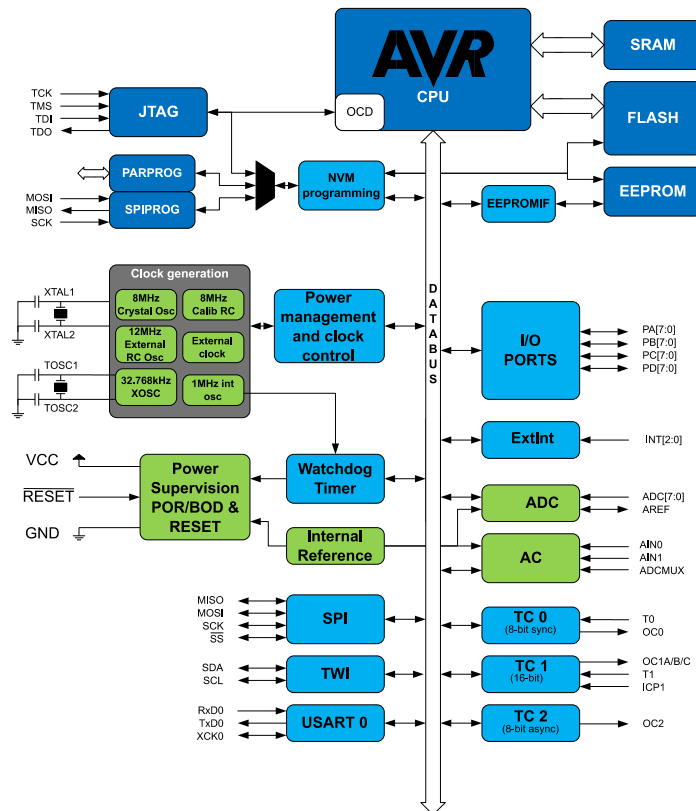
Mikropočítač ATmega32 disponuje čtyřmi 8bitovými vstupně výstupními porty a vývody pro napájení, externí krystal a resetovací vývod. Každý vývod vstupně výstupních portů disponuje alespoň jednou speciální funkcí vnitřních periférií.

3.2.1 Vlastnosti ATmega32A

Tab. 3.1 – Vlastnosti mikropočítače ATmega32A (Atmel Corporation, 2015)

Název	Hodnota
Typ procesoru	AVR
Počet instrukcí	131
Počet pracovních registrů	32 8bitových
Taktovací frekvence	0 – 16 MHz
Velikost paměti FLASH	32 kB
Velikost paměti EEPROM	1 kB
Velikost paměti RAM	2 kB
Počet čítačů (časovačů)	3
Počet PWM kanálů	4
Počet analogových komparátorů	1
Počet 10bitových A/D převodníků	1
Podporované sběrnice	SPI, TWI (I ² C), USART

3.2.2 Vnitřní periférie



Obr. 3.3 – Blokové schéma mikroočítače ATmega32A
(Atmel Corporation, 2015)

Základními perifériemi jsou budiče vstupně výstupních portů. Budič každého portu je ovládán trojicí registrů.

- PIN_x – slouží pro čtení aktuálního stavu na vývodech portu.
- PORT_x – slouží pro čtení i zápis výstupního registru.
- DDR_x – slouží k nastavení typu vývodu, kde hodnotou logické 0 je reprezentován vstupní vývod a hodnotou logické 1 výstupní vývod.

Další důležitou periférií je přerušovací systém, kterým lze ovlivnit běh programu. Pokud má procesor povoleno zpracování přerušování, dojde k obslužení daného přerušování. Procesor zpracovává dva druhy přerušování.

- Interní přerušování – přerušování od periférií.
- Externí přerušování – přerušování z vnějšího zdroje.

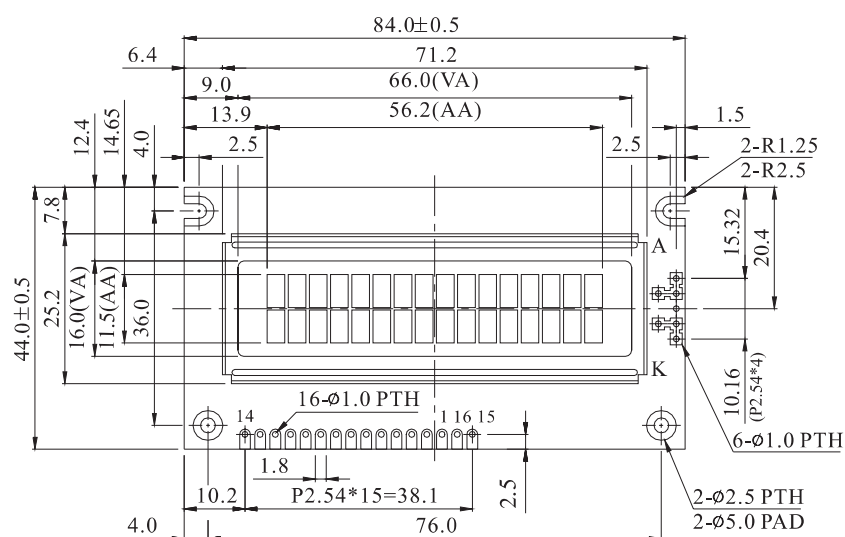
Pro zjednodušení komunikace s ostatními zařízeními obsahuje mikroočítač periférie pro standardní komunikační rozhraní. Jmenovitě jde o SPI, TWI (I²C), USART. Jedná se o bytové komunikace, kde o posílání jednotlivých bitů se stará periférie.

Čítače a časovače umí nejen generovat časové impulzy, ale také počítat počet přijatých impulzů a slouží také jako generátory PWM signálů.

Dalšími perifériemi jsou 10bitový analogově digitální převodník, analogový komparátor, obvod watchdogu a generátoru hodinového signálu (Atmel Corporation, 2015).

3.3 LCD DISPLEJ

Pro zobrazování informací je použit LCD displej WH1602A-YGH-CT od firmy WINSTAR. Jedná se o alfanumerický displej s maticí 2×16 znaků. Organizace vývodů je na obr. 3.4 a význam jednotlivých vývodů je v tab. 3.2.



Obr. 3.4 – Rozměry displeje a rozmístění vývodů
(WINSTAR Display Co., Ltd, 2016)

Tab. 3.2 – Popis vývodů displeje (WINSTAR Display Co., Ltd, 2016)

Vývod č.	Značka	Funkce
1	VSS	Zem
2	VDD	Napájení (3 V, nebo 5 V)
3	VO	Nastavení kontrastu
4	RS	Výběr registru (datový/instrukční)
5	R/W	Čtení/Zápis do registru
6	E	Synchronizační signál (validní data)
7 ÷ 14	DB0 ÷ DB7	Datová sběrnice
15	A	Anoda LED diod pro podsvícení
16	K	Katoda LED diod pro podsvícení

Součástí displeje je také řadič displeje ST7066 nebo ekvivalentní, který se stará o zobrazování znaků na matici a pro komunikaci využívá 4bitovou nebo 8bitovou datovou komunikaci a několik řídicích signálů viz tab. 3.2 (WINSTAR Display Co., Ltd, 2016).

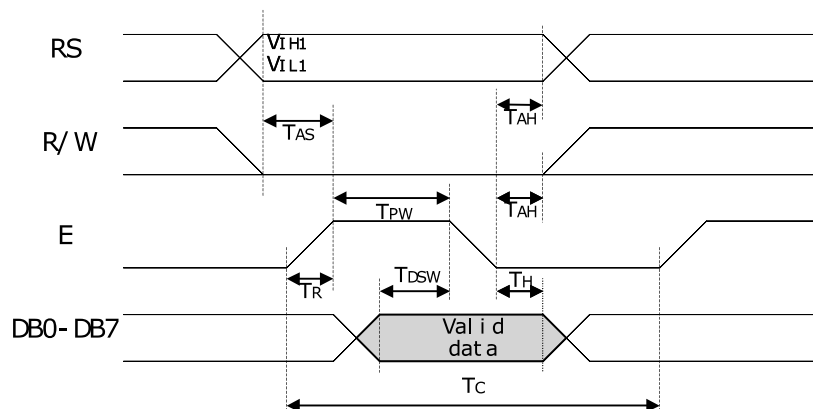
3.3.1 Komunikace na sběrnici

Jak už bylo řečeno, použitý řadič umožňuje 8bitovou i 4bitovou datovou komunikaci s několika řídicími signály. Asi nejvýznamnějším řídicím signálem je signál RS, který rozhoduje o tom, jestli se po datové sběrnici posílají příkazy, nebo jednotlivé znaky zobrazované na displeji. Pokud se posílají příkazy, je identifikace příkazu realizována pomocí nejvyššího jedničkového bitu. Seznam příkazů s pozicí identifikačního bitu je v následující tabulce.

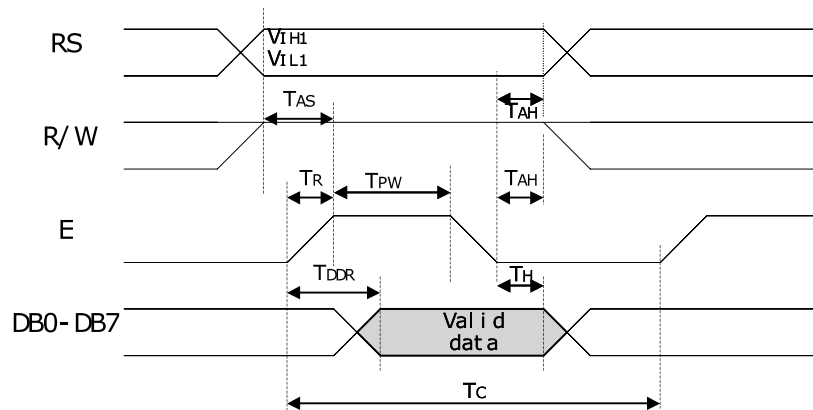
Tab. 3.3 – Seznam podporovaných příkazů (Sitronix, 2000)

Příkazů	RS	R/W	Identifikační bit
Smazat displej	0	0	0. bit
Návrat kurzoru	0	0	1. bit
Nastavení vkládacího režimu	0	0	2. bit
Nastavení viditelnosti	0	0	3. bit
Posun kurzoru, nebo zobrazení	0	0	4. bit
Nastavení rozhraní	0	0	5. bit
Nastavení adresy uživatelského znaku	0	0	6. bit
Nastavení adresy kurzoru	0	0	7. bit
Přečtení stavu a adresy	0	1	
Zápis bytu do paměti	1	0	
Čtení bytu z paměti	1	1	

Protože se jedná o paralelní komunikaci, je nutné, aby byla na sběrnici přenášena informace o platnosti dat a zároveň byly dodrženy časové lhůty mezi změnami na sběrnici. Tyto sekvence jsou znázorněny na obr. 3.5 pro zápis bytu a na obr. 3.6 pro čtení bytu.



Obr. 3.5 – Sekvence pro zápis bytu do LCD (Sitronix, 2000)



Obr. 3.6 – Sekvence pro čtení bytu z LCD (Sitronix, 2000)

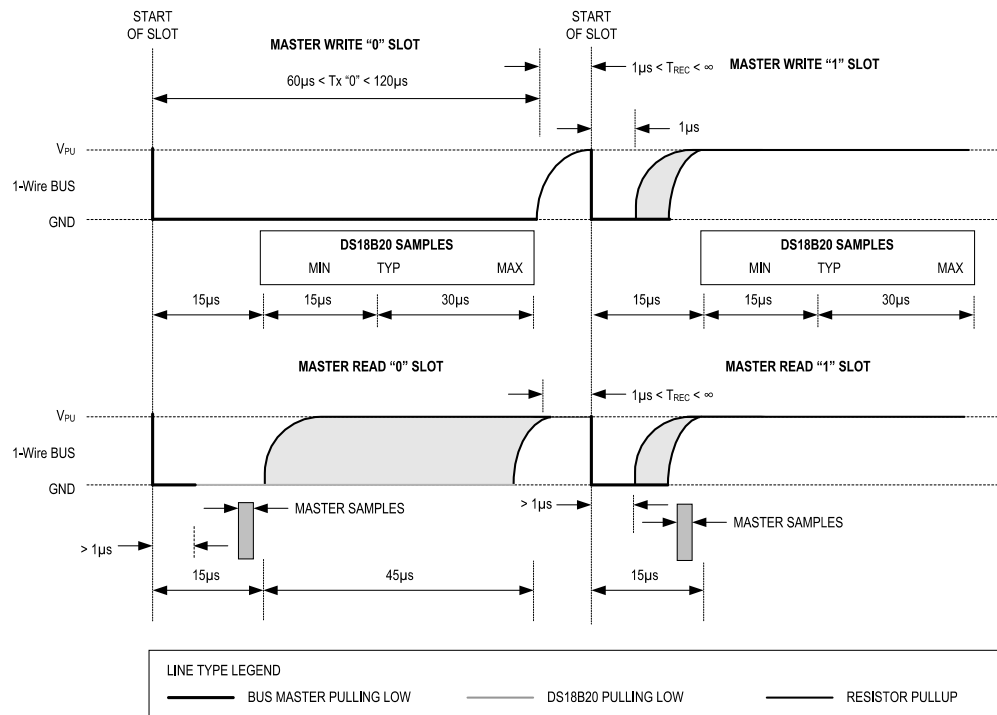
Po provedení sekvence zápisu je nutné počkat, až se daná operace dokončí. Informaci o dokončení operace lze zjistit při čtení adresy, nebo lze odvodit stav operace podle časů potřebných pro vykonání jednotlivých operací podle (Sitronix, 2000).

Pokud je použita 4bitová sběrnice je nutné provádět čtení i zápis dvakrát, nejprve horní 4 bity, následně spodní 4 bity. Pokud je k dispozici jen omezený počet vývodů řídicího obvodu, je možné uzemnit vodič R/W a po každém zápisu bytu čekat určitou dobu. (Sitronix, 2000).

3.4 DIGITÁLNÍ TEPLOMĚŘ

Protože pro měření teploty je použit termočlánek, je nutné znát teplotu desky, která je společně s konektorem studeným koncem termočlánekového teploměru. Pro měření teploty je použit digitální teploměr DS18B20 firmy Maxim Integrated. Pro napájení lze využít datový vodič, nebo jej lze napájet samostatným vývodem. Tento teploměr komunikuje s nadřazeným

systemem pomocí jednovodičové sběrnice s otevřeným kolektorem, u které je logická hodnota zakódována v délce trvání logické nuly. Časy logických hodnot a časy detekce logické hodnoty jsou zobrazeny na obrázku níže (Maxim Integrated, 2015, A).



Obr. 3.7 – Grafy časových závislostí čtení a zápisu bitu
(Maxim Integrated, 2015, A)

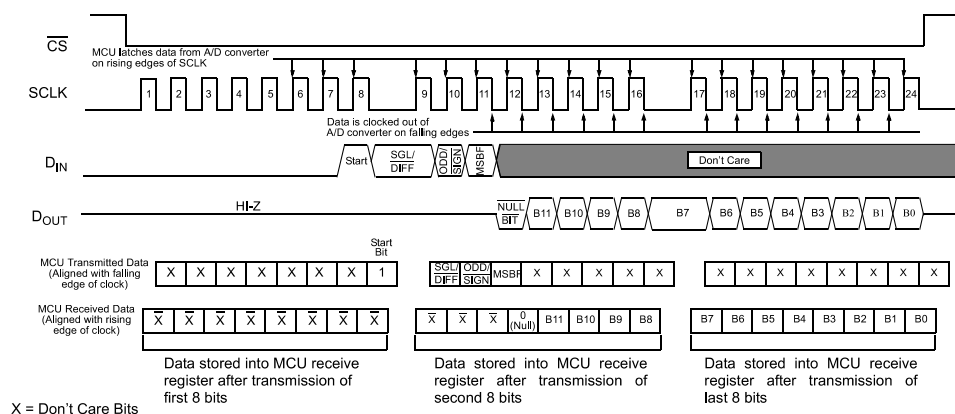
3.5 PŘÍSTROJOVÝ ZESILOVAČ

Pro zesílení napětí z termočlánku je použit přístrojový zesilovač MAX4208, který díky velmi nízkému vstupnímu offsetu a velmi nízkému vstupnímu proudu je velmi vhodným zesilovačem napětí v řádu jednotek mV. Protože je zesilovač napájen napětím 5 V, lze jej napájet přímo napájecím mikropočítače. Jeho zesílení je určeno pomocí odporového děliče, díky tomu lze nastavit libovolné zesílení podle rozsahu rozdílu vstupních napětí. Dále je obvod schopen výstupní napětí stejnosměrně posunout, díky tomu lze jím zesílit i záporná napětí (Maxim Integrated, 2015, B).

3.6 A/D PŘEVODNÍK

Dvoukanálový A/D převodník MCP3202 je použit pro převod zesíleného napětí termočlánku na číslo. Převod napětí je řízen sériovou komunikací kompatibilní s rozhraním SPI, ze které je hodinový signál použit jako zdroj hodinového signálu pro převod, proto je

nutné, aby komunikace probíhala dostatečně rychle, aby nedocházelo k chybě převodu způsobenou samovolným vybíjením vzorkovacího kondenzátoru. Tento převodník byl zvolen pro nízkou chybu převodu, která odpovídá při napájecím napětí 5 V hodnotě 3 mV. Na obrázku níže je zobrazeno použití rozhraní SPI pro komunikaci s A/D převodníkem (Microchip Technology Inc., 2011).



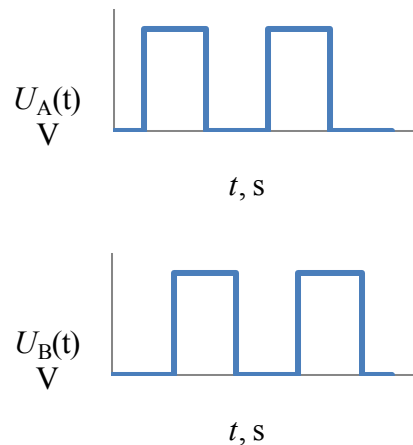
Obr. 3.8 – Komunikace s A/D převodníkem pře SPI rozhraní
(Microchip Technology Inc., 2011)

3.7 PŘEVODNÍK USB – UART

Komunikace s PC je řešena přes převodník FT232, který společně s ovladačem pro tento čip vytvoří další sériový port v PC, přes který se zařízením PC komunikuje. Tento čip umožňuje komunikaci přes plnohodnotnou RS232, RS422 a RS485 v 5 V nebo 3 V logice. Pro použití těchto komunikací ve standardních napěťových nebo proudových úrovních je potřeba doplnit zapojení o převodník úrovní pro danou komunikaci (Future Technology Devices International Ltd., 2015).

3.8 ROTAČNÍ ENKODÉR

Rotační enkodér je součástka vzhledem podobná potenciometru, avšak jeho výstup je digitální a nebývá omezen počet otáček. V práci je použit inkrementální enkodér, u kterého nelze získat informaci o absolutní poloze, ale pouze o směru a vzdálenosti změny polohy. Pro tyto účely se používá kvadrurní signál, který je zobrazen na grafech níže.



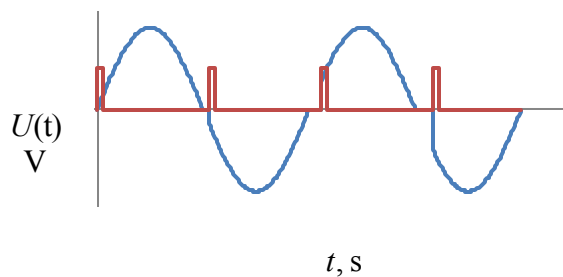
Obr. 3.9 – Kvadrurní signál z rotačního enkodéru

Vzdálenost změny polohy je identifikována počtem pulzů, nebo počtem změn signálu. Směr změny je identifikován fázovým posunem mezi jednotlivými signály.

3.9 TRIAK

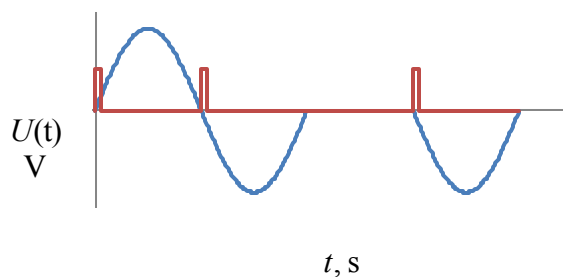
Pro regulaci příkonu topného tělesa je použit triak. Jedná se o polovodičovou součástku, která řídicím signálem sepne výkonovou část a pouze snížení protékajícího proudu výkonovou částí pod určitou úroveň dokáže rozpojit výkonovou část. Zároveň nezáleží na polaritě napětí řídicího signálu a na polaritě výkonové části. Proto je tato součástka vhodná pro spínání střídavého napětí.

Při spínání střídavého napětí dochází pouze při průchodu nulou k rozpojení triaku, proto jej lze regulovat pouze podle času sepnutí. Existují dva způsoby, jak regulovat příkon. Jedním z nich je spínání části půlvln, při kterém vzniká velké množství vyšších harmonických a proudových rázů.



Obr. 3.10 – Řízení triaku spínáním části půlvlny

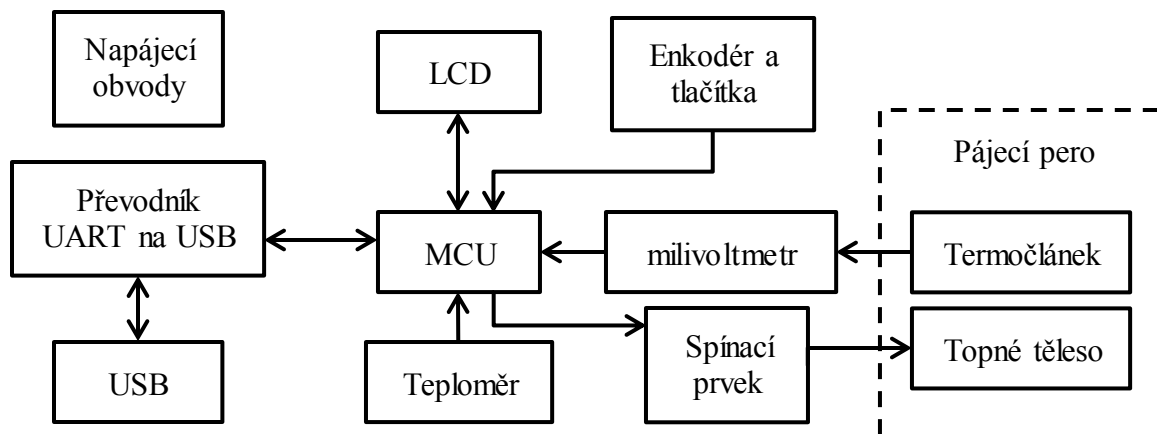
Druhou možností je okamžité spínání po průchodu nulou, při kterém nedochází ke vzniku takového množství vyšších harmonických, ani ke vzniku proudových ráží, ale opakovací frekvence je mnohem nižší, protože nedělitelnou jednotkou výkonu je jedna půlvlna.



Obr. 3.11 – Řízení triaku spínáním celých půlvln

4 REALIZACE MIKROPÁJECÍ STANICE

Ze stanovených požadavků na stavěnou mikropájecí stanici lze sestavit blokové schéma zapojení.



Obr. 4.1 – Blokové schéma mikropájecí stanice

Pro pájení je použito pájecí pero od mikropájecí stanice Velleman VTSC20N. Měření teploty probíhá pomocí termočlánekového snímače teploty umístěného v pájecím peru. Termoelektrické napětí z termočláneku je zesíleno přístrojovým zesilovačem a následně měřeno pomocí A/D převodníku, který informaci o napětí předá mikropočítači. Protože napětí na termočláneku odpovídá rozdílu mezi teplým a studeným koncem, je součástí desky digitální teploměr, pro měření teploty konektoru. Další možností je použití zesilovače napětí pro daný typ termočláneku a následný převod interním A/D převodníkem, toto řešení ovšem neumožňuje použít jiný typ termočláneku, než ten, pro který je navržen zesilovač.

Topné těleso pájecího pera je napájeno střídavým napětím, které je spínané triakem. Pro potlačení elektromagnetického smogu je regulace výkonu řešená spínáním, nebo vynecháním celých půlvln napájecího napětí, nikoliv však spínáním jen části půlvlny. Další možnou realizací je využití nastavitelného zdroje napětí. Nejčastěji se volí snižující měnič řízený PWM signálem z mikropočítače.

Pro komunikaci s uživatelem je použit LCD displej a pro ovládání jsou použita tlačítka a rotační enkodér. Pro komunikaci s PC je použit převodník UART na USB, díky kterému lze připojit mikropájecí stanici k PC pomocí USB

4.1 NAPÁJECÍ OBVODY

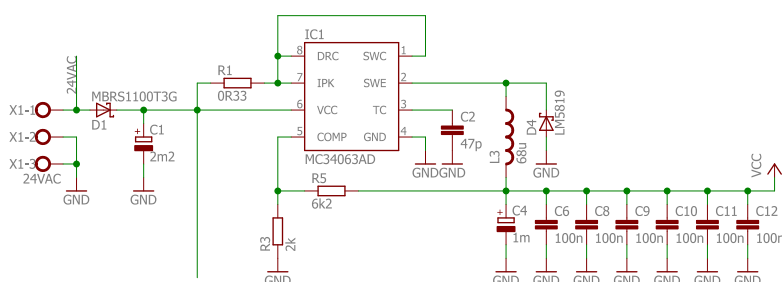
Celá mikropájecí stanice je napájena střídavým napětím 230 V, které je následně transformováno toroidním transformátorem na 24 V střídavých. Toto napětí je použito

k napájení topného tělesa a snižujících měničů. Vzhledem k velmi nízkým úrovním napětí z termočlánekového snímače teploty jsou zde použity dva snižující měniče, pro co nejvyšší izolaci napájení milivoltmetru od proudových špiček integrovaných obvodů.

Všechny integrované obvody jsou napájeny stejnosměrným napětím +5 V, proto výstupní napětí z měničů je +5 V. K napájení těchto měničů se využívá usměrněného napětí z transformátoru usměrněného jednocestným usměrňovačem a filtrovaným elektrolytickým kondenzátorem C_1 o kapacitě 2,2 mF.

4.1.1 Pro digitální obvody

Napájení všech integrovaných obvodů, kromě obvodu milivoltmetru, zajišťuje měnič MC34063AD zapojený jako snižující měnič podle datového listu k tomuto měnič. Zároveň jsou zde zapojeny i filtrační kondenzátory napájecích vývodů integrovaných obvodů.



Obr. 4.2 – Schéma napájecího zdroje pro digitální obvody

Pro výpočet parametrů externích součástek je zapotřebí si nejprve zvolit parametry navrhovaného měniče.

Tab. 4.1 – Parametry měniče pro napájení digitálních obvodů

Značka	Hodnota	Popis
U_{MAX}	37 V	Maximální hodnota vstupního usměrněného napětí
U_{MIN}	27 V	Minimální hodnota vstupního usměrněného napětí
f	85 kHz	Spínací frekvence
U_{NAP}	5 V	Napájecí napětí integrovaných obvodů
I_{MAX}	0,5 A	Maximální odebíraný proud na výstupu
ΔU_{NAP}	10 mV	Maximální zvlhnutí výstupního napětí

Z těchto parametrů lze vypočítat zbývající parametry podle následujících vztahů.

Pro výpočet poměru odporů odporového děliče napětí pro regulaci výstupního napětí je dán vztah

$$\frac{R_5}{R_3} = \frac{U_{\text{NAP}}}{U_{\text{UREF}}} - 1 = \frac{5}{1,25} - 1 = \frac{3}{1}, \quad (4.1)$$

kde U_{UREF} – referenční napětí pro regulaci výstupního napětí, V,

U_{NAP} – výstupní napětí, V,

R_5 – odpor rezistoru odporového děliče, Ω ,

R_3 – odpor rezistoru odporového děliče, Ω .

Zvolené hodnoty odporů rezistorů 6,2 k Ω a 2 k Ω jsou kompromisem mezi spotřebou a odolností proti rušení.

Pro výpočet kapacity časovacího kondenzátoru je dán vztah podle datového listu

$$C_2 = \frac{4 \cdot 10^{-5}}{f} = \frac{4 \cdot 10^{-5}}{85 \cdot 10^3} = 470 \text{ pF}, \quad (4.2)$$

kde f – spínací frekvence, Hz,

C_2 – kapacita časovacího kondenzátoru, F.

Pro výpočet špičkového proudu je dán vztah

$$I_P = 2 \cdot I_{\text{MAX}} = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ A}, \quad (4.3)$$

kde I_P – špičkový proud, A,

I_{MAX} – maximální odebíraný proud, A.

Vzhledem k hodnotě špičkového proudu je vybrána dioda LM5819, která je stavěná na proud o velikosti 1 A. Z hodnoty špičkového proudu, lze vypočítat odpor rezistoru měřícího proudové přetížení dle vztahu

$$R_1 = \frac{U_{\text{IREF}}}{I_P} = \frac{0,33}{1} = 0,33 \Omega, \quad (4.4)$$

kde U_{IREF} – referenční napětí pro detekci proudového přetížení, V,

I_P – špičkový proud, A,

R_1 – odpor měřícího rezistoru, Ω .

Pro výpočet indukčnosti tlumivky je nejprve nutné znát napětí na tlumivce při sycení, které je dáno vztahem

$$U_L = U_{\text{MIN}} - U_{\text{SAT}} - U_{\text{NAP}} = 27 - 0,9 - 5 = 21,1 \text{ V}, \quad (4.5)$$

kde U_{MIN} – minimální hodnota vstupního usměrněného napětí, V,

U_{SAT} – saturační napětí spínacího tranzistoru, V,

U_{NAP} – výstupní napětí, V,

U_L – napětí při sycení tlumivky, V.

Dále je nutné znát dobu, po kterou dochází k sycení, ta je dána vztahem

$$t_{\text{ON}} = \frac{1}{f \cdot \left(1 + \frac{U_L}{U_{\text{NAP}} + U_D}\right)} = \frac{1}{85 \cdot 10^3 \cdot \left(1 + \frac{21,1}{5 + 0,6}\right)} = 2,47 \text{ } \mu\text{s}, \quad (4.6)$$

kde U_L – napětí při sycení tlumivky, V,

U_D – napětí na diodě, V,

U_{NAP} – výstupní napětí, V,

f – spínací frekvence, Hz,

t_{ON} – doba sycení, s.

Z těchto hodnot již lze vypočítat minimální hodnotu indukčnosti tlumivky podle vzorce

$$L_3 = \frac{U_L \cdot t_{\text{ON}}}{I_P} = \frac{21,1 \cdot 2,47 \cdot 10^{-6}}{1} = 52 \text{ } \mu\text{H}, \quad (4.7)$$

kde U_L – napětí při sycení tlumivky, V,

t_{ON} – doba sycení, s,

I_P – špičkový proud, A,

L_3 – indukčnost tlumivky, H.

Pro výpočet kapacity filtračního kondenzátoru je dán vztah

$$C_4 = \frac{I_P}{f \cdot \Delta U_{\text{NAP}}} = \frac{1}{85 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 1,2 \text{ mF}, \quad (4.8)$$

kde f – spínací frekvence, Hz,

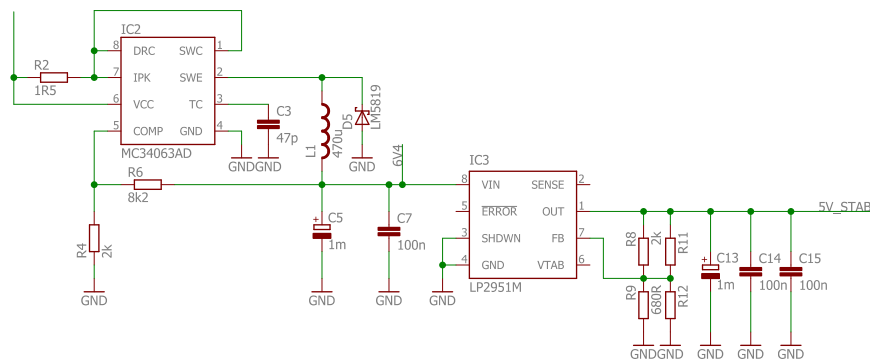
ΔU_{NAP} – doba sycení, s,

I_P – špičkový proud, A,

C_4 – kapacita kondenzátoru, H.

4.1.2 Pro milivoltmetr

Protože milivoltmetr by měl měřit napětí s přesností na desítky mikrovoltů, je nutné zajistit vysokou stabilitu napájecího napětí. Pro zamezení šíření proudových rázů od integrovaných obvodů je použit samostatný snižující měnič. Napětí z tohoto měniče ovšem není dostatečně stabilní, proto je měnič nastaven na vyšší výstupní napětí, které je následně stabilizováno nastavitelným lineárním stabilizátorem. Zároveň jsou na schématu zapojeny i filtrační kondenzátory napájecích vývodů integrovaných obvodů milivoltmetru.



Obr. 4.3 – Schéma napájecího zdroje pro analogové obvody

Pro výpočet parametrů měniče je zapotřebí si nejprve zvolit parametry navrhovaného měniče.

Tab. 4.2 – Parametry měniče pro napájení milivoltmetru

Značka	Hodnota	Popis
U_{MAX}	37 V	Maximální hodnota vstupního usměrněného napětí
U_{MIN}	27 V	Minimální hodnota vstupního usměrněného napětí
f	85 kHz	Spínací frekvence
U_{NAP}	6,4 V	Napájecí napětí integrovaných obvodů
I_{MAX}	0,1 A	Maximální odebraný proud na výstupu
ΔU_{NAP}	5 mV	Maximální zvlnění výstupního napětí

Z těchto hodnot lze vypočítat parametry externích součástek měniče podle vztahů uvedených v napájecím obvodu pro digitální obvody. Jedná se o rovnice (4.1) – (4.8). Výsledné parametry součástek jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 4.3 – Parametry externích součástek měniče pro napájení milivoltmetru

Značka	Hodnota	Popis
R_6/ R_4	4,1	Poměr odporů rezistorů pro nastavení hodnoty výstupního napětí
C_3	470 pF	Minimální hodnota vstupního usměrněného napětí
I_P	0,2 A	Špičkový proud
R_2	1,5 Ω	Odpor měřicího rezistoru
U_L	19,7 V	Napětí při sycení tlumivky
t_{ON}	3,08 μ s	Doba sycení
L_1	304 μ H	Indukčnost tlumivky
C_5	471 μ F	Kapacita kondenzátoru

Jak už bylo řečeno pro stabilizaci napětí je použit nastavitelný lineární stabilizátor, který vyžaduje pouze externí odporový dělič a filtrační kondenzátory. Výpočet poměru odporového děliče je dán vztahem

$$\frac{R_8}{R_9} = \frac{U_{NAP}}{U_{UREF}} - 1 = \frac{5}{1,26} - 1 = \frac{2,97}{1}, \quad (4.9)$$

kde U_{UREF} – referenční napětí pro regulaci výstupního napětí, V,

U_{NAP} – výstupní napětí, V,

R_8 – odpor rezistoru odporového děliče, Ω ,

R_9 – odpor rezistoru odporového děliče, Ω .

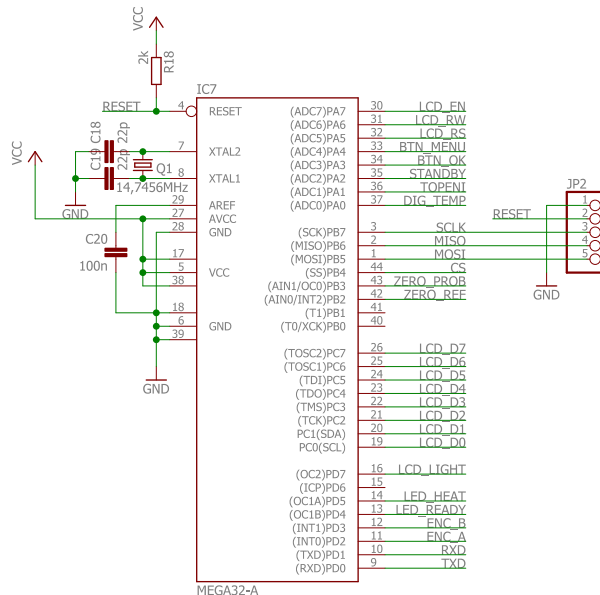
Protože je v milivoltmetru použit 12bitový převodník, je vhodné, aby přesnost napájecího napětí byla 0,025 %. Tuto přesnost nelze realizovat rezistory vyráběnými v řadách E12 a E24, ale lze pomocí experimentálního měření dorovnat odchylku výstupního napětí způsobenou tolerancí rezistorů přidáváním rezistorů o takové hodnotě odporu, aby výsledný odporový dělič měl požadovaný přenos. Pro tyto účely jsou na desce dva neosazené rezistory R_{11} a R_{12} .

4.2 MIKROPOČÍTAČ

Řízení mikropájecí stanice zajišťuje mikropočítač ATmega32A pro jeho dostatečný počet vývodů a paměť programu. Zapojení odpovídá doporučenému zapojení od výrobce, kde každý napájecí vývod je doplněn o keramický filtrační kondenzátor o kapacitě 100 nF a je připojen k napájení. Jako zdroj hodinového signálu je použit interní krystalový oscilátor

s externím krystalem o rezonanční frekvenci 14,745 6 MHz. Tato frekvence je celočíselným násobkem standardních bitových rychlostí sériové linky. Protože není využit interní A/D převodník, je napájení A/D převodníku přímo připojeno na napájení digitálních obvodů.

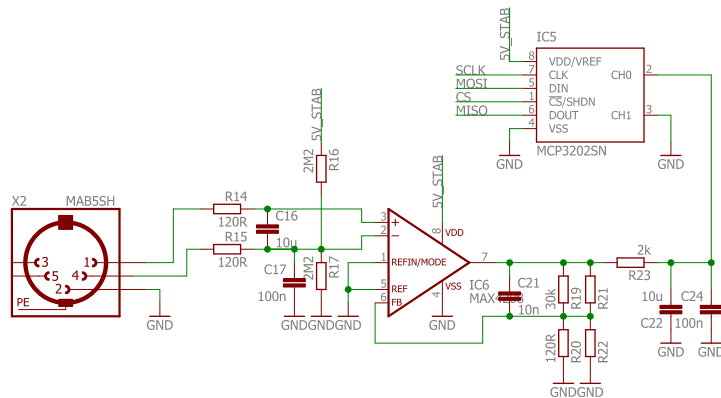
Z mikroprocesoru je komunikační ISP sběrnice vyvedena na konektor, pro umožnění programování mikropočítače externím programátorem.



Obr. 4.4 – Schéma zapojení mikropočítače

4.3 MILIVOLTMETR

Pro měření termoelektrického napětí měřícího termočlánku v pájecím peru je použito zapojení s přístrojovým zesilovačem a 12bitovým převodníkem. Jako přístrojový zesilovač je použit integrovaný obvod MAX4208, jedná se o specializovaný obvod se zesílením diferenčního napětí do 100 mV. Protože interní A/D převodník mikropočítače převádí, díky svému rozlišení, napětí z termočlánku s vysokou chybou, je použit externí A/D převodník MCP3202, který disponuje chybovostí v jednotkách bitů a dostatečným rozlišením.



Obr. 4.5 – Schéma zapojení milivoltmetru

Pro posun napětového potenciálu vodičů termočládku do poloviny napájecího napětí je použit zdroj 2,5 V s vnitřním odporem 1 MΩ realizovaný jako odporový dělič. Diferenční napětí z termočládku je také filtrováno filtrem typu dolní propust. Výpočet mezní frekvence je dán vztahem

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (R_{14} + R_{15}) \cdot C_{16}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (120 + 120) \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 66 \text{ Hz}, \quad (4.10)$$

kde R_{14} – odpor rezistoru, Ω ,

R_{15} – odpor rezistoru, Ω ,

C_{16} – kapacita filtračního kondenzátoru, F,

f_0 – mezní frekvence filtru, Hz.

Použitý přístrojový zesilovač má nastavitelné zesílení pomocí odporového děliče ve zpětné vazbě. Použité rezistory z řady E24 jsou vyráběny s mnohem vyšší tolerancí, než je požadovaná přesnost zesílení, proto i zde je dělič doplněn o dvě pozice, určené pro korekční rezistory pro experimentální kalibraci zesílení.

Z požadovaného rozsahu napětí na termočládku a z rozlišení A/D převodníku lze určit vhodné maximální napětí na termočládku 20,48 mV, které odpovídá kvantizační úrovni převodníku 5 μ V. Referenční hodnota napětí převodníku odpovídá napájecímu napětí převodníku, které je +5 V, proto maximální vstupní napětí do převodníku je +5 V. Z těchto údajů lze vypočítat poměr odporů rezistorového děliče pro nastavení požadovaného zesílení dle vztahu

$$\frac{R_{19}}{R_{20}} = \frac{U_{REF}}{U_{TK}} - 1 = \frac{5}{20,48 \cdot 10^{-3}} - 1 = \frac{243,14}{1}, \quad (4.11)$$

- kde U_{REF} – referenční napětí převodníku, V,
 U_{TK} – maximální vstupní napětí z termočládku, V,
 R_{19} – odpor rezistoru odporového děliče, Ω ,
 R_{20} – odpor rezistoru odporového děliče, Ω .

Zesílené napětí z termočládku je ještě filtrováno filtrem typu dolní propust pro potlačení šumu před převodem a následně je A/D převodníkem převedeno na číslo, které přečte mikropočítač.

Výpočet mezní frekvence druhého filtru je dán vztahem

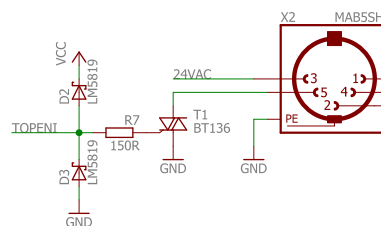
$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{23} \cdot C_{22}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 7,96 \text{ Hz}, \quad (4.12)$$

- kde R_{23} – odpor rezistoru, Ω ,
 C_{22} – kapacita filtračního kondenzátoru, F,
 f_0 – mezní frekvence filtru, Hz.

Takto odfiltrovaný signál má dostatečně potlačené rušení od napájení topného tělesa.

4.4 VÝKONOVÝ SPÍNACÍ PRVEK

Pro ovládání příkonu topného tělesa je použit triakový spínač BT136-800. Tento spínač vyžaduje spínací proud pouze 10 mA, a proto ho lze ovládat přímo výstupem mikroprocesoru. Spínací proud je omezen na 20 mA. Dále je zapojení doplněno o ochranné diody proti přepětí způsobených průrazem triaku.



Obr. 4.6 – Schéma zapojení spínacího obvodu triaku

Výpočet odporu rezistoru je dán vztahem

$$R_7 = \frac{U_{IO} - U_T}{I_T} = - = 150 \Omega, \quad (4.13)$$

kde U_{OH} – minimální napětí na vývodu mikropočítače při logické jedničce, V,

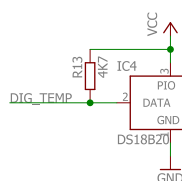
U_T – ovládací napětí triaku, V,

R_7 – odpor rezistoru, Ω ,

I_T – proud potřebný k sepnutí triaku, A.

4.5 DIGITÁLNÍ TEPLOMĚR

Jako referenční teploměr je použit digitální teploměr DS18B20 od firmy Maxim Integrated. Zapojení je převzato z datového listu, místo zapojení pro napájení pomocí datového vodiče je zvoleno zapojení s odděleným napájením, aby bylo možné číst informace o průběhu převodu.

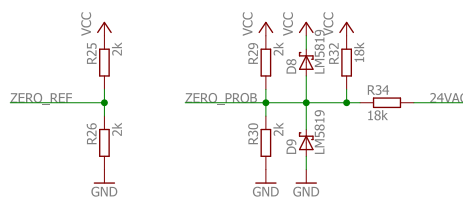


Obr. 4.7 – Schéma zapojení digitálního teploměru

4.6 DETEKTOR PRŮCHODU NULOU

Aby bylo možné použít pro ovládání příkonu topného tělesa pájecího pera triak spínaného po jednotlivých půlperiodách, je nutné znát aktuální hodnotu jeho napájecího napětí. Pro zjednodušení stačí detekovat časové okamžiky, kdy napájecí napětí prochází nulovou hodnotou, a v tomto okamžiku se rozhodnout, zdali je potřeba topit, a v tomto případě sepnout triak, jinak triak ponechat v rozepnutém stavu.

Z tohoto důvodu je součástí mikropájký detektor průchodu nulou, který se skládá ze zdroje referenčního napětí, zdroje napětí řízeného napájecím napětím a komparátoru integrovaného v mikropočítači. Součástí detektoru jsou i ochranné diody, chránící před přepětím vývod mikroprocesoru.



Obr. 4.8 – Schéma zapojení detektoru průchodu nulou

Pokud budou stejné hodnoty odporů dvojic rezistorů R_{29} a R_{30} a R_{32} a R_{34} lze přenos zdroje napětí řízeného napájecím napětím zjednodušit do tvaru

$$u_{ZP}(t) = \frac{U_{NAP}}{2} + u_{VST}(t) \cdot \frac{R_{29}}{2 \cdot (R_{29} + R_{32})}, \quad (4.14)$$

- kde U_{NAP} – napájecí napětí integrovaných obvodů, V,
 u_{VST} – vstupní napájecí napětí z transformátoru, V,
 R_{29} – odpor rezistoru, Ω ,
 R_{32} – odpor rezistoru, Ω ,
 t – čas, s,
 u_{ZP} – napětí přiváděné na vstup komparátoru, V.

Stejnosečná složka zdroje napětí řízeného napájecím napětím odpovídá polovině napájecího napětí integrovaných obvodů, a pokud chceme detekovat průchod nulovou hodnotou napájecího napětí, je nutné, aby referenční napětí bylo také polovina napájecího napětí integrovaných obvodů.

Z toho lze určit poměr odporů rezistorů zdroje referenčního napětí dle vztahu

$$\frac{R_{25}}{R_{26}} = \frac{U_{NAP}}{U_{ZR}} - 1 = \frac{5}{2,5} - 1 = \frac{1}{1}, \quad (4.15)$$

- kde U_{ZR} – referenční napětí pro detekci průchodu nulou, V,
 U_{NAP} – napájecí napětí integrovaných obvodů, V,
 R_{25} – odpor rezistoru odporového děliče, Ω ,
 R_{26} – odpor rezistoru odporového děliče, Ω .

Protože střídavé napětí z transformátoru má hodnotu napětí 24 V, je zvolena maximální amplituda vstupní napětí na 40 V a pro co nejvyšší citlivost je zvolena amplituda zdroje napětí řízeného napájecím napětím na 2 V.

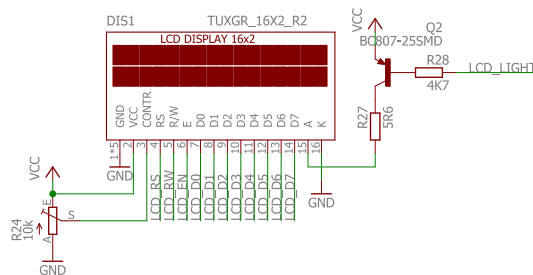
Pro výpočet odporů rezistorového děliče zdroje napětí řízeného napájecím napětím je dán vztah

$$\frac{R_{32}}{R_{29}} = \frac{|u_{VST}|}{2 \cdot |u_{ZP}|} - 1 = \frac{40}{2 \cdot 2} - 1 = \frac{9}{1}, \quad (4.16)$$

- kde u_{VST} – vstupní napájecí napětí z transformátoru, V,
 u_{ZP} – napětí přiváděné na vstup komparátoru, V,
 R_{32} – odpor dvojce rezistorů odporového děliče, Ω ,
 R_{29} – odpor dvojce rezistorů odporového děliče, Ω .

4.7 LCD DISPLEJ

Díky velkému počtu vývodů mikroprocesoru je pro komunikaci s LCD displejem použita 8bitová datová sběrnice a připojené veškeré řídicí signály. Kontrast LCD displeje je nastaven pomocí odporového trimru.



Obr. 4.9 – Schéma zapojení LCD displeje

Podsvícení LCD displeje je regulováno pomocí PWM signálu z mikropočítače, který je zesílen tranzistorovým spínačem. Pro výpočet hodnoty odporu rezistoru R_{27} je dán následující vztah

$$R_{27} = \frac{U_{NAP} - U_{SAT} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{5 - 0,1 - 4,2}{0,1} = 6 \, \Omega, \quad (4.17)$$

- kde U_{NAP} – napájecí napětí, V,
 U_{SAT} – saturační napětí spínacího tranzistoru, V,
 U_{LED} – napětí na LED diodách, V,
 I_{LED} – proud procházející LED diodami, A
 R_{27} – odpor rezistoru, Ω .

Vzhledem k využívání regulace jasu pomocí PWM, je zvolen rezistor s odporem 5,6 Ω , který pouští vyšší proud do LED diod, než je doporučená hodnota.

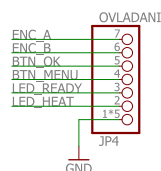
Pro výpočet maximální hodnoty odporu ochranného rezistoru R_{28} je dán vztah

$$R_{28} = \frac{U_{OH} - U_{BE}}{\frac{I_{LED}}{h_{21}}} = \frac{4,2 - 0,7}{\frac{0,1}{175}} = 6\,125\,\Omega, \quad (4.18)$$

- kde U_{OH} – minimální napětí na vývodu mikropočítače při logické jedničce, V,
 U_{BE} – napětí na přechodu báze-emitor, V,
 I_{LED} – proud procházející LED diodami, A
 h_{21} – zesílení tranzistoru,
 R_{28} – odpor rezistoru, Ω .

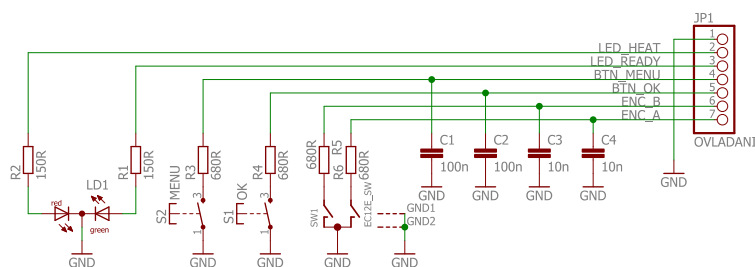
4.8 ROTAČNÍ ENKODÉR A TLAČÍTKA

Rotační enkodér a tlačítka jsou umístěny na samostatné desce ve výšce LCD displeje, a proto jsou na základní desce vodiče přímo propojeny mezi mikropočítačem a konektorem.



Obr. 4.10 – Schéma zapojení konektoru ovládání

O proudové omezení a správné zapojení se stará samotná deska s tlačítky a rotačním enkodérem. Toho lze využít pro jiné rozvržení ovládacích prvků, nebo pro úpravu desky při použití jiných ovládacích prvků, např. enkodér s tlačítkem zastoupí enkodér a jedno tlačítko.



Obr. 4.11 – Schéma zapojení tlačítek a rotačního enkodéru

Pro výpočet minimální hodnoty odporu rezistoru pro omezení proudu procházejícího LED diodami je dán vztah

$$R = \frac{U_{\text{NAP}} - U_{\text{LED}}}{I_{\text{LED}}} = \frac{5 - 2}{20 \cdot 10^{-3}} = 150 \, \Omega, \quad (4.19)$$

kde U_{NAP} – napájecí napětí, V,
 U_{LED} – napětí na LED diodě, V,
 I_{LED} – proud procházející LED diodou, A
 R – odpor rezistoru omezující proud, Ω .

Pro základní ochranu proti zámkům tlačítek a rotačního enkodéru je zapojení doplněno o RC články typu dolní propust, jejichž časové konstanty jsou dány vztahy (4.20) pro tlačítka a (4.21) pro rotační enkodér.

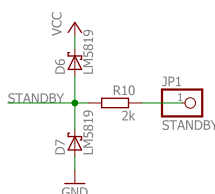
$$\tau_t = R_t \cdot C_t = 680 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 68 \, \mu\text{s}, \quad (4.20)$$

$$\tau_e = R_e \cdot C_e = 680 \cdot 10 \cdot 10^{-9} = 6,8 \, \mu\text{s}, \quad (4.21)$$

kde R_t – odpor rezistoru filtru u tlačítka, Ω ,
 R_e – odpor rezistoru filtru u enkodéru, Ω ,
 C_t – kapacita kondenzátoru filtru u tlačítka, F,
 C_e – kapacita kondenzátoru filtru u enkodéru, F,
 τ_t – časová konstanta filtru u tlačítka, s,
 τ_e – časová konstanta filtru u enkodéru, s.

4.9 INDIKÁTOR ODLOŽENÉHO PERA

Pro indikaci odloženého pájecího pera se využívá uzemněného těla pájecího pera, které při odložení uzemní odkládací držák, ke kterému je připojen vstup mikropočítače. Pro definování napěťového potenciálu držáku pájecího pera je využit interní pull-up rezistor mikropočítače.



Obr. 4.12 – Schéma zapojení vývodu pro indikaci odloženého pera

Pro ochranu proti přepětí je zapojení doplněno o ochranné diody a rezistor omezující proud při přepětí. Výpočet maximální hodnoty odporu rezistoru R_{10} pro správnou detekci logických úrovní je dán vztahem

$$R_{10} = \frac{U_{IL} \cdot R_{PU}}{U_{NAP} - U_{IL}} = \frac{1 \cdot 20 \cdot 10^3}{5 - 1} = 5 \text{ k}\Omega, \quad (4.22)$$

kde U_{IL} – maximální napětí vývodu mikropočítače detekované jako logická nula, V,

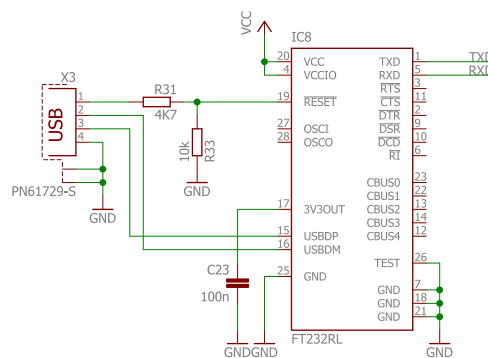
U_{NAP} – napájecí napětí mikropočítače, V,

R_{PU} – minimální hodnota odporu pull-up rezistoru, Ω

R_{28} – odpor rezistoru, Ω .

4.10 PŘEVODNÍK USB – UART

Pro komunikaci s PC je využit převodník USB na UART FT232RL od firmy FTDI a konektor USB-B. Zapojení je převzato z datového listu jako zapojení s externím napájením, protože celá deska je napájena z vlastního zdroje. K mikroprocesoru jsou připojeny pouze datové vodiče RXD a TXD umožňující plně duplexní přenos bez řízení datového toku.



Obr. 4.13 – Schéma zapojení převodníku USB – UART

5 PROGRAM MIKROPOČÍTAČE

Mikropájecí stanice se stará o regulaci teploty pájecího pera, zpracování požadavků na regulaci a zobrazování informací pro uživatele a komunikaci s PC, tyto operace provádí mikropočítač ATmega32A podle programu napsaném v jazyce C, který je zkompileovaný ve vývojovém prostředí Atmel Studio 7.0. Celý program je rozdělen do samostatných modulů, kde každý modul se specializuje na vykonávání určité funkce, nebo obsluhu připojené periférie.

5.1 ZPRACOVÁNÍ VSTUPŮ

Mikropočítač musí reagovat na události na několika vstupech s velmi odlišnou maximální latencí a dobou zpracování, proto mikropočítač kontroluje vstupy několika různými způsoby.

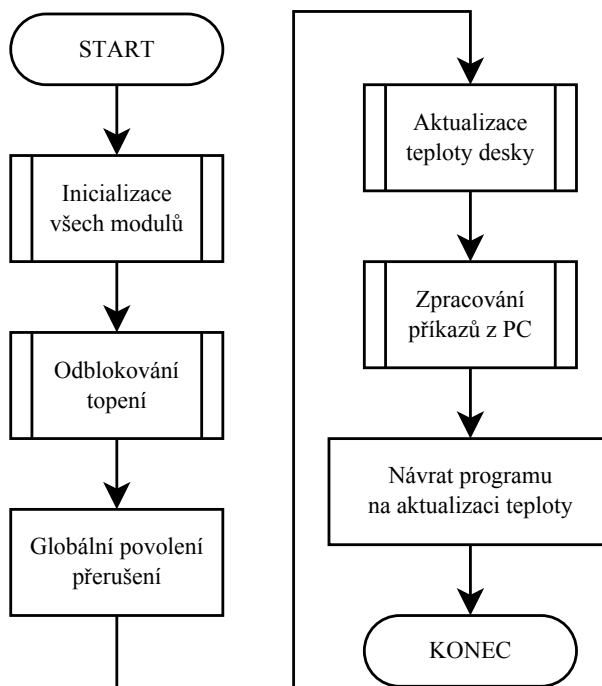
Prvním způsobem je využití přerušení, generovaným od periférií mikropočítače, to znamená, že vstup přeruší běh aktuálního programu a přepne jej na obsluhu daného vstupu. Tento způsob vykazuje nejnižší latenci na úkor přerušení programu a s tím související zpomalení programu. Používá se u vstupů, u kterých je omezena platnost dat, nebo jsou zdrojem hodinového signálu, např. zachycení směru otočení rotačního enkodéru, přijatá data ze sériové linky a detekce průchodu nulou.

Dalším způsobem je zpracování vstupů v přesně daných časových intervalech, jako zdroj je použit detektor průchodu nulou. Tento způsob ve většině případů vyžaduje uchovávání informace o předchozím stavu, aby bylo možné detekovat změnu. Tímto způsobem je obsluhován A/D převodník, regulátor a ovládání mikropájecí stanice.

Posledním způsobem je neustálá kontrola a zpracování vstupů ve zbývajícím čase. Zde je nutné, aby se kontroloval jiný vstup, pokud nepřicházejí informace z tohoto vstupu. Zde je obsluhována komunikace s digitálním teploměrem, protože přečtení teploty trvá poměrně dlouho a komunikace je synchronizována mikropočítačem, a komunikace s PC.

5.2 HLAVNÍ PROGRAM

Hlavní program slouží pro inicializaci všech modulů, povolení přerušení a obsluhu časově nezávislých operací, jde o komunikaci s PC a čtení teploty desky z digitálního teploměru.

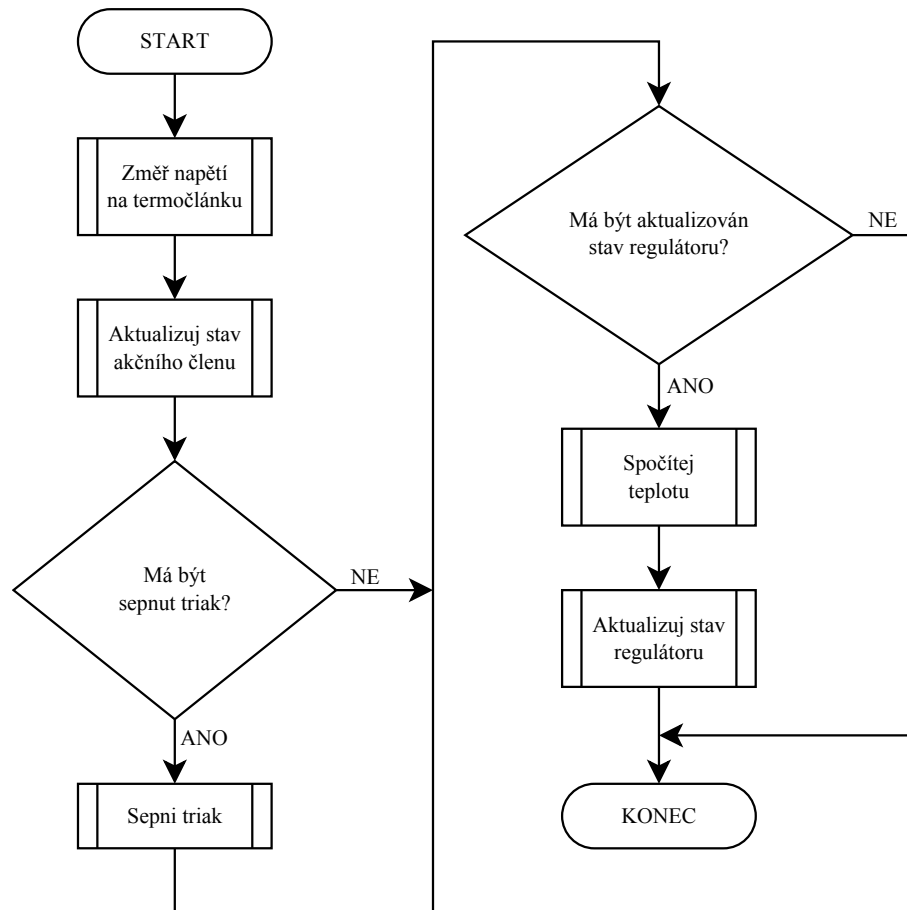


Obr. 5.1 – Vývojový diagram hlavního programu

5.3 REALIZACE REGULÁTORU

Regulátor je rozdělen na několik samostatných modulů, jedná se o měření teploty, řízení triaku, akční člen a výpočetní člen. Moduly výpočetního a akčního členu umožňují výběr typu výpočetního, nebo akčního členu, nastavování a čtení parametrů a zavolání obsluhy daného typu. Ostatní moduly jsou popsány podrobně níže.

Akční zásah je určován při každé obsluze přerušení způsobené průchodem napájecího napětí nulou a postup jeho výpočtu je na obrázku níže.

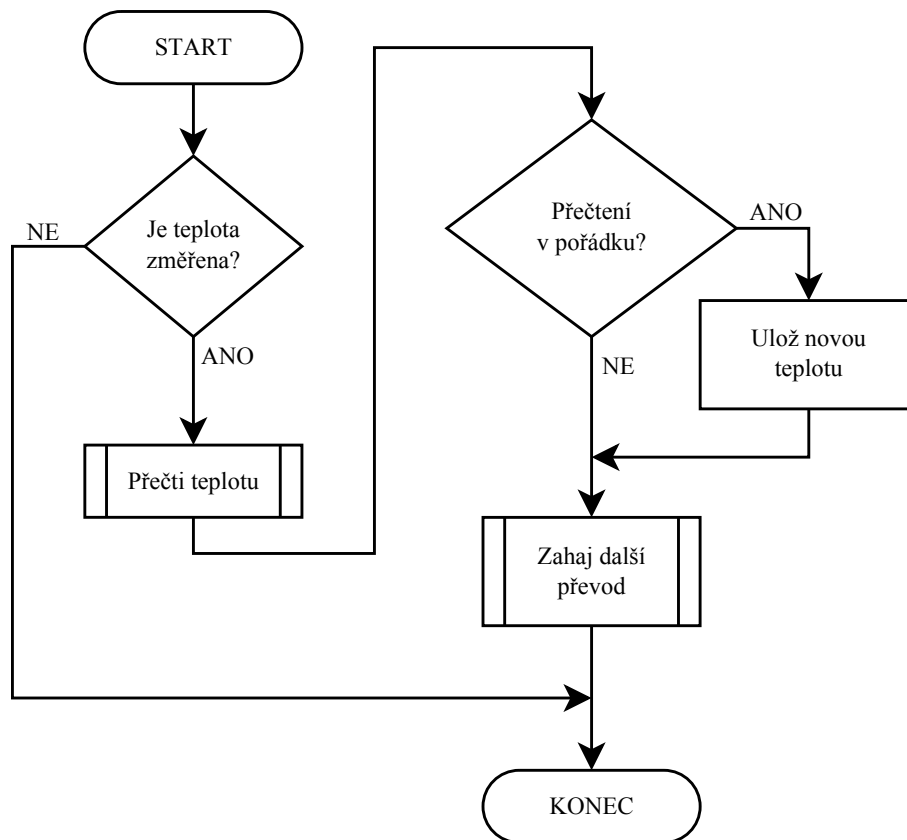


Obr. 5.2 – Vývojový diagram jednoho cyklu regulátoru

5.4 MĚŘENÍ TEPLoty

Teplota pájecího hrotu je určována pomocí teploty desky a teplotního rozdílu mezi pájecím hrotem a deskou, který je určován z napětí na termočlánku. Každá z těchto teplot se určuje v jiné části programu.

O neustálou aktualizaci teploty desky se stará hlavní program voláním metody pro aktualizaci této teploty. Teplotu desky měří digitální teploměr a přes jedno vodičovou sběrnici se informace o teplotě předá mikro počítači. Vývojový diagram aktualizace teploty desky je na obrázku níže.



Obr. 5.3 – Vývojový diagram aktualizace teploty desky

Druhou složkou teploty hrotu je teplotní rozdíl měřený pomocí napětí na termočlátku. O aktualizaci této složky se stará regulátor, který spouští čtení napětí na termočlátku jako první operaci po průchodu napájecího napětí nulovou hodnotou, pro minimalizaci šumu z topného tělesa. Toto napětí je následně filtrováno číslicovým filtrem typu dolní propust s časovou konstantou 4 vzorkovací intervaly, pro potlačení šumu.

Pro převod napětí na teplotní rozdíl je vytvořena tabulka napětí odpovídající jednotlivým teplotním rozdílům, ze které se vyberou dva okolní body, které se interpolují přímkou, a následně se vyhledá teplota odpovídající změřenému napětí. Pro snížení zpoždění mezi průchodem napájecího napětí nulou a sepnutím triaku, je převod napětí na teplotní rozdíl řešen až při požadování celkové teploty.


5.5 ŘÍZENÍ TRIAKU

Protože triak setrvává v sepnutém stavu, dokud jím prochází proud, stačí jej spínat pouze impulzy po průchodu napájecího napětí nulou pro udržování triaku v sepnutém stavu. Aby bylo zajištěno, že dojde k sepnutí triaku při každém zaslaném impulzu, má impulz dostatečnou šířku, měřenou časovačem.

5.6 OVLÁDÁNÍ MIKROPÁJECÍ STANICE

Ovládání mikropájecí stanice je umožněno přes rotační enkodér a dvě tlačítka a informace jsou zobrazovány na LCD displeji. Na LCD displeji se zobrazují tři druhy zobrazení.

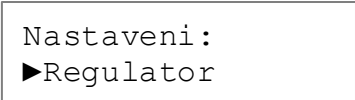
V hlavním zobrazení, které se zobrazí po spuštění, je zobrazována požadovaná a aktuální teplota hrotu. Dále lze pomocí rotačního enkodéru měnit požadovanou teplotu a při dlouhém stisku tlačítka OK dojde k jejímu uložení do paměti EEPROM. Při krátkém stisku tlačítka OK dojde k přepnutí mezi úsporným a aktivním režimem a naopak a při stisku tlačítka Zpět se přejde do menu.



```
Pozadov.: 270 °C
Aktualni: 254 °C
```

Obr. 5.4 – Ukázka zobrazení hlavního zobrazení

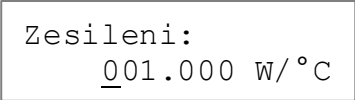
Dalším zobrazením je seznam, ve kterém se pomocí rotačního enkodéru vybírá jedna z možností, která se potvrdí stiskem tlačítka OK nebo vrátí zpět stiskem tlačítka Zpět.



```
Nastaveni:
▶Regulator
```

Obr. 5.5 – Ukázka zobrazení seznamu

Posledním zobrazením je nastavování hodnoty, kde se pomocí rotačního enkodéru mění hodnota číslice, stisknutím tlačítka OK dojde k posunu kurzoru o jeden řád níže a stisknutím tlačítka Zpět o řád výše. Pro potvrzení nebo zahození hodnoty je potřeba dlouze stisknout tlačítko OK nebo Zpět.

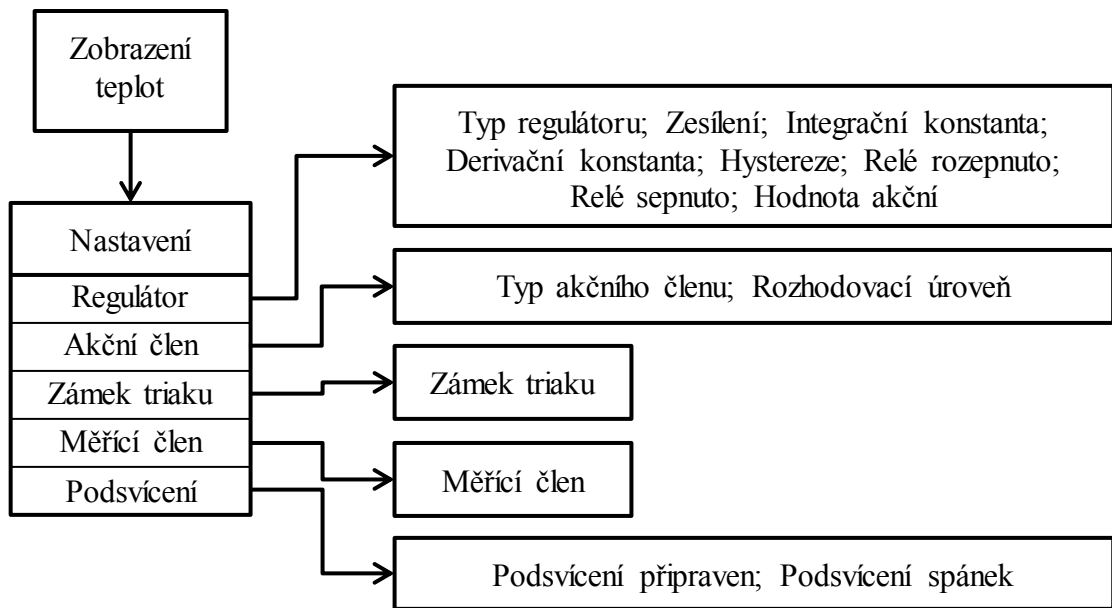


```
Zesileni:
  001.000 W/°C
```

Obr. 5.6 – Ukázka zobrazení pro nastavování hodnoty

Pokud kdykoliv dojde k velmi dlouhému stisku tlačítka Zpět, zahodí se veškeré nepotvrzené hodnoty a zobrazí se hlavní zobrazení.

Struktura menu je zobrazena na obrázku níže.



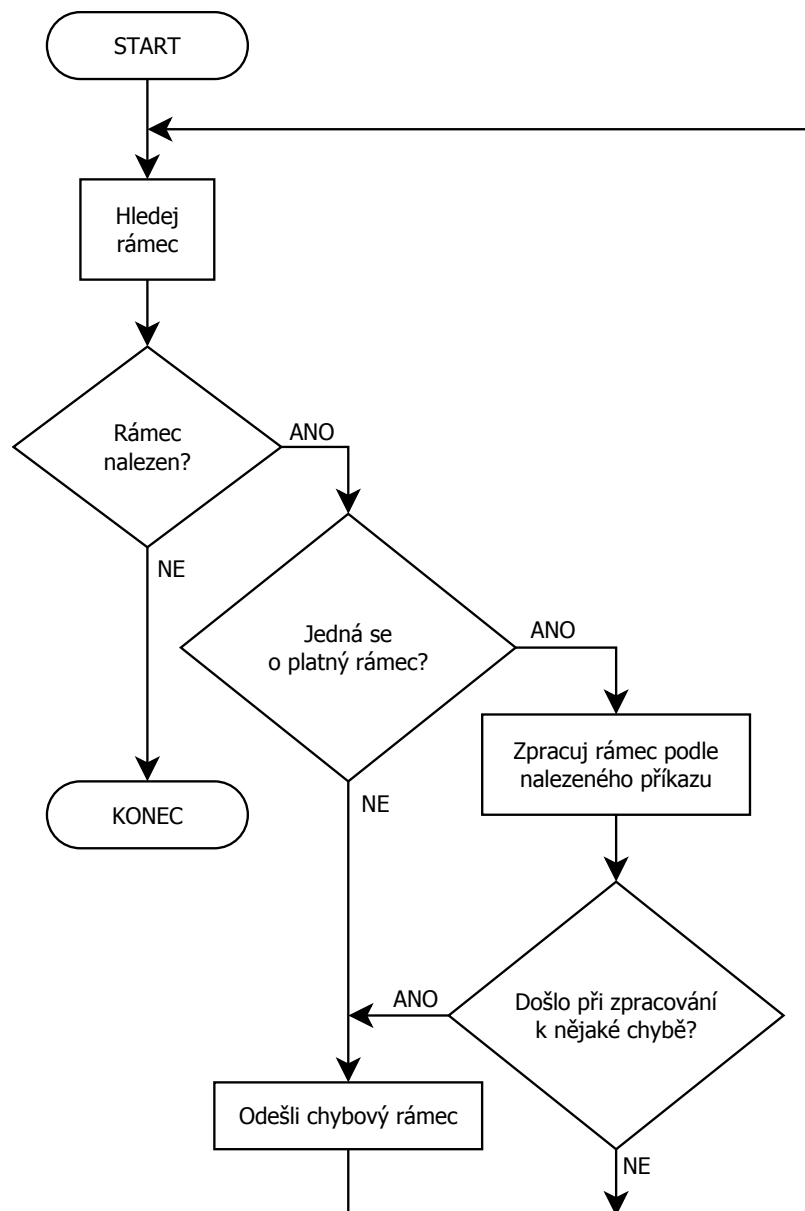
Obr. 5.7 – Ukázka zobrazení pro nastavování hodnoty

Zobrazení oddělená středníkem jsou zobrazována postupně a k uložení hodnot dojde až při potvrzení poslední zadávané hodnoty.

5.7 KOMUNIKACE S PC

Komunikace s PC probíhá přes virtuální sériovou linku, kterou zajišťuje integrovaný obvod FT232. Přijaté i vysílané byty jsou ukládány do samostatné vyrovnávací kruhové paměti. Při příjmu bytu je zavolána obsluha přerušení, která byte přidá do vyrovnávací paměti, a po odeslání bytu je zavolána obsluha přerušení, která vybere byte z paměti a pošle jej po sériové lince.

Nad touto vrstvou je komunikační protokol, který ve vstupním proudu dat z PC hledá platné komunikační rámce, a zároveň umožňuje posílání rámců o aktuálním stavu. Postup vyhledávání rámců v přijatých datech je na obrázku níže.



Obr. 5.8 – Vývojový diagram zpracování přijatých dat

5.7.1 Komunikační protokol

Použitý komunikační protokol je popsán v příloze B. Tento protokol standardizuje formát komunikačního rámce. Hlavní výhodou použitého protokolu je jeho variabilita posílaných parametrů, které jsou identifikovány pomocí příkazu uloženého v rámci. Pro komunikaci mikropájecí stanice s PC jsou definovány následující příkazy.

Tab. 5.1 – Definované příkazy pro ovládání mikropájky

Název	Hodnota příkazu	Velikost parametrů	Typ příkazu
Čtení a nastavení žádané hodnoty	0x00	2 byty	Čtecí, nastavovací a návratový
Čtení a nastavení parametrů regulátoru	0x01	18 bytů	Čtecí, nastavovací a návratový
Čtení a nastavování parametrů akčního členu	0x02	2 byty	Čtecí, nastavovací a návratový
Zablokování sepnutí triaku	0x03	0 bytů	Příkazový
Odblokování sepnutí triaku	0x04	0 bytů	Příkazový
Uložení žádané hodnoty do paměti EEPROM	0x05	0 bytů	Příkazový
Čtení a nastavení použitého měřicího členu	0x06	1 byte	Čtecí, nastavovací a návratový
Čtení a nastavení intenzity podsvícení v aktivním režimu	0x07	1 byte	Čtecí, nastavovací a návratový
Čtení a nastavení intenzity podsvícení v úsporném režimu	0x08	1 byte	Čtecí, nastavovací a návratový
Posílání aktuálního stavu regulátoru a posílání akčního zásahu při použití vzdáleného regulátoru	0x2F	16 bytů, 1 byte	Proudový

6 ZHODNOCENÍ KONCEPCE NÁVRHU

Protože není galvanicky odděleno měření teploty a řízení topného tělesa, není možné použít jiné než čtyřvodičové zapojení pájecího pera. Díky přepočítávání teploty z napětí na termočlánek v mikropočítači lze použít k měření teploty libovolný termočlánek, který ovšem lze použít pouze v platném rozsahu měřeného napětí. Při vhodně zvolených parametrech regulátoru lze regulovat teplotu s regulační odchylkou mnohonásobně menší, než je chyba měření. Použité pájecí pero nedokáže odvádět dostatečně rychle teplo od topného tělesa na povrch hrotu, a proto při pájení není vidět změna teploty hrotu měřená termočlánekem, která by se nemohla přičíst chybě měření. Pro ochranu pájecího pera před zničením je v programu použita pojistka, která zablokuje topení, pokud se napětí na termočlánek přiblíží k maximální měřitelné hodnotě napětí.

Vzhledem k použití triaku jako spínacího prvku a použití filtrů typu dolní propust v měřicím obvodu s mezní frekvencí 8 Hz, toto řešení není vhodné pro regulaci soustav s časovou konstantou pod 1 s.

Použitím rotačního enkodéru a tlačítek lze nastavovat velké množství parametrů jen s několika ovládacími prvky. Díky použití parametrizovaných funkcí pro zobrazování dat na LCD displej, lze jednoduše přidávat nastavování dalších parametrů.

Rozdělení programu do velkého počtu modulů umožňuje rychlé vyhledávání v kódu a s tím spojené rychlé úpravy kódu. Každý komunikační protokol je obsluhován v samostatném modulu, proto lze tyto moduly použít i v jiných projektech.

Z PC lze nastavovat stejné parametry mikropájecí stanice, jako přes LCD displej, tlačítka a enkodér a navíc jsou v PC zobrazovány průběhy veličin, které je možné uložit pro pozdější zpracování. Tato použitá komunikace s PC je jednoduše implementovatelná a lze ji využít i na jiných zařízeních. Protože je pro komunikační protokol už připraven program v prostředí MATLAB, stačí pouze implementovat protokol do zařízení.

Parametry sestavené mikropájecí stanice jsou v tabulce níže

Tab. 6.1 – Parametry sestavené mikropájecí stanice

Název	Hodnota
Napájecí napětí mikropájecí stanice	230 V
Napájecí napětí pájecího pera	24 V
Příkon pájecího pera	48 W
Rozměry mikropájecí stanice (šířka × výška × hloubka)	110 × 120 × 205 mm
Rozměry desky plošných spojů (délka × šířka)	105 × 95 mm
Hmotnost mikropájecí stanice	1,9 kg
Rozsah měřených napětí termočlánku	(0; 20,48) mV
Rozmezí regulace teploty pro termočlánek typu J	50 °C ÷ 400 °C
Chyba měření teploty pro termočlánek typu J	±5 °C
Příkon v pohotovostním režimu při intenzitě podsvícení displeje 10 %	4 W
Příkon v pracovním režimu pro teplotu hrotu 270 °C a při intenzitě podsvícení displeje 50 %	16 W

Pro vyzkoušení funkčnosti byly zvoleny následující parametry regulátoru a následně byly změřeny následující parametry kvality regulace.

Tab. 6.2 – Zvolené parametry regulátoru a změřené parametry kvality regulace

Název	Hodnota
Typ regulátoru	PI
Zesílení	5 W°C ⁻¹
Integrační časová konstanta	10 s
Požadovaná teplota	270 °C
Přípustná odchylka od požadované teploty	±5 °C
Doba nahřátí hrotu na požadovanou teplotu z teploty 20 °C	49 s
Doba nahřátí hrotu na požadovanou teplotu z pohotovostního režimu	39 s
Přesnost regulace	Nepřekročí chybu měření

7 ZÁVĚR

Navržená mikropájecí stanice vyhovuje základním požadavkům na pájení pomocí slitin cínu. Její hlavní předností je, že lze použít libovolné pájecí pero připojené čtyřvodičovým zapojením. Zároveň lze místo pájecího pera připojit libovolnou tepelnou soustavu, která vyhovuje napájecímu napětí a její teplota je měřena termočlánkem.

Důležitou součástí práce je komunikace po několika různých sběrnících, jmenovitě jde o paralelní sběrnici, pro komunikaci s LCD, o sběrnici SPI, pro komunikaci s A/D převodníkem, o jednovodičovou sběrnici, pro komunikaci s digitálním teploměrem, a o sériovou linku, pro komunikaci s PC.

Navržený komunikační protokol obsahuje dostatečnou ochranu přenášených dat a během testování nedošlo k nepředpokládané situaci. Díky velké variabilitě jak protokolu, tak možnostem aplikace, je tento způsob komunikace vhodný pro většinu regulátorů, které protokol implementují.

Další vývoj by se měl zaměřit na použití regulátoru pro soustavy s nižší časovou konstantou a na používání dalších druhů pájecích per, především na pera s dvouvodičovým a třívodičovým zapojením.

LITERATURA

- ATMEL CORPORATION. 2015. ATmega32A. [online]. San Jose, CA, Spojené Státy Americké. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A_Datasheet.pdf.
- FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD. 2015. FT232R USB UART IC. [online]. Glasgow, Velká Británie. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf.
- JANÍK, P. 2011 – 2016. Mikropájka 2011. [online]. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: http://pajka-trb.cz/konstrukce/mikropajka_2011.html.
- MAXIM INTEGRATED. 2015. A. DS18B20. [online]. San Jose, CA, Spojené Státy Americké. [cit. 29. 5. 2016]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
- MAXIM INTEGRATED. 2015. B. MAX4208. [online]. San Jose, CA, Spojené Státy Americké. [cit. 29. 5. 2016]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. 2011. MCP3202. [online]. Chandler, Arizona, Spojené Státy Americké. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21034F.pdf>.
- MOSAIC INDUSTRIES, INC. 2014. Thermocouple types. [online]. Newark, CA, Spojené Státy Americké. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/temperature-measurement/thermocouple/types-wire-element>.
- OMEGA ENGINEERING, INC. 2003 – 2016. Revised thermocouple reference tables. [online]. Stamford, Connecticut, Spojené Státy Americké. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.omega.com/temperature/Z/pdf/z203.pdf>.
- SCHINKMANN. 1991 – 2016. Pájení, pájení mědi, tvrdé pájení, měkké pájení, pájky, páječky, tavidla, pájení hliníku. [online]. Kosmonosy. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/pajeni-1>.
- SITRONIX. 2000. ST7066. [online]. [cit. 29. 5. 2016]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/89327/ETC/ST7066.html>.
- VELLEMAN. 2016. VTSSC20N. [online]. Gavere, Belgie. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.velleman.eu/downloads/1/vtssc20ngbnlfresd.pdf>.
- WINSTAR DISPLAY CO., LTD. 2016. WH1602A. [online]. Taichung City, Tchaj-wan. [cit. 15. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.winstar.com.tw/download.php?ProID=21>.

PŘÍLOHY

A - CD

B - Uživatelská příručka programu

C - Schémata zapojení a seznamy součástí

D - Desky plošných spojů a osazovací plány

Příloha k bakalářské práci
Mikropájecí stanice řízená mikropočítačem
Martin Břeň

CD

Obsah

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF včetně příloh
- 2 Zdrojový kód mikropájecí stanice
- 3 Program pro výpočetní prostředí MATLAB
- 4 Schémata zapojení a desky plošných spojů v programu EAGLE
- 5 Fotodokumentace realizované mikropájecí stanice

Příloha k bakalářské práci
Mikropájecí stanice řízená mikropočítačem
Martin Břeň

UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA PROGRAMU
OVLÁDÁNÍ REGULÁTORU

Obsah

	Seznam obrázků	2
	Seznam tabulek	3
	ÚVOD	4
1	POŽADAVKY NA SW	5
2	POPIS OBSLUHY	6
2.1	ROZVRŽENÍ OKNA.....	6
2.2	PŘIPOJOVÁNÍ	7
2.3	CHYBOVÉ HLÁŠKY	8
2.4	NÁPOVĚDA V APLIKACI	8
3	KONFIGURAČNÍ SKRIPT	9
3.1	SERIALPROPERTIES	9
3.2	DEVICEPROPERTIES	9
3.2.1	Typ „var“	9
3.2.2	Typ „list“	9
3.2.3	Typ „action“	10
3.2.4	Typ „istream“	10
3.2.5	Typ „ostream“	11
3.2.6	Typ proměnné	11
4	KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL	12
4.1	DRUHY PŘÍKAZŮ	12
4.2	VYUŽITÍ V APLIKACI	13
4.3	POTVRZOVACÍ PŘÍKAZY	13
5	ZÁVĚR.....	14

Seznam obrázků

Obr. 2.1 – Okno aplikace při spuštění.....	6
Obr. 2.2 – Okno aplikace po připojení.....	8

Seznam tabulek

Tab. 4.1 – Komunikační rámec	12
Tab. 4.2 – Druhy příkazů	13
Tab. 4.3 – Využití příkazů pro daný typ komunikace	13

ÚVOD

V současné době se stále více preferuje propojování zařízení s nadřazeným systémem. Nejčastějším nadřazeným systémem je PC, ke kterému se zařízení nejčastěji připojují přes USB. Při připojení přes USB se pro obecnou komunikaci používá virtuální sériový port.

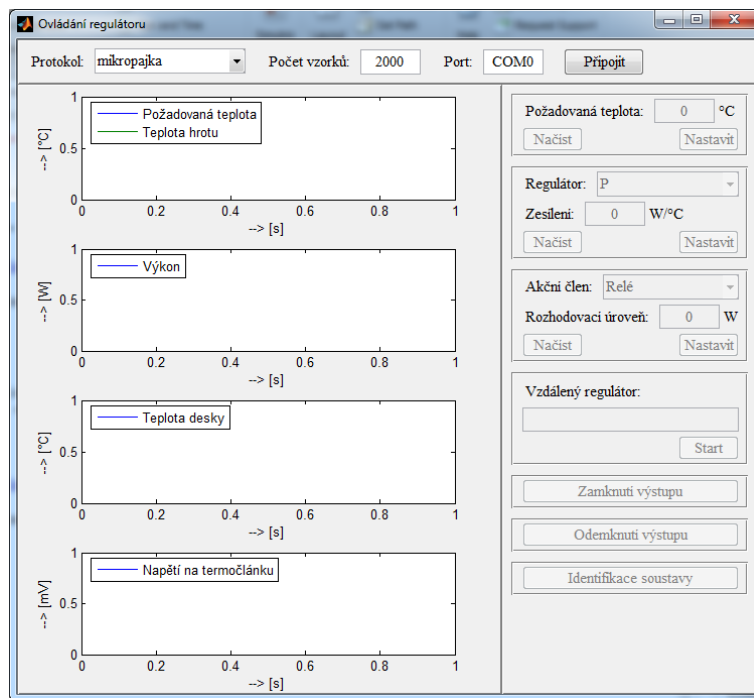
Z těchto poznatků byla vytvořena aplikace pro PC ve výpočetním prostředí MATLAB, která umožní nastavování a diagnostiku většiny zařízení komunikujících přes sériový port. Aplikace umožňuje komunikaci se zařízením pomocí příkazů odpovídající šablonám, které následně pošle do zařízení přes sériovou linku pomocí komunikačního protokolu. Všechny šablony příkazů jsou parametrizované a jejich parametry jsou definované v konfiguračním souboru.

1 POŽADAVKY NA SW

MATLAB 2013a nebo novější.

2 POPIS OBSLUHY

2.1 ROZVRŽENÍ OKNA



Obr. 2.1 – Okno aplikace při spuštění

Celá aplikace je rozdělena na tři panely. Vrchní panel obsahuje tyto ovládací prvky.

- Protokol – výběr ze seznamu konfiguračních skriptů nacházející se ve složce „config“.
- Počet vzorků – určuje, kolik vzorků grafů se budou zobrazovat a uchovávat. Ovládací prvek může být skryt, pokud nebude definován vstupní proud dat v konfiguračním souboru.
- Port – platný název sériového portu, se kterým se bude komunikovat.
- Tlačítko Připojit (Odpojit) – pro připojení k (odpojení od) zařízení.

V pravém panelu je zobrazeno nastavení zařízení definované v konfiguračním souboru. Každý příkaz je ve vlastním panelu a existují následující typy příkazů.

- Nastavení proměnné – obsahuje jedno textové pole, do kterého lze vložit libovolné číslo, které se vejde do datového typu dané proměnné. Informace o povoleném rozsahu jsou zobrazovány po najetí myši nad textové pole. Tlačítko Načíst slouží pro znovu načtení proměnné ze zařízení a tlačítko Nastavit slouží k zapsání proměnné do zařízení. Pokud správnost zápisu nebude potvrzena, dojde k automatickému načtení proměnné ze zařízení.

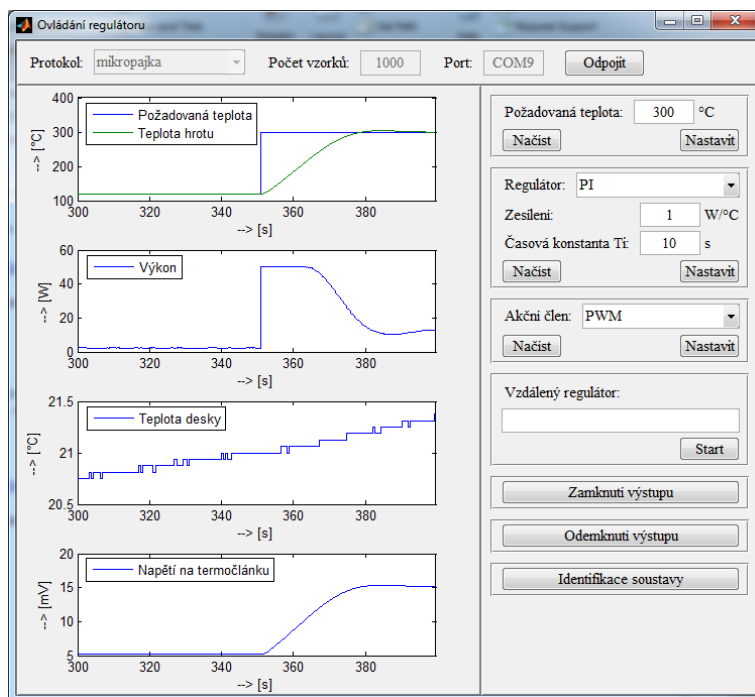
- Výběr ze seznamu a nastavení proměnných – obsahuje prvek pro výběr ze seznamu a po změně vybrané položky dojde k zobrazení textových polí proměnných souvisejících s touto volbou. Pro tyto textová pole platí stejná pravidla jako pro typ nastavení proměnné.
- Akce – posílá příkaz, aby byla vykonána určitá operace v zařízení.
- Vzdálený regulátor – obsahuje textové pole, do kterého se zapisuje název funkce použité jako regulátor ve tvaru „název funkce(výraz vytvářející počáteční stav)“, která musí splňovat funkční předpis „[výstupní rámec, aktuální stav] = název funkce(vstupní rámec, předchozí stav)“. Dále obsahuje tlačítko Start (Stop) pro spuštění (zastavení) zpracování regulátoru.

V levém panelu jsou pod sebou zobrazovány grafy definované ve vstupním proudu v konfiguračním souboru. Význam jednotlivých grafů je zobrazen v legendě, která je umístěna v levém horním rohu každého grafu. Názvy jednotlivých grafů odpovídají názvům proměnných zobrazovaných v grafech. Data zobrazená v grafech jsou dostupná přes proměnnou „data“.

2.2 PŘIPOJOVÁNÍ

Protože nastavení v horním panelu slouží pro správné připojení, je nutné tato nastavení vyplnit ještě před připojením k zařízení. Při připojování k zařízení se program pokusí otevřít sériový port a navázat komunikaci se zařízením. Po úspěšném připojení automaticky načte všechna aktuální nastavení, která zvolený konfigurační skript podporuje.

Po připojení a načtení nastavení aplikace zablokuje nastavování horního panelu, při připojeném zařízení, povolí se nastavování parametrů zařízení v pravém panelu a začíná zpracovávat požadavky obsluhy a přijímat vstupní proud dat ze zařízení, který okamžitě zobrazuje v grafech. Po těchto krocích by aplikace měla vypadat jako na snímku níže.



Obr. 2.2 – Okno aplikace po připojení

2.3 CHYBOVÉ HLÁŠKY

Chybové hlášky jsou rozdělené do dvou kategorií.

- Chyba – vyvolává se při chybách, které jsou způsobené špatným skriptem, nebo špatnými parametry vstupů. Současně dojde k výpisu části obsahu chyby do konzole.
- Varování – vyvolává se při chybách, které jsou způsobené chybami přenosu.

2.4 NÁPOVĚDA V APLIKACI

Všechny ovládací prvky obsahují nápovědu zobrazovanou po najetí nad daný prvek.

3 KONFIGURAČNÍ SKRIPT

Konfigurační skript je skript programu MATLAB. Skript musí obsahovat dvě proměnné „serialProperties“ a „deviceProperties“ a musí být uložen ve složce „config“.

3.1 SERIALPROPERTIES

Jedná se o strukturu obsahující nastavitelné parametry sériové linky, které podporuje aplikace. Struktura obsahuje následující položky.

- baudRate – přenosová rychlost, $\text{bit}\cdot\text{s}^{-1}$.
- parity – použitá parita („none“, „odd“, „even“).
- stopBits – počet stop bitů (1; 1,5; 2).

Dále je pevně nastaven počet bitů na hodnotu 8 a pořadí posílání jednotlivých bytu odpovídá little endian.

3.2 DEVICEPROPERTIES

Jedná se o vektor struktur, které obsahují veškerou dostupnou komunikaci. Struktury obsahují následující položky.

- type – řetězec názvu typu komunikace.
- desc – struktura s parametry komunikace.

Aplikace podporuje následující typy komunikace.

3.2.1 Typ „var“

Používá se pro nastavování jedné proměnné. Struktura obsahuje následující parametry.

- command – číselný alias pro příkazy (0 ÷ 127).
- type – typ proměnné.

3.2.2 Typ „list“

Používá se pro nastavení jedné položky ze seznamu a nastavování proměnných jednotlivých položek seznamu, např. výběr regulátoru s nastavením jeho parametrů. Struktura obsahuje následující parametry.

- command – číselný alias pro příkazy (0 ÷ 127).
- type – typ proměnné použité pro identifikaci položky ze seznamu.

- list – vektor struktur jednotlivých položek. Položky struktur jsou popsány níže.
- frame – vektor typů proměnných v pořadí, jak se budou posílat (přijímat). Pro správnou funkci je nutné, aby zde byly vloženy všechny použité typy proměnných v tomto příkazu.

Parametr „list“ obsahuje vektor struktur, které obsahují tyto položky.

- name – řetězec obsahující zobrazovaný název položky.
- value – hodnota, kterou je reprezentovaná položka.
- arguments – vektor typů proměnných jednotlivých položek, pokud položka nemá obsahovat žádnou proměnnou, může „arguments“ obsahovat prázdnou matici libovolného typu, např.: `double.empty`, `[]`.

3.2.3 Typ „action“

Používá se pro provedení určité operace v zařízení. Struktura obsahuje následující parametry.

- command – číselný alias pro příkaz (0 ÷ 127).
- name – řetězec obsahující zobrazovaný název.
- help – řetězec obsahující zobrazovanou nápovědu v nápovědě při najetí myši nad tlačítko.

3.2.4 Typ „istream“

Obsahuje vlastnosti proudu dat ze zařízení. Tyto data jsou zobrazována v grafech a jsou použita jako aktuální stav soustavy pro vzdálený regulátor. Struktura obsahuje následující parametry.

- command – číselný alias pro příkaz (0 ÷ 127).
- time – typ proměnné, která se použije jako informace o čase pořízení vzorku.
- plots – pole („cell“) vektorů typů proměnných zobrazovaných v jednotlivých grafech. Při vložení do funkce „struct“ musíte použít pole polí (zdvojené složené závorky), protože pole by bylo přeloženo jako pole hodnot struktur.
- frame – vektor typů proměnných, v pořadí jak se budou přijímat.

3.2.5 Typ „ostream“

Obsahuje vlastnosti proudu dat do zařízení získaných ze vzdáleného regulátoru. Struktura obsahuje následující parametry.

- command – číselný alias pro příkaz (0 ÷ 127).
- frame – vektor typů proměnných, v pořadí jak se budou posílat.

3.2.6 Typ proměnné

Jelikož je potřeba definovat více vlastností jednotlivých proměnných, je použita pro definování typu proměnné struktura, která obsahuje následující vlastnosti.

- name – zobrazovaný název zapsán jako řetězec.
- type – datový typ proměnné zapsán jako řetězec. Jsou povoleny pouze číselné datové typy podporované programem MATLAB.
- unit – zobrazovaná jednotka zapsána jako řetězec.
- scaleFactor – obsahuje číslo, které reprezentuje hodnotu v daných jednotkách při příjmu (poslání) jedničky. Toho lze využít pro posílání necelých čísel pomocí celočíselných datových typů, např. pro posílání čísel s přesností na desetiny bude „scaleFactor“ nastaven na 0,1.

4 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL

Komunikace se zařízením probíhá přes sériovou linku, nad kterou je nabalen tento protokol, který veškerá data posílá po rámcích (paketech). Sériová linka je nastavena podle konfiguračního skriptu a dále je pevně nastaven počet bitů slova na 8 bitů a posílání bytů v pořadí od nejméně významného bytu (little endian).

Jelikož variabilita protokolu je pouze v podporovaných příkazech, je formát protokolu pevně stanoven. Nejprve je zde popsán komunikační rámec.

Tab. 4.1 – Komunikační rámec

Název	Velikost (hodnota)	Popis
START	Byte (0x55)	Synchronizační byte pro identifikaci začátku rámce.
Příkaz	Byte	Hodnota příkazu, který má být proveden.
Parametry	Libovolná	Parametry příkazu. Jejich délka je pevně určena podle typu příkazu, proto si obě zařízení musí pamatovat velikost parametrů.
Kontrolní součet	Byte	Obsahuje redundantní informace, které slouží pro kontrolu správnosti rámce. Součet všech bytů rámce, včetně kontrolního součtu, musí dát hodnotu dělitelnou 256.

4.1 DRUHY PŘÍKAZŮ

Povolené hodnoty příkazů jsou (0 ÷ 127). MSB je použit pro identifikaci typu příkazu a obsahuje i informaci o délce parametrů. Jednotlivé příkazy lze rozdělit do několika druhů, jejich soupis je v následující tabulce.

Tab. 4.2 – Druhy příkazů

Název	MSB	Délka parametrů	Posílá	Odpovídá Příkazem	Popis
Čtecí	0	0	Program	Zařízení Návratový	Slouží pro vyžádání parametrů od zařízení.
Nastavovací	1	Pamatovaná	Program	Zařízení Potvrzovací	Slouží pro nastavování parametrů zařízení.
Příkazové	0	0	Program	Zařízení Potvrzovací	Slouží pro poslání příkazu na provedení určité činnosti.
Proudové	1	Pamatovaná	Program, zařízení	Nikdo	Slouží pro poslání dat o aktuálním stavu.
Návratové	1	Pamatovaná	Zařízení	Nikdo	Slouží jako odpověď pro čtecí příkazy.
Potvrzovací	0	Byte	Zařízení	Nikdo	Jedná se o odpověď zařízení programu o úspěšnosti operace. Podrobněji je popsáno níže.

4.2 VYUŽITÍ V APLIKACI

Tab. 4.3 – Využití příkazů pro daný typ komunikace

Typy komunikace	Příkazy
„var“ a „list“	Čtecí, nastavovací, návratové a potvrzovací
„action“	Příkazové a potvrzovací
„istream“ a „ostream“	Slouží pro poslání příkazu na provedení určité činnosti.
istream“ a „ostream“	Proudové

4.3 POTVRZOVACÍ PŘÍKAZY

Jedná se o příkazy informující o úspěšnosti provedení určité operace. Komunikační protokol podporuje pouze následující dva potvrzovací příkazy.

- Příkaz proveden bez chyby – hodnota příkazu je 0x55.
- Příkaz proveden s chybou – hodnota příkazu je 0x5A. Tento příkaz by se měl vracet vždy v případech, kdy je přijat neznámý příkaz, nebo neodpovídá kontrolní součet, nebo hodnoty parametrů jsou mimo rozsah.

Tyto příkazy obsahují ještě jeden parametr, a to příkaz, kterého se tento stav týká.

5 ZÁVĚR

Navržená aplikace i komunikační protokol umožňují plnohodnotnou diagnostiku a ovládání většiny regulátorů, které podporují tento protokol.

Aplikaci by bylo vhodné rozšířit na komunikaci po libovolném komunikačním rozhraní.

Příloha k bakalářské práci
Mikropájecí stanice řízená mikropočítačem
Martin Břeň

SCHÉMATA ZAPOJENÍ A SEZNAMY SOUČÁSTEK

Obsah

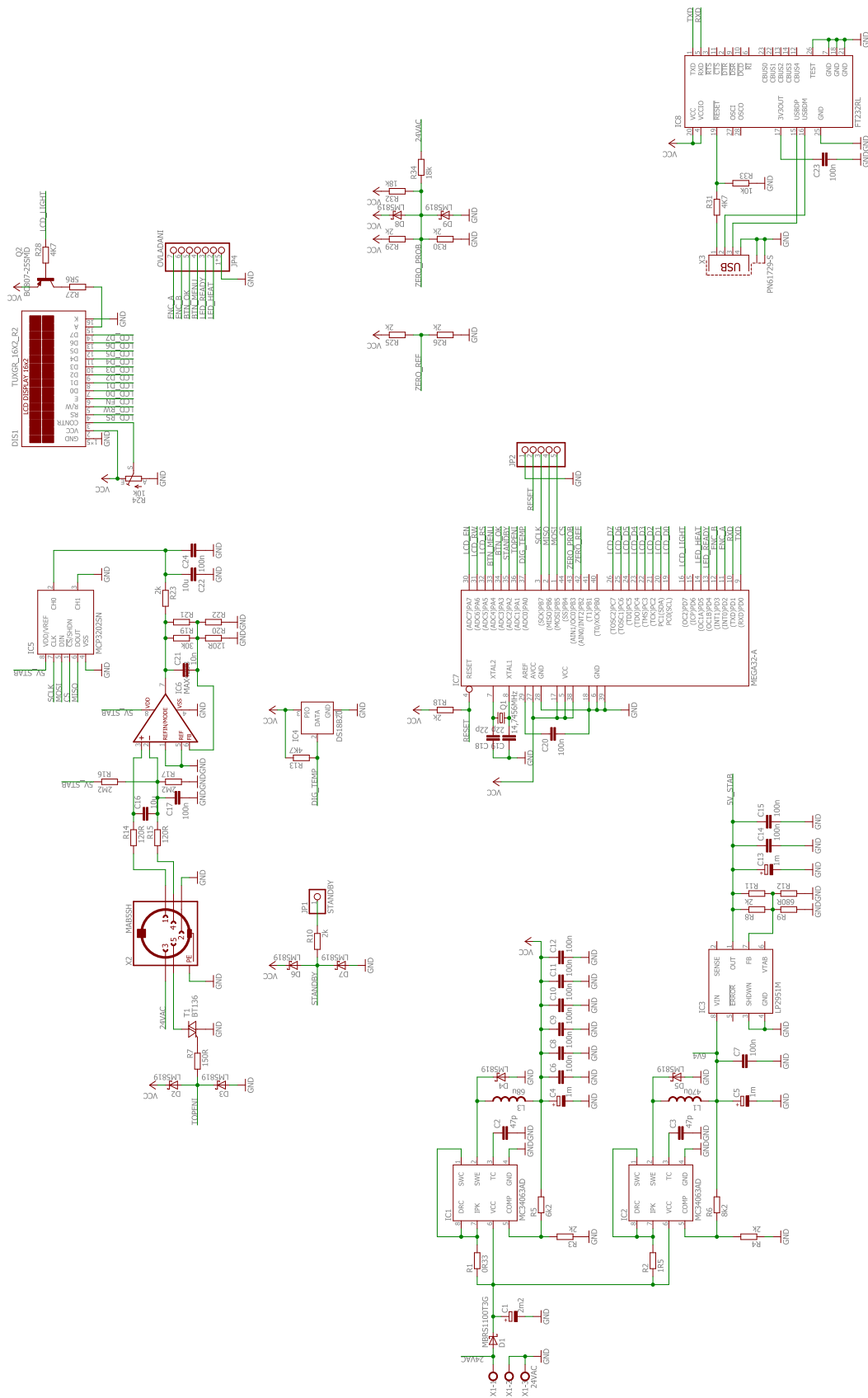
Seznam obrázků	2
Seznam tabulek	3

Seznam obrázků

Obr. 1 – Schéma hlavní desky mikropájecí stanice	4
Obr. 2 – Schéma desky s ovládacími prvky.....	7

Seznam tabulek

Tab. 1 – Seznam součástek na hlavní desce.....	5
Tab. 2 – Seznam součástek na desce s ovládacími prvky.....	7



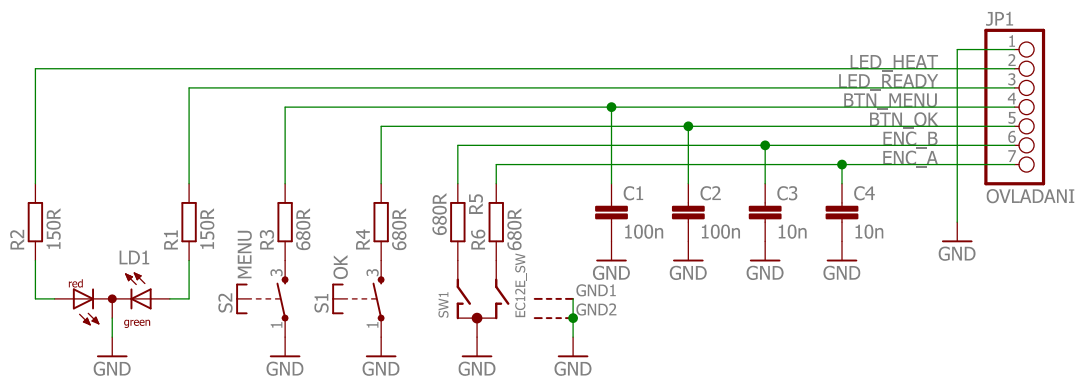
Obr. 1 – Schéma hlavní desky mikropájecí stanice

Tab. 1 – Seznam součástek na hlavní desce

Označení	Hodnota (Typ)	Pouzdro	Počet	Popis
IC1, IC2	MC34063AD	SO08	2×	Spínaný regulátor napětí
IC3	LP2951CM	SO08	1×	Lineární stabilizátor napětí
IC4	DS18B20	TO92	1×	Digitální teploměr
IC5	MCP3202SN	SO08	1×	A/D převodník
IC6	MAX4208	μMAX8	1×	Přístrojový zesilovač
IC7	ATmega32A	TQFP44	1×	Mikropočítač
IC8	FT232RL	SSOP28	1×	Převodník USB – UART
R1	0,33 Ω	0207	1×	Rezistor
R2	1,5 Ω	1206	1×	Rezistor
R3, R4, R8, R10, R18, R23, R25, R26, R29, R30	2 kΩ	0603	10×	Rezistor
R5	6,2 kΩ	0603	1×	Rezistor
R6	8,2 kΩ	0603	1×	Rezistor
R7	150 Ω	1206	1×	Rezistor
R9	680 Ω	0603	1×	Rezistor
R11, R12, R21, R22		0603	4×	Kalibrační rezistory
R13, R28, R31	4,7 kΩ	0603	3×	Rezistor
R14, R15, R20	120 Ω	0603	3×	Rezistor
R16, R17	2,2 MΩ	0603	2×	Rezistor
R19	30 kΩ	0603	1×	Rezistor
R24	10 kΩ	CA9V	1×	Odporový trimr
R27	5,6 Ω	1206	1×	Rezistor
R32, R34	18 kΩ	0603	2×	Rezistor
R33	10 kΩ	0603	1×	Rezistor
C1	2,2 mF	18×36 RM7,5	1×	Elektrolytický kondenzátor
C2, C3	470 pF	0603	2×	Keramický kondenzátor

Tab. 1 – Seznam součástek na hlavní desce – pokračování

Označení	Hodnota (Typ)	Pouzdro	Počet	Popis
C4, C5, C13	1 mF	10×25 RM5	3×	Elektrolytický kondenzátor
C6 ÷ C12, C14, C15, C17, C20, C23, C24	100 nF	0603	13×	Keramický kondenzátor
C16, C22	10 µF	0805	2×	Keramický kondenzátor
C18, C19	22 pF	0603	2×	Keramický kondenzátor
C21	10 nF	0603	1×	Keramický kondenzátor
L1	470 µH		1×	Tlumivka
L3	68 µH		1×	Tlumivka
D1	MBRS1100T3G	SMB	1×	Schotkyho dioda
D2 ÷ D9	LM5819	MINIMELF	8×	Schotkyho dioda
Q1	14,745 6 MHz	HC49/S	1×	Krystal
Q2	BC807	SOT23	1×	PNP tranzistor
T1	BT136	TO220	1×	Triak
DIS1			1×	LCD displej
X1			1×	Svorkovnice s roztečí vývodů 5 mm
X2			1×	Konektor DIN 5
X3			1×	Konektor USB-B
JP1		1×1	1×	Oboustranný kolík
JP2		1×5	1×	Oboustranný kolík
JP4			1×	Deska s ovládacími prvky



Obr. 2 – Schéma desky s ovládacími prvky

Tab. 2 – Seznam součástek na desce s ovládacími prvky

Označení	Hodnota (Typ)	Pouzdro	Počet	Popis
R1, R2	150 Ω	1206	2×	Rezistor
R3 ÷ R6	680 Ω	0603	4×	Rezistor
C1, C2	100 nF	0603	2×	Keramický kondenzátor
C3, C4	10 nF	0603	2×	Keramický kondenzátor
LD1		5 mm	1×	Červenozelená LED
S1, S2			2×	Tlačítka
SW1			1×	Rotační enkodér
JP1		1×7	1×	Oboustranný kolík

Příloha k bakalářské práci
Mikropájecí stanice řízená mikropočítačem
Martin Břeň

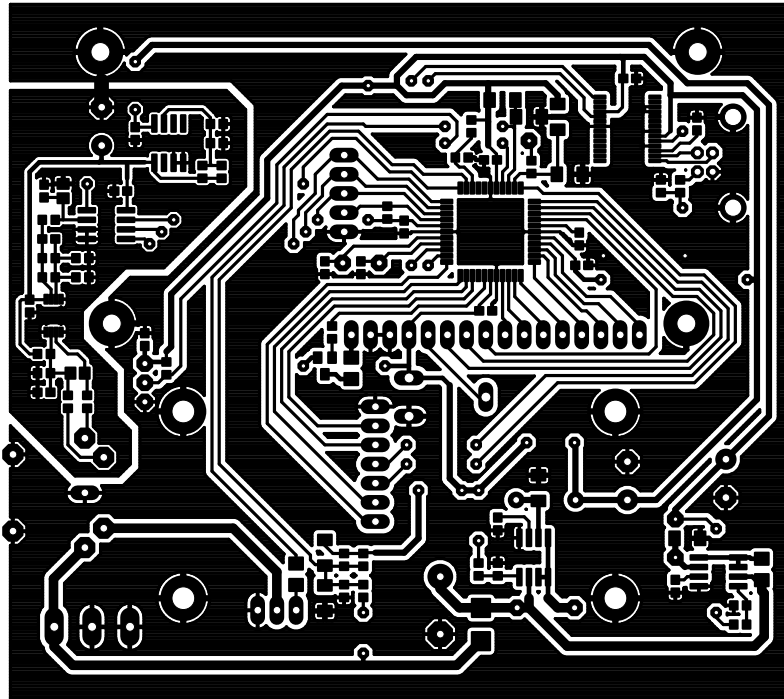
DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ A OSAZOVACÍ PLÁNY

Obsah

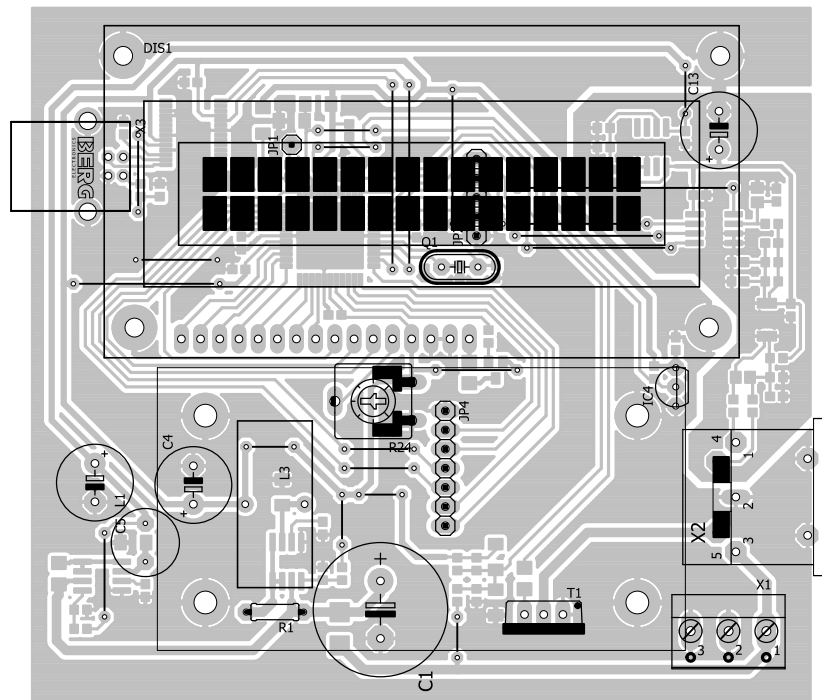
Seznam obrázků	2
----------------------	---

Seznam obrázků

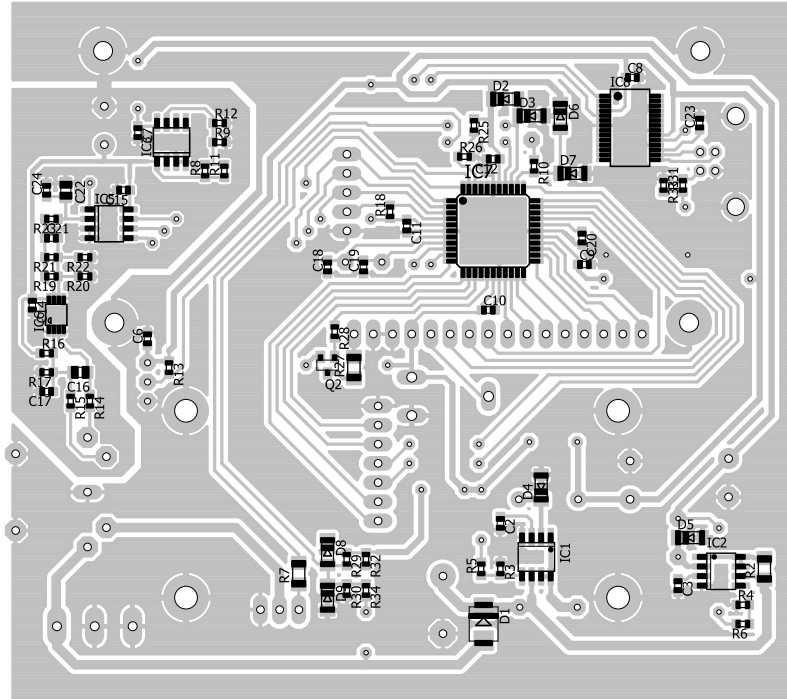
Obr. 1 – Plošný spoj hlavní desky mikropájecí stanice	3
Obr. 2 – Osazovací plán hlavní desky ze strany součástek.....	3
Obr. 3 – Osazovací plán hlavní desky ze strany cest	4
Obr. 4 – Plošný spoj desky ovládacích prvků.....	5
Obr. 5 – Osazovací plán desky ovládacích prvků ze strany součástek	5
Obr. 6 – Osazovací plán desky ovládacích prvků ze strany cest	5



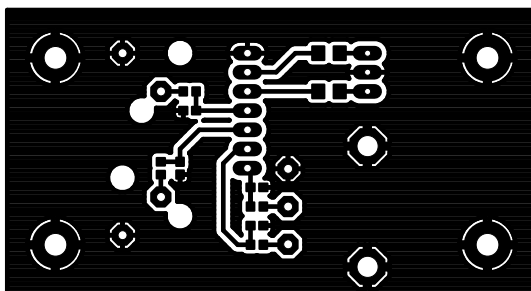
Obr. 1 – Plošný spoj hlavní desky mikropájecí stanice



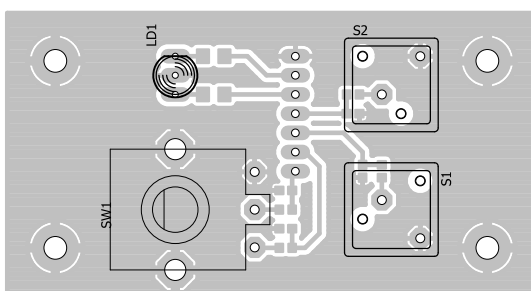
Obr. 2 – Osazovací plán hlavní desky ze strany součástek



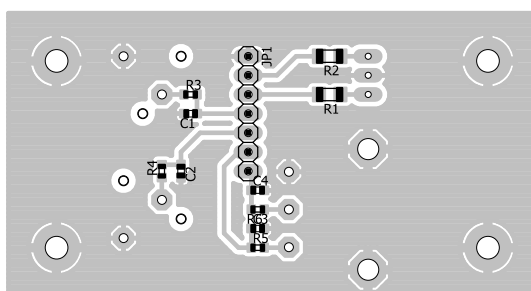
Obr. 3 – Osazovací plán hlavní desky ze strany spojů



Obr. 4 – Plošný spoj desky ovládacích prvků



Obr. 5 – Osazovací plán desky ovládacích prvků ze strany součástek



Obr. 6 – Osazovací plán desky ovládacích prvků ze strany spojů