



**Fakulta elektrotechnická
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektronická pájecí stanice

Autor práce: David Mrňavý
Vedoucí práce: Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.

Plzeň 2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David MRŇAVÝ**
Osobní číslo: **E10B0327P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Elektronická pájecí stanice**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

Vytvořte prototyp elektronické pájecí stanice.

1. Navrhněte řešení, které bude umožňovat nastavovat pájecí teploty.
2. Zařízení musí mít vhodným způsobem vyřešenu vizualizaci nastavené teploty.
3. Navržené řešení realizujte.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická


Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014


Doc. Ing. Jirí Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Čestné prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

Datum: 14. 5. 2014

.....

podpis

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a realizací prototypu pájecí stanice, který bude umožňovat nastavení pájecí teploty a zobrazovat informace o zařízení na displeji. V první kapitole jsou popsány základní principy a zapojení, které se dají použít k realizaci měření a regulace teploty. Je zde také popsán návrh PI regulátoru. V další kapitole je shrnut použitý mikroprocesor a jeho funkční bloky. Třetí kapitola se zabývá konkrétními použitými zapojeními. V poslední kapitole je popsán návrh programu a jednotlivé funkční bloky algoritmu.

Klíčová slova

Pájecí pero, mikroprocesor, regulace, PI regulátor, LCD displej, sériová komunikace, přerušování, časovač, čítač, teplota, unipolární tranzistor, termočlánek, pulsně šířková modulace, A/D převodník, vizualizace, n-kodér.

Abstract

The thesis is focused on design and implementation of a prototype soldering station, which will allow to set soldering temperature and view of the device information on display. The first chapter describes elementary principles and circuit that can be used to implement the measurement and control of temperature. There is also described PI controller design. The next chapter summarize use of microcontroller and his functional blocks. The third chapter deals with specific activation used. The last chapter describe the design of the program and individual functional blocks of the algorithm.

Keywords

Soldering iron, microcontroller, regulation, PI regulator, LCD display, serial interface, interrupt, timer, counter, temperature, unipolar transistor, thermocouple, pulse width modulation, A/D converter, visualization, n-coder.

Obsah

Seznam veličin a zkratek	8
Úvod	10
1 Návrh funkčních bloků	11
1.1 Zdroje napětí	11
1.2 Spínací prvky	13
1.2.1 Unipolární tranzistory MOSFET	14
1.3 Měření teploty	15
1.4 PTC a NTC odporová teplotní čidla	15
1.5 Termočlánky	16
1.6 Operační zesilovače	18
1.7 Teplotní regulace	18
1.7.1 návrh PI regulátoru	19
1.7.2 Pulsně šířková modulace	21
2 Mikroprocesor ATMEGA32A	23
2.1 A/D převodník	24
2.1.1 A/D převodník s postupnou aproximací	24
2.2 Časovače	25
2.3 Externí přerušení	25
2.4 SPI komunikace	26
2.4.1 Princip činnosti sběrnice SPI	26
3 Hardwarové řešení	28
3.1 Napájení řídicí elektroniky	28
3.2 Napájení pájecího pera	28
3.2.1 Obvod pro spínání topného tělesa	28
3.3 Obvod pro převod napětí termočlánku	29
3.4 Displej EA DOGL128B–6	30
4 Program	32
4.1 Vizualizace	32
4.2 Obsluha n-koderu	33
4.3 Měření teploty	33
4.4 Regulace	34
Závěr	35

Seznam obrázků	37
Seznam tabulek	37
Reference	38
Přílohy	39

Seznam veličin a zkratek

A_u	Napěťové zesílení.
A/D	Analog to Digital. Analogově číslicový převodník.
AC	Alternating Current. Střídavý proud.
ALU	Arithmetic Logic Unit. Aritmetickologická jednotka.
AVR	Alf Vegard Risc procesor. Označení pro rodinu 8-bitových a některých 32-bitových mikropočítačů typu RISC s harvardskou architekturou od firmy Atmel.
D/A	Digital to Analog. Číslicově analogový převodník.
DC	Direct Current. Stejnoseměrný proud.
DPS	Deska plošného spoje.
$e(t)$	Regulační odchylka.
E24	Normalizovaná řada rezistorů
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. Elektricky mazatelná programovací paměť pouze pro čtení.
f	Frekvence [Hz]
FET	Field Effect Transistor. Tranzistor řízený polem
I	Elektrický proud [A].
I/O	In or Out. Vstup nebo výstup.
K	Převod transformátoru.
K_r	Zesílení regulátoru.
k	Krok řízení.
LCD	Liquid Crystal Display. Displej z tekutých krystalů.
LED	Light Emitting Diode. Světlo emitující dioda.
LSB	Least Significant Bit. Nejméně významný bit.
MIPS	Milion Instruction Per Second. Milion instrukcí za sekundu.
MISO	Master In Slave Out. Master vysílá Slave naslouchá.
MOSFET	Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor. Tranzistor s izolovaným hradlem řízený polem.
MOSI	Master Out Slave In. Master naslouchá Slave vysílá.
MSB	Most Significant Bit. Nejvýznamnější bit.
N	Polovodič s elektronovou vodivostí.
NTC	Negative Temperature Coefficient. Negativní teplotní koeficient termistoru.
OZ	Operační Zesilovač.
P	Polovodič s děrovou vodivostí.

PTC	Positive Temperature Coeficient. Positivní teplotní koeficient termistoru.
PWM	Pulse Width Modulation. Pulsně šířková modulace.
R	Elektrický odpor [Ω].
RAM	Random Access memory. Paměť s libovolným přístupem.
RISC	Reduced Instruction Set Computing. Procesory s redukováným typem instrukcí.
SCK, SCL	Serial Clock. Hodinový signál.
SDI	Serial Data Input. Vstupní datový signál.
SDO	Serial Data Output. Výstupní datový signál.
SIB	Serial Input Buffer. Datový záchytný registr.
SPI	Serial Peripheral Interface. Sériové fyzické rozhraní.
SR	Shift Register. Posuvný registr.
SRAM	Static Random Access Memory. Statická paměť s libovolným přístupem
T	Perioda [s].
T_i	Konstanta integrační složky regulátoru.
U	Elektrické napětí [V].
U_{in}	Vstupní napětí [V].
U_{out}	Výstupní napětí [V].
$u(t)$	Řízení.
$w(t)$	Žádaná hodnota.
$y(t)$	Skutečná hodnota.
$\Delta u_{(kT)}$	Diferenční řízení v kroku k .

Úvod

Pájecí stanice je nedílnou součástí vybavení každé elektrotechnické laboratoře a v neposlední řadě i odborných pracovišť či domácích dílen. Dnes existuje mnoho různých výrobců typů pájecích zařízení. Jedním z nejjednodušších zařízení pro pájení je transformátorová pájka. Ta funguje na principu převodu velkého napětí na velmi malé o velké hodnotě proudu, který zahřívá vodivý drát. Tato metoda je absolutně nepoužitelná pro pájení citlivé elektroniky. Je vhodná pro robustní věci jako je spojování drátů a podobně. Regulaci musí obstarat sám uživatel pomocí tlačítka na rukojeti. Dále je složité pájet fyzicky málo rozměrné věci, pokud musí pracovník držet v ruce těžký transformátor. Proto se vyrábí pájecí pera. Pájecí pera se dají rozdělit do dvou skupin, s regulací a bez. Pájky bez regulace přímo připojitelné do síťové zásuvky dostačují jako nouzové řešení na hrubší pájení. Tyto se pomalu zahřejí na určitou maximální hodnotu a tu si drží po celou dobu práce s nimi, jelikož pořád pracují s maximální hodnotou teploty, pájka má tendence se přepalovat a ztrácet tak na kvalitě. Proto se začala teplota pájek regulovat. Nejprve analogově a s vývojem mikročipů i digitálně.

Mikrokontroléry umožňují pájku řídit číslicově pomocí PI či PID regulátorů. Takto řízená pájecí pera se dají použít i na velmi citlivou elektroniku a pájení bezolovnatými pájkami. Právě to klade velmi vysoké nároky na přesně nastavenou teplotu, protože bezolovnatá pájka má tendenci se přehřívat a ztrácet tak na kvalitě, i při velmi malé odchylce od teploty tavení.

Pro komfortní nastavení teploty je třeba přehledně zobrazovat informace jako je nastavená a aktuální teplota a mít dobře rozvržené ovládací prvky zařízení. Dalším ovládacím prvkem zjednodušujícím práci s pájkou jsou přednastavené hodnoty pro rychlou volbu pájecí teploty.

1 Návrh funkčních bloků

V této kapitole se budu zabývat základním zapojením a funkcí jednotlivých bloků použitých v této práci. Zmíním i jiná řešení pro lepší přehled u dané problematiky.

1.1 Zdroje napětí

Téměř všechna dnes vyráběná zařízení jsou uzpůsobena jako celek pro připojení ke konvenční střídavé síti 230 V, 50 Hz. Avšak citlivé elektronické součásti potřebují k funkci hodnoty napětí poněkud jiné. Digitální prvky jako jsou mikroprocesory, logické obvody atd., vyžadují vyhlazené stejnosměrné napájení v řádu jednotek voltů. Dosáhnout těchto hodnot lze dvěma způsoby. Použitím spínaných zdrojů, kde je výsledné napětí stabilizované a připravené k přímému připojení nebo použitím transformátoru s následným usměrněním a stabilizací napětí na požadovanou hodnotu. Rozdílem mezi nimi jsou mimo jiné konstrukční vlastnosti. Spínané zdroje bývají obvykle menší a lehčí než zdroje, ve kterých je použit výkonný transformátor.

V této práci se budeme zabývat možností použití toroidního transformátoru. Ten je tvrdým zdrojem napětí s velice malým vnitřním odporem a vysokou účinností. Což znamená, že dokáže dodávat vysoké proudy bez poklesu jmenovitého napětí a beze ztrát. Transformátor transformuje střídavé elektrické napětí přivedené na jeho primární vinutí, vlivem proměnlivého indukčního toku, na jeho sekundární vinutí. Indukované napětí na sekundárním vinutí U_s závisí na poměru počtu závitů jednotlivých vinutí. Tento poměr se značí K , pro převod transformátoru platí:

$$\frac{U_s}{U_p} = \frac{N_s}{N_p} = K. \quad (1)$$

kde: U_s sekundární napětí
 N_s počet závitů sekundárního vinutí
 U_p primární napětí
 N_p počet závitů primárního vinutí
 K převod transformátoru

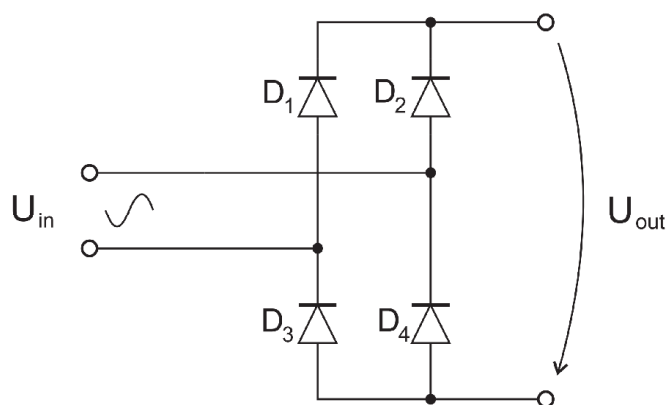
Transformátor může obsahovat i více sekundárních vinutí. Pokud to fyzické rozložení umožňuje, může si konstruktér dokonce navinout i vinutí vlastní, pro které platí přibližně rovnice (1). Toto řešení je použité v této práci.

Transformátor ale pořád dodává jen střídavé napětí a to je třeba usměrnit. Klasické usměrňovače se skládají z polovodičových prvků a to usměrňovacích diod. Usměrňovačů existuje celá řada, jednofázové, třífázové, řízené, neřízené atd..

Základním rozdělením však zůstává:

- Jednocestné usměrňovače,
- Dvoucestné usměrňovače.

Pro usměrňovače jednocestné je menší využití kvůli tomu, že usměrňují pouze jednu půlvlnu střídavého signálu na vstupu. Tento problém řeší až usměrňovače dvoucestné. Základní dvoucestný usměrňovač složený pouze ze dvou diod, potřebuje ke své činnosti dělené vinutí přesně v polovině. Technologie výroby takových transformátorů je ale náročná, proto se používají usměrňovače dvoucestné se čtyřmi diodami a to Gratzův můstkový usměrňovač. Jedná se o diodový dvoucestný můstkový usměrňovač. Jeho za-



Obr. 1: Gratzův usměrňovač

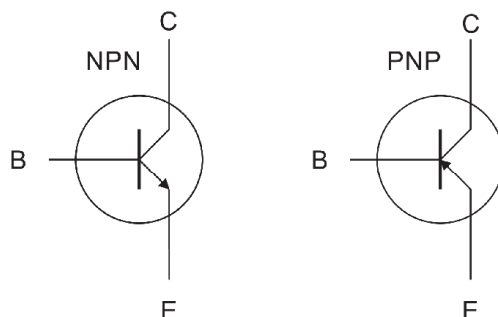
pojení je vidět na obr.: 1. Pokud je na vstupu kladná půlvlna střídavého napětí, proud prochází přes diodu D2, dále pak připojenou zátěží do minusové svorky diodou D3 zpět do zdroje. V době záporné půlvlny prochází proud diodami D1 a D4. Výstupem tohoto zapojení je stejnosměrné pulzní napětí, jehož maximální hodnota je $\sqrt{2}$ krát větší než výstupní napětí z transformátoru, které se udává jako efektivní hodnota. Jelikož zvlněné napětí je nežádoucí kvůli citlivé elektronice, používají se další prvky pro stabilizaci a vyhlazení. U napětí usměrněného je tak třeba zmenšit zvlnění pomocí vyhlazovacích kondenzátorů a posléze stabilizovat. Optimálním řešením je použití lineárního stabilizátoru v integrovaném provedení například řadu 78xx. Tyto stabilizátory obsahují nadproudové a teplotní ochrany. Pro svou činnost potřebují na vstupu o něco vyšší napětí než je na výstupu, protože vnitřní obvody mají určitou spotřebu. Přibližná hodnota tohoto napětí je 2 V. Pokud se použijí speciální LDO stabilizátory s nízkou vnitřní spotřebou, pak tato hodnota bývá maximálně 0,4 V. Konkrétně o napájecích zdrojích použitých v této práci pojednává kapitola: 3.

1.2 Spínací prvky

V průmyslu se často ke spínání používají elektromechanické prvky jako jsou relé a stykače. Tyto jsou, ale omezeny určitými parametry, které znemožňují použití pro regulaci. Nejvýznamnějším je spínací rychlost jakou dokáží přejít z vodivého do nevodivého stavu. Dále pak také při spínání napětí vzniká mezi kontakty elektrický oblouk, který je opaluje a degraduje jejich funkci. Proto je lepší použít polovodičové bezkontaktní prvky. Mezi nejzákladnější patří tranzistor. Tranzistory se dělí do dvou základních skupin.

- Bipolární tranzistory
NPN, PNP
- Unipolární tranzistory
JFET, MOSFET

Bipolární tranzistor má tři elektrody kolektor, emitor a bázi, značené prvními počátečními písmeny, u kolektoru se někdy používá označení C z anglického collector. Princip bipolárního tranzistoru spočívá v tom, že pomocí malého proudu báze I_B lze ovládat mnohonásobně větší proud z kolektoru do emitoru tranzistoru typu NPN, nebo proud z emitoru do kolektoru tranzistoru PNP. Nevýhodou tranzistorů bipolárních je, že



Obr. 2: Schematické značky bipolárních tranzistorů.

pro sepnutí potřebují tekoucí proud do báze. To zatěžuje obvod, který tranzistor přivádí do vodivého stavu, například pin procesoru, který dokáže dodat jen omezeně velký proud. Tento problém odbourává použití unipolárních tranzistorů.

Unipolární tranzistor má také tři elektrody, z důvodu jiného principu jsou, ale značeny odlišně gate (hradlo), source a drain. Není řízen proudem nýbrž elektrickým polem (napětím). Přivedením potenciálu na elektrodu gate a source U_{GS} . Základním principem těchto tranzistorů je jev, kdy se elektrickým polem vychylují dráhy elektronů procházející polovodičem. Tranzistor typu FET funguje tak, že okolo polovodičové tyčinky je vodivý prstenec. Pokud je potenciál prstence nulový, elektrony nerušeně procházejí tyčinkou. V případě že je potenciál nenulový, jsou elektrony procházející tyčinkou stlačeny do středu,

dokud se jejich průchod nepřeruší. Právě díky tomu, že jsou elektrony ovlivňovány pouze polem, není třeba skoro žádný proud.

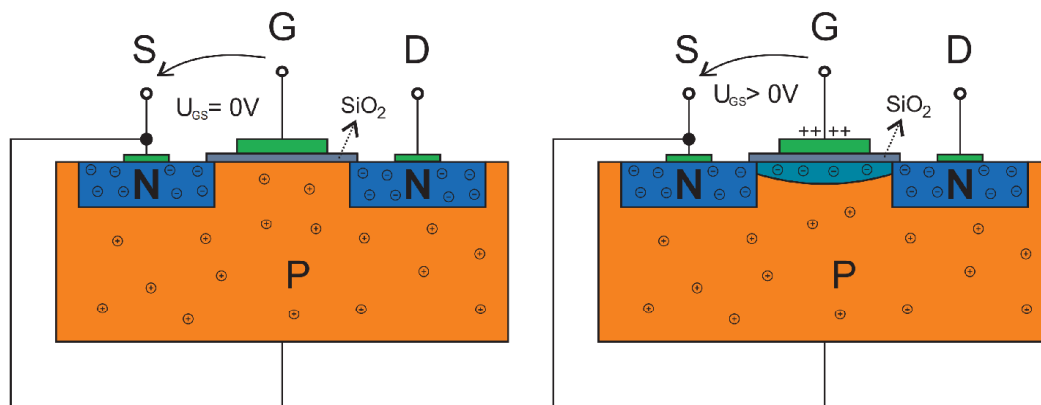
1.2.1 Unipolární tranzistory MOSFET

Existuje nespočet variant unipolárních tranzistorů, v této práci je použit tranzistor typu MOSFET, proto se blíže budu zabývat právě jimi. Tyto tranzistory se dají rozdělit do dvou základních skupin.

- s indukovaným kanálem
- s vodivým kanálem

Tranzistory s vodivým kanálem jsou používány jen zřídka a k běžným aplikacím nepotřebné, popíši tedy jen princip s indukovaným kanálem. Ten má izolované hradlo od hlavního substrátu pomocí tenké vrstvičky oxidu křemičitého SiO_2 . Mezi substrátem source a drain, zaujímá místo gate. Tranzistory MOSFET s indukovaným kanálem se dají rozdělit do dvou skupin.

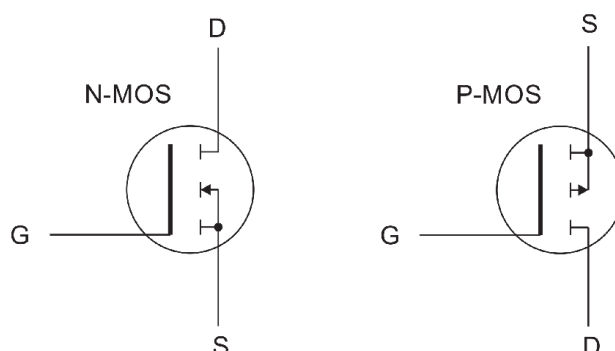
- P-MOS kanál je tvořen mezi substráty typu P
- N-MOS kanál je tvořen mezi substráty typu N



Obr. 3: Princip funkce unipolárních tranzistorů MOSFET typu N s indukovaným kanálem.

Princip je znázorněn pro tranzistor MOSFET s indukovaným kanálem typu N a je vidět na obr.: 3.

Pokud je přiložené napětí mezi elektrodami gate a source rovné nule, je tranzistor v nevodivém stavu. To znamená, že při určitém napětí mezi elektrodami D a S teoreticky neprotéká žádný proud. Ve skutečnosti jimi protéká velice malý proud v řádu nA, tedy zanedbatelný. Postupným zvyšováním napětí mezi elektrodami gate a source U_{GS} , se bude vytvářet vodivá oblast typu N mezi elektrodami D a S, až dojde k vytvoření vodivého kanálu mezi nimi. Schematická značka unipolárního tranzistoru s indukovaným kanálem typu N a P je znázorněn na obr.: 4. [4]



Obr. 4: Schematické značky unipolárních tranzistorů MOSFET.

1.3 Měření teploty

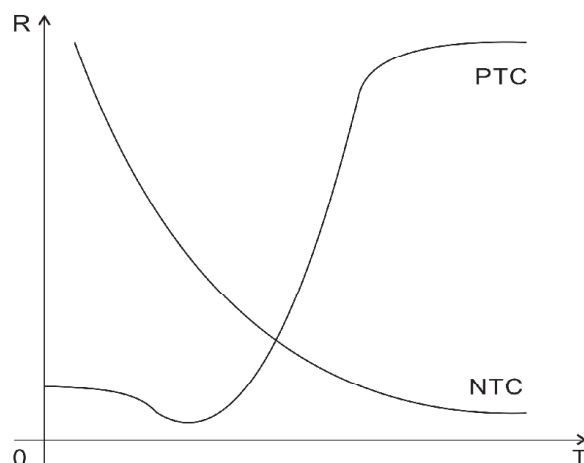
Tato podkapitola uvede čtenáře do základní problematiky měření teploty. Abychom mohli regulovat teplotu je nutné vědět jakou teplotu požadujeme a na jaké teplotě se pohybujeme v daný okamžik. A právě o informaci o skutečné teplotě se stará prvek pro převod teploty na elektricky snímatelnou hodnotu, nejlépe napětí. U čidel, které generují přímo napětí závislé na teplotě okolí není třeba žádných externích obvodů, kromě přímého zesílení poskytovaného napětí daného snímače. Pro měření teploty založeném na základě změny vodivosti, tedy snímače měnící svůj elektrický odpor v závislosti na okolním prostředí, je třeba vnějších obvodů, pro zajištění konstantního proudu. Přesným měřením teploty se dá zajistit i přesná regulace. Existuje mnoho typů principů měření teploty. V této práci ale potřebujeme měřit vyšší teploty, než na které je člověk z běžného života zvyklý. Proto se zaměřím jen na technologie k tomu určené.

1.4 PTC a NTC odporová teplotní čidla

PTC a NTC odporová teplotní čidla nebo-li termistory, jsou nelineární polovodičové součástky s vysokou závislostí změny teploty na jejich odporu. Teplotní koeficient odporu je u některých čidel až pětkrát větší než u kovů, v některých případech až padesátkrát. Z praktického hlediska se využívá právě nelinearita daných prvků k omezení proudů u součástí, které bychom mohli teplem zničit. Dále pak k měření teploty, jako protipožární ochrana a dalších věcí souvisejících s teplotou. Odporové snímače se dají rozdělit do dvou skupin.

- PTC termistory mají nelineární závislost zvyšujícího se odporu na teplotě.
- NTC termistory mají nelineární závislost snižujícího se odporu na teplotě.

Z obrázku 5 je vidět, že ke zpracování této nelinearity je třeba rozsáhlá tabulka hodnot k určitým teplotám. Což klade vyšší nároky na paměť mikroprocesoru a práci s ní. Existují i jiné principy měření teploty. Například pomocí termočlánků.



Obr. 5: Teplotní charakteristiky NTC a PTC termistorů

1.5 Termočláanky

Termočlánek je termoelektrický snímač používaný k přesnému měření teploty. Skládá se ze dvou různorodých kovů, vodivě spojených na jednom konci. Termočlánek přeměňuje diferenci teploty mezi konci vodičů na termoelektrické napětí. Jeho hodnota se pohybuje maximálně v řádu desítek mV. Nedá se s ní pracovat přímo, je třeba ji zesílit. Protože termočláanky mají většinou rozsah měřících teplot mnohem větší než je třeba, lze vhodně zvoleným zesílením docílit velké přesnosti měření měřené soustavy. Pokud si zesílením vybíráme pouze část teplotní charakteristiky, tak ta může být lineární.

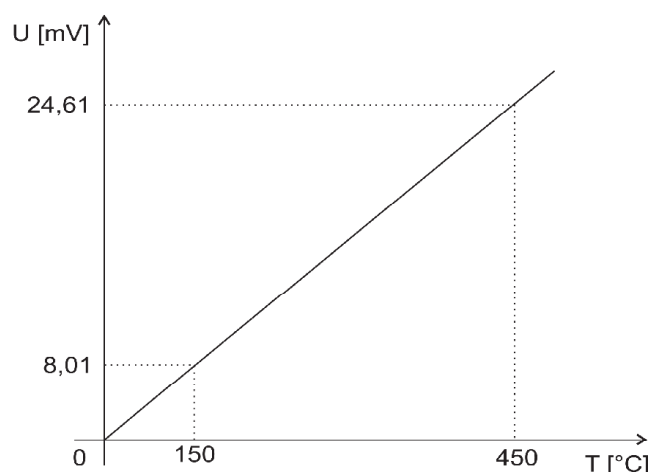
Termočláanky se dají rozdělit do několika normovaných skupin, respektive typů např.: J, K, T, E, N. Jednotlivé typy se liší v použití materiálu a kalibrací na určitý teplotní rozsah dle tabulky 1. Pro náš účel se nejlépe hodí termočlánek typu J s rozsahem teplot

Tabulka 1: Technické označení různých typů termočláanků dle normy IEC 584

kalibrace	teplotní rozsah	materiál
J	0°C až 750°C	Fe-CuNi
K	-200°C až 1250°C	Ni-CrNi
E	-300°C až 900°C	NiCr-CuNi
T	-250°C až 350°C	Cu-CuNi
N	-200°C až 1200°C	NiCrSi-NiSi

uvedeným v tabulce 1. Kde si vybereme pouze část teplotní charakteristiky od 150°C do 450°C a tu následně zesílíme. Na obrázku 6 je vidět, že charakteristika je lineární. Dále je vidět vybraný rozsah teploty s kterou se bude pracovat.

Termočláanky pracují s určitou dobou odezvy, závislé na prostředí ve kterém jsou používané a na typu zapouzdření. Například plášťové termočláankové sondy jsou dostupné

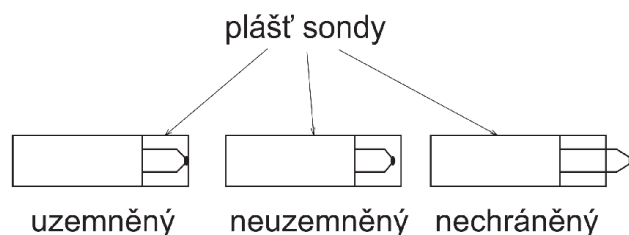


Obr. 6: Část převodní charakteristiky termočlánu typu J

v různých provedeních měřících konců.

- uzemněný
- neuzemněný
- nechráněný

Všechna čidla pracují s určitou dobou odezvy. Doba odezvy je definovaná časová konstanta jako čas potřebný pro snímač, aby při skokové změně teploty dosáhl 63,2% teploty okolí za definovaných podmínek. Pro dosažení 100% je třeba pětinašobku této hodnoty. Nejrychlejší odezvu má nechráněný termočlánekový spoj.



Obr. 7: zakončení sond termočláneků

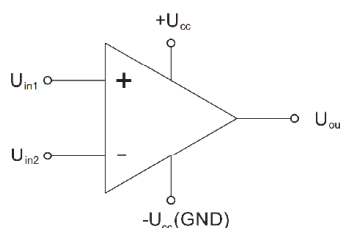
Uzemněný měřící konec má fyzicky spojeny termočlánekové dráty s vnitřní stěnou pláště sondy, což zaručuje velmi dobrý teplotní přenos a zkracuje tak dobu odezvy. Neuzemněný měřící konec má dráty termočlánu izolované od pláště sondy, to způsobí delší dobu odezvy, ale výhodou je galvanické oddělení pláště sondy. Nechráněný měřící konec je bez ochrany, a proto je jeho použití velmi omezené, má však nejkratší dobu odezvy. Jelikož jsem nikde na internetu nenašel dokumentaci od použitého pájecího pera, nevím přesně, jaký typ termočlánu je použit. Proto nemohu bez měření říci kolik mV je u jaké teploty. Z předběžných výsledků, ale termočlánek odpovídá charakteristikám termočlánu typu J. [3]

1.6 Operační zesilovače

Operační zesilovače se v elektrotechnice používají k mnoha aplikacím. Jeho prvotním účelem byly matematické operace jako je sčítání, odčítání, násobení, integrování, derivování v době analogových výpočetních systémů. Mezi základní vlastnosti OZ patří:

- velké zesílení řádově $10^4 \div 10^7$
- velký vstupní odpor
- malý výstupní odpor
- dva souměrné vstupy
 - 1) invertující obrací fázi signálu
 - 2) neinvertující pouze zesiluje signál

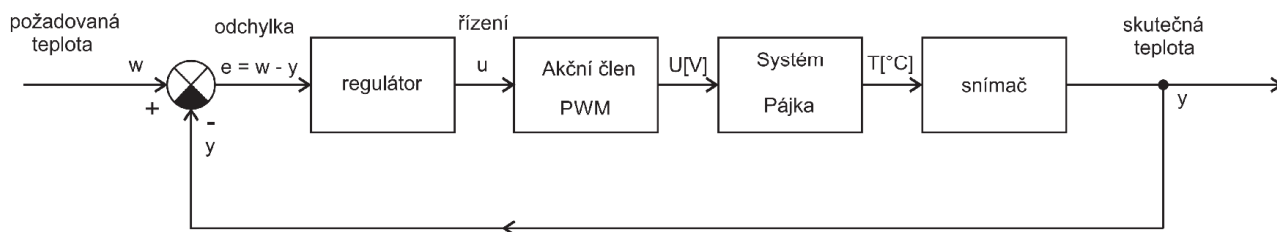
Schematická značka je na obrázku 8. Napájecí vývody se ve schématech většinou nekreslí, dokonce je třeba, při kreslení v některých programech je aktivovat a připojit k napájení. V této práci se budeme zabývat pouze zapojením neinvertujícího zesilovače viz kapitola 3.



Obr. 8: Schematická značka OZ

1.7 Teplotní regulace

Regulace je způsob řízení využívající zpětnou vazbu, tzv.: zpětnovazební řízení. Cílem je zajistit nastavenou hodnotu teploty pájecího hrotu. Tuto hodnotu je třeba udržet nejen při změnách teploty nastavené, ale i při působení poruchových veličin, které působí na řízenou soustavu a mnohdy mají nepředvídatelný charakter, například při pájení velkých ploch s vyšším odvodem tepla. Teplotu hrotu pájecího pera lze regulovat pomocí PI regulátoru, jehož výstupem bude hodnota napětí, kterou bude udržovat PWM. Na obrázku 9 je vidět regulační obvod. Na jeho vstupu je požadavek na teplotu, který je přiveden na diferenční člen společně s teplotou aktuální. Výsledkem je regulační odchylka - informace pro regulátor. Regulátor zpracuje odchylku a výstupem je signál řídicí akční veličinu v našem případě napětí, které má generovat PWM. Systém je připojen na akční člen a snímač teploty.



Obr. 9: Regulační obvod

1.7.1 návrh PI regulátoru

Písmeno P ve zkratce PI vyjadřuje proporcionální složku regulátoru. Regulátor nejprve odečte regulační odchylku, rozdíl požadované a aktuální teploty a vynásobí jí konstantou. Vztah pro regulační odchylku v čase:

$$e(t) = w(t) - y(t) \quad (2)$$

kde: e_t regulační odchylka,
 w_t žádaná veličina - nastavená teplota,
 $y(t)$ skutečná hodnota - změřená teplota.

Výsledkem je výkon, jaký bude dodáván do topného tělesa páječky. Pokud bude odchylka velká, aktuální teplota bude mnohem nižší než nastavená, bude požadavek na výkon od regulátoru maximální. Pokud se teploty budou lišit minimálně, požadavek na výkon bude také minimální. Čím menší bude odchylka, tím menší bude požadavek na výkon. Za předpokladu, že se teploty vyrovnají, požadavek na výkon bude nulový. Samotný P regulátor, ale pracuje s trvalou regulační odchylkou od požadované hodnoty, což je nežádoucí. Proto se ještě přidává integrační složka, která systém doreguluje na požadovanou hodnotu. Rovnice vyjadřující velikost proporcionální složky:

$$u(t) = K_{(r)} \cdot e(t) \quad (3)$$

kde: u_t řízení,
 $K_{(r)}$ zesílení regulátoru,

Druhou částí regulátoru je integrační člen. Ten vezme odchylku vynásobí jí konstantou a přičte ji ke své složce. To znamená, že pokud bude regulační odchylka větší než nula, bude se integrační složka PI regulátoru zvyšovat. Pokud bude aktuální teplota vyšší než požadovaná, bude se integrační složka snižovat. Čím bude odchylka větší, tím rychleji se bude integrační složka měnit. Pokud by byla zapnutá pouze integrační složka regulátoru, nejprve by počáteční výkon dodávaný do topného tělesa malý. Postupně by se zvyšoval, až do doby překročení teploty nastavené. Od této chvíle se výkon začne zase

snižovat. Po ustálení na požadované hodnotě teploty se dodávaný výkon dostane na hodnotu jakou se páječka ochlazuje vlivem vnějšího prostředí. Při optimálním nastavení konstanty pro integrační složku se regulovaná veličina bude chovat tak, že jednou překmitne požadovanou hodnotu, a pak se na ní ustálí. Rovnice integračního členu:

$$u(t) = \frac{K_r}{T_i} \int e(t) dt \quad (4)$$

kde: T_i konstanta integrační složky regulátoru.

PI regulátor je součtem dvou výše uvedených součástí, je tedy v časové oblasti popsán rovnicí:

$$u(t) = K_r \left\{ w(t) - y(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t (w(x) - y(x)) dx \right\} \quad (5)$$

Jelikož pracujeme v číslicové oblasti musíme spojitý řídicí algoritmus převést na diskrétní výpočet v k -tém regulačním kroku:

$$u_{(kT)} = K_r \left\{ w_{(kT)} - y_{(kT)} + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^{k-1} (w_{(iT)} - y_{(iT)}) \right\} \quad (6)$$

kde: $u_{(kT)}$ řízení v kroku k ,
 T perioda vzorkování.

Tento algoritmus je nerekurzivní, to znamená, že by si musel pamatovat celý vývoj regulační odchylky, což je z hlediska nároků na paměť, v reálném čase neproveditelné. Pokud bychom vyčíslili diferenci řízení regulátoru, můžeme další krok regulace počítat pomocí znalosti předchozího řízení a předchozí regulační odchylky. Rovnice pro diferenční řízení by vypadala takto:

$$\Delta u_{(kT)} = u_{(kT)} - u_{((k-1)T)} \quad (7)$$

kde: $\Delta u_{(kT)}$ diferenční řízení,
 $u_{((k-1)T)}$ řízení v předchozím kroku.

Abychom mohli dosadit do rovnice (7), musíme znát předchozí krok regulace.

$$u_{((k-1)T)} = K_r \left\{ w_{(kT)} - y_{(kT)} + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^{k-2} (w_{(iT)} - y_{(iT)}) \right\} \quad (8)$$

Po dosazení a úpravě sumy:

$$\Delta u_{(kT)} = K_r \left\{ w_{(kT)} - y_{(kT)} - w_{((k-1)T)} + y_{((k-1)T)} + \frac{T}{T_i} [w_{(k-1)T} - y_{(k-1)T}] \right\} \quad (9)$$

dosazení regulační odchylky z rovnice (2):

$$\Delta u_{(kT)} = K_r \left\{ e_{(kT)} - e_{((k-1)T)} + \frac{T}{T_i} [e_{((k-1)T)}] \right\} \quad (10)$$

Nyní si můžeme vyjádřit řízení z rovnice (7) pro diferenční řízení a dosadit do ní:

$$u_{(kT)} = \Delta u_{(kT)} + u_{((k-1)T)} \quad (11)$$

$$u_{(kT)} = K_r \left\{ e_{(kT)} - e_{((k-1)T)} + \frac{T}{T_i} [e_{((k-1)T)}] \right\} \quad (12)$$

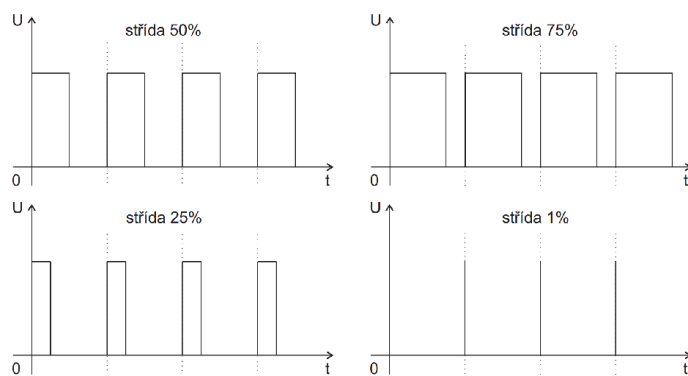
Výsledný požadavek na řízení v kroku k je pak:

$$u_{(kT)} = K_r \left\{ e_{(kT)} + e_{((k-1)T)} \left(\frac{T}{T_i} - 1 \right) \right\} \quad (13)$$

Tato rovnice ale může nabývat i záporných hodnot. V případě regulace teploty pájecího pera to je nesmysl, nemůžeme žádným možným elektrickým výkonem snížit teplotu pájecího hrotu. Proto pokud vyjde hodnota řízení z regulátoru záporná, nastaví se rovna 0. Další případ je, že tyto vztahy nepočítají s žádným výkonovým omezením. Proto by při vysoké regulační odchylce, kdy je teplota požadovaná ostře větší než skutečná, byl požadavek řízení nekonečný. Proto se musí ošetřit mez saturace a nastavit konstanty regulátoru tak, aby výstupem byl procentuální dodávaný výkon do pájky. [5], [7], [8]

1.7.2 Pulsně šířková modulace

Pulsně šířková modulace PWM z anglického Pulse Width Modulation, je diskrétní dvoustavový signál s pevně danou periodou. Mění se pouze doby vysoké a nízké úrovně. To znamená, že součet času logické jedničky t_H a času logické nuly t_L je vždy stejný a roven právě periodě T . Výstup PWM modulace může nabývat hodnot od 0% do 100% ze spínaného napětí. Hovoříme zde o střídě signálu, která vyjadřuje poměr mezi dobou vysoké a nízké úrovně. Může se vyjadřovat v procentech, kde většinou procento vyjadřuje dobu trvání vysoké úrovně. Nebo se vyjadřuje jako poměr vysoké a nízké úrovně. Například střída 1:1 je úměrná 50%, střída 1:2 je úměrná 33%.

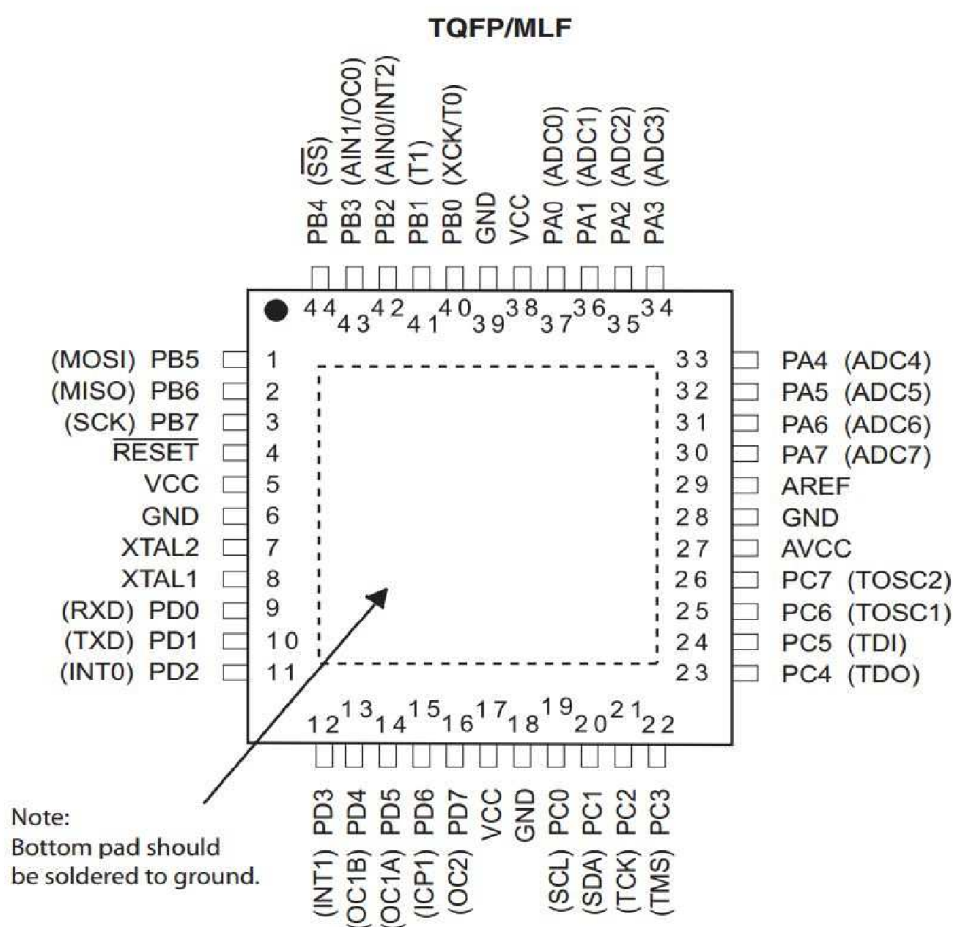


Obr. 10: Příklady různých stříd PWM

PWM výstup se dá realizovat v procesoru pomocí integrovaného modulu.

2 Mikroprocesor ATMEGA32A

ATmega32A je nízkopříkonový 8-bitový mikroprocesor postavený na AVR rozšířené RISC architektuře. Na každý hodinový cyklus dokáže zpracovat jakoukoliv instrukci. Dosahuje tedy konstantní rychlosti zpracování 1 MIPS na MHz. Jádru rodiny Atmel AVR kombinuje bohatou instrukční sadu s 32 bitovým hlavním propustným pracovním registrem. Všechny 32 bitové registry jsou přímo přivedeny na ALU, což umožňuje zpřístupnit dva nezávislé registry v jedné jednoduché instrukci zpracované za jeden hodinový cyklus. Mikroprocesor ATmega32A obsahuje 32 kB systémové programové paměti Flash přepsatelné 10000 krát. 1024 B paměti EEPROM přepsatelné 100000 krát. Dále obsahuje 2 kB paměti SRAM, 32 programovatelných I/O pinů, osm kanálů 10-bitových A/D převodníků, tři časovače nebo čítače s porovnávacím režimem a generací PWM, vnitřní i vnější přerušení, SPI sériovou komunikaci. Napájecí napětí může být zvoleno od 3,3 V do 5 V. Krystalový oscilátor připojitelný na piny XTAL1 a XTAL2 až o frekvenci 16MHz. [1]



Obr. 11: Situování vývodů na procesoru ATmega32A v SMD provedení. [1]

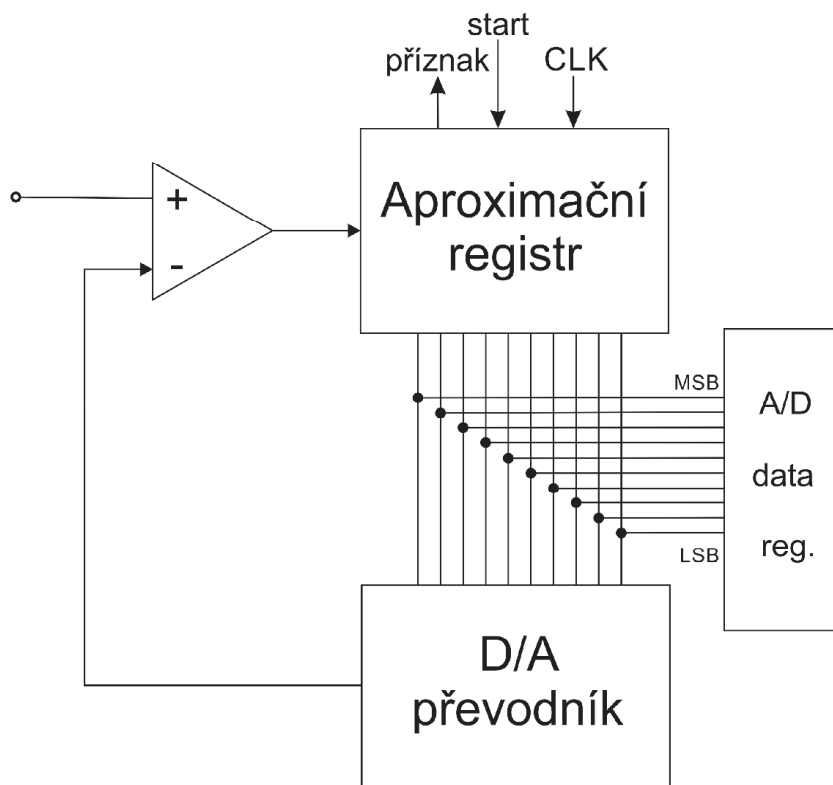
2.1 A/D převodník

Pro převod údaje o teplotě z pájecího pera, do podoby srozumitelné pro mikroprocesor, je třeba zesílit napětí termočlánku a po té převést na číselnou hodnotu pomocí A/D převodníku. Mikročip ATMEGA32A obsahuje 10 bitový A/D převodník s postupnou aproximací.

10 bitový znamená, že hodnota napětí na vstupu A/D převodníku bude převedena s přesností na $2^{10} = 1024$ vzorků. Při maximální hodnotě 5 V bude maximální rozlišení A/D převodníku $5/1024 = 4,88 \text{ mV}$. Tomuto rozlišení, při maximální teplotě 450°C , odpovídá přesnost 0.44°C .

2.1.1 A/D převodník s postupnou aproximací

Základními součástmi A/D převodníku s postupnou aproximací jsou komparátor, D/A převodník a aproximační registr. Po začátku převodu se nastaví v aproximačním registru nejvyšší řád na log. 1, to znamená na polovinu rozsahu A/D převodníku. Číslo je pak převedeno na napětí v D/A převodníku a to je přivedeno na komparátor. Na druhý vstup komparátoru je přivedeno převáděné analogové napětí. Pokud je převáděné napětí menší,



Obr. 12: Blokové schéma A/D převodníku s postupnou aproximací

než napětí z D/A převodníku pak na výstupu komparátoru je log. 0, to znamená, že od-

had neboli aproximace byla nadhodnocena. Do nejvyššího bitu aproximačního registru se přepíše stav komparátoru v našem případě log. 0. Dále se celý proces opakuje, dokud se nepřiblíží touto metodou až k požadované hodnotě. Celý proces je řízen pomocí hodinového signálu. Po skončení převodu se nastaví příslušný příznak, že data z A/D převodu jsou zapsána do datového registru A/D převodníku. Ten je rozdělen na dva 8 bitové registry v případě 10 bitového rozlišení ADCH a ADCL. Po konci převodu se nastaví příznak v registru ADCR. Pokud je nastaveno, vyvolá se přerušení, kde se z datového registru vyčte změřená hodnota, příznak o převodu a přerušení se vynuluje automaticky po vyčtení datového registru. Doba převodu je stálá, závisí na frekvenci hodinového signálu, který se dá nastavit pomocí před-děličky.

2.2 Časovače

V mikroprocesoru lze využívat různé časovače a čítače. Tyto slouží pro přesné měření nebo nastavení časových intervalů. Pro každý z nich se dá nastavit před-dělička hodinového signálu v rozmezí $0 \div 1024$. Všechny časovače konkrétního mikroprocesoru umožňují generaci PWM signálu na vybraných výstupech procesoru. Tyto si nemůže definovat uživatel sám, jsou určeny výrobcem. Proto je už při návrhu DPS nutné vědět, na který výstup budeme PWM generovat. I pro generaci PWM signálu je možné nastavit před-děličku hodinového signálu. V této práci je použitý v režimu PWM timer/counter2. Generace PWM funguje tak, že do porovnávacího registru OCR2 se zapíše hodnota od 0 do 255, záleží na požadavku výstupního napětí. Čítač 2 čítá hodnotu pořád dokola. Když přeteče, vynuluje se a čítá zase od 0. Když je registr čítače TNCT2 stejně veliký jako OCR2 tak se změní stav výstupního pinu PWM, označený jako OC2. Po přetečení registru TCNT2 se OC2, změní zase zpět. Jak se změní se dá nastavit pomocí registru TCCR2. Perioda T PWM, je závislá na nastavení před-děličky čítače a frekvenci výstupního hodinového signálu. Střída je pak závislá na velikosti porovnávacího registru OC2. Maximální rozlišení daného PWM je 1:255, v procentech 0,39%. [1]

2.3 Externí přerušení

Pro okamžitou reakci na vnější signál se používají externí přerušení. U těchto přerušení se dají nastavit různé režimy reakce. Vyvolat přerušení lze pomocí jakékoliv změny na vstupu nebo pomocí náběžné a sestupné hrany signálu. Poslední dvě zmíněné možnosti umožňují elegantně indikovat otočení n-kodéru. N-kodér je elektronická součástka vypadající jako potenciometr avšak jeho funkce je naprosto odlišná. Jeho otáčením se generují pulzy na dvou vývodech vzájemně fázově posunuté o 90° . V této práci jsou použita dvě externí přerušení a to od INT1 a INT0. Oba vývody jsou připojeny

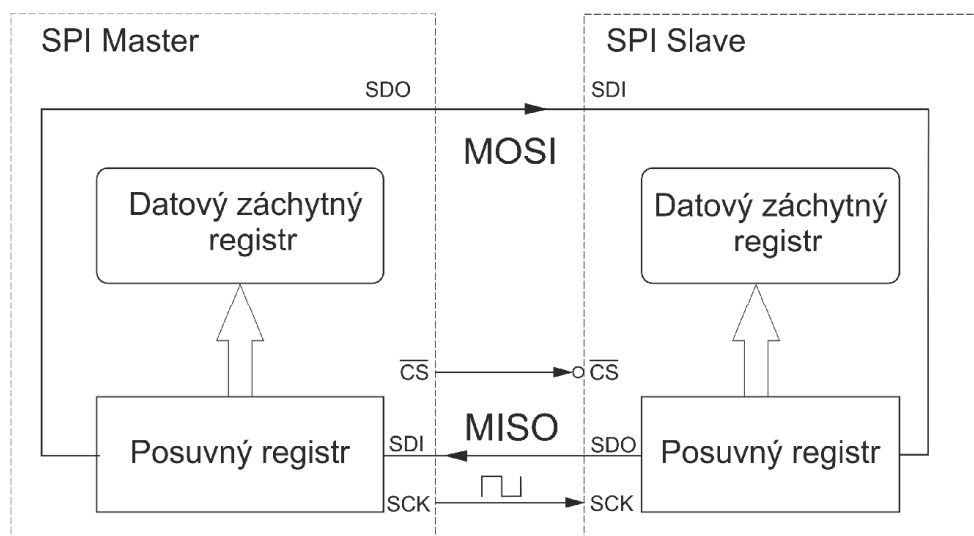
k n-kodéru, kterým se nastavuje požadovaná teplota. Musí se zde měřit hodnota druhého signálu při náběžné nebo sestupné hraně signálu prvního. Což se dá realizovat právě externím přerušením. [1]

2.4 SPI komunikace

Tato kapitola pojednává o sériovém rozhraní SPI. SPI je sériové periferní rozhraní, používané ke komunikaci mezi mikrořadiči. Zařízení, které vysílá data a vybírá zařízení, které bude naslouchat se nazývá master, naslouchající zařízení pak slave.

2.4.1 Princip činnosti sběrnice SPI

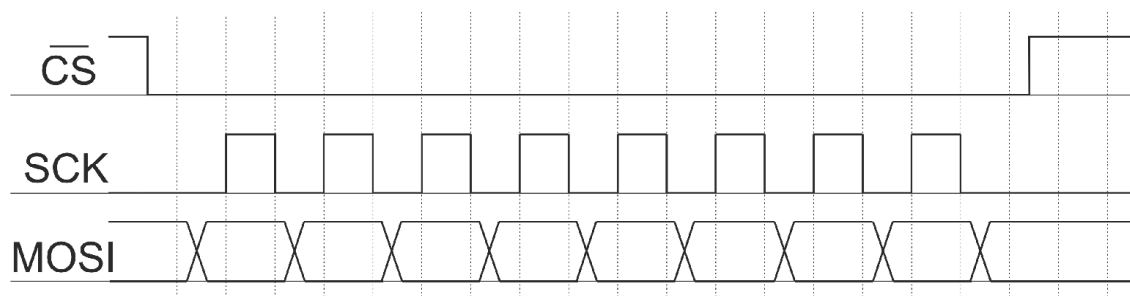
Na obr.: 13 je znázorněno propojení dvou objektů. Na sběrnici může být současně připojeno i více zařízení, pro jednoduchost jsou znázorněna pouze dvě. Jedno zařízení musí být ve funkci master a druhé ve funkci slave. Jak už z anglického významu slov vyplývá, master (mistr) řídí a slave (otrok) poslouchá. Na sběrnici může být vždy jen jeden master. Oba prvky obsahují v nejjednodušším případě posuvný registr (SR) a vstupní



Obr. 13: Princip sběrnice SPI

sériový zásobník(SIB). Do registru SR je zapsán jeden byte, který byl správně přijat, ale pořad nebyl zpracován mikrořadičem. Registr SR slouží jako jednoprvková fronta k současnému příjmu a vyslání jednoho bitu z celého bytu, tzn.: z pohledu mastera se jeden bit vyšle na pinu SDO a zároveň jeden přijme na pinu SDI. Logická hodnota přijata na pinu SDI je zapsaná na LSB registru SR. Vysílání a příjem jednoho bitu tak probíhá současně. Zařízení, které pracuje v režimu master generuje hodinový signál, který je přenášen vodičem SCK a vybírá si zařízení, se kterým komunikuje vodičem CS. Pomocí hodinových pulsů je prováděna synchronizace přenosu dat obr.: 14.

Pokud je na sběrnici připojeno více zařízení, musí master vybírat vždy právě jedno, se kterým bude komunikovat, pomocí dalšího fyzického spoje. Taková komunikace má výhodu v rychlosti. Nevýhodou je situace pokud požadujeme připojení mnoha zařízení, roste počet vytížených pinů a vodičů. [6]



Obr. 14: Časový diagram sběrnice SPI

3 Hardwarové řešení

Tato kapitola pojednává o konkrétních použitých zapojení pájecí stanice. Popíše zde jednotlivé bloky, jak jsou zapojeny přímo na desce plošného spoje.

3.1 Napájení řídicí elektroniky

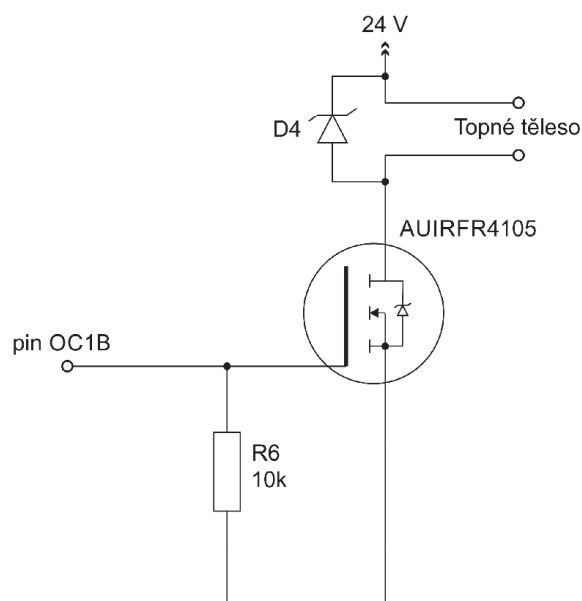
Pro napájení řídicí elektroniky a displeje je navinuto na toroidním transformátoru pomocné vinutí. Výstupní napětím na tomto vinutí je efektivní střídavá hodnota 7 V AC. Po usměrnění a odfiltrování se tato hodnota změní na 8 V DC. To stačí k pokrytí vnitřních ztrát na integrovaném lineárním stabilizátoru řady 7805, použitým kvůli stabilizaci napětí na 5 V pro mikroprocesor, operační zesilovač a podsvícení displeje. Dále je do série přes vyhlazovací kondenzátory připojen LDO stabilizátor LF33 s výstupním napětím 3,3 V pro napájení displeje.

3.2 Napájení pájecího pera

Jako zdroj energie pro ohřev topného tělesa pájecího pera, je použitý toroidní transformátor s efektivním napětím na sekundárním vinutí 17 V a výkonem 100 VA. Nejprve se střídavé napětí na výstupu transformátoru usměrní. Je použit Gratzův můstkový usměrňovač, tím jsou využity obě půlvlny střídavého napětí. Po usměrnění se napětí vyhladí kondenzátory o celkové kapacitě 6,9 mF. Výstupní stejnosměrná hodnota změřená při nulovém zatížení je 25 V, což odpovídá vynásobením efektivní hodnoty střídavého napětí na vstupu usměrňovače konstantou $\sqrt{2}$, tedy maximální hodnotě střídavého napětí transformátoru. Topné těleso pájecího pera je dimenzováno na napětí 24 V, o výkonu 60 W. To umožňuje velice rychlý ohřev na požadovanou teplotu. Abychom dosáhli jmenovitého napětí a výkonu topného tělesa, je třeba tuto hodnotu regulovat. O to se stará mikroprocesor softwarově pomocí PWM modulace, kterou řídí PI regulátor. Obvod pro spínání je popsán v další podkapitole.

3.2.1 Obvod pro spínání topného tělesa

Pro sepnutí velkých výkonů v elektronice se používají unipolární tranzistory, s velice nízkým statickým odporem mezi drain a source v sepnutém stavu. Tato hodnota je v katalogovém listu označena R_{DS} . Její velikost u použitého tranzistoru AUIRFR4105 při napětí $U_{GS} = 10 V$ je $R_{DS} = 5.5 m\Omega$. S porovnáním jiných podobných tranzistorů MOSFET je až desetinásobně nižší. Tento tranzistor byl navržen pro náročné aplikace v automobilovém průmyslu. Zapojení tranzistoru je vidět na obrázku: 15.

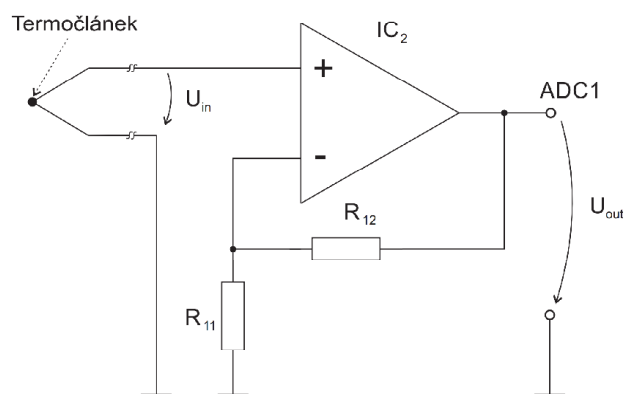


Obr. 15: Zapojení spínacího obvodu s tranzistorem AUIRFR4105

Topné těleso je trvale připojeno na kladnou svorku napětí, jeho druhý vývod je připojen na drain tranzistoru, source je uzemněn. Gate je připojen přes odpor na výstupní pin procesoru PC4. Pokud bude na výstupu pinu log. 1 tranzistor sepne, když se gate přes PC4 uzemní, tranzistor se rozezne. Minimální udržovací napětí v sepnutém stavu je 2 V.

3.3 Obvod pro převod napětí termočlánek

Jelikož výstupní hodnota termočlánek dosahuje maximálně $20mV$ při $450^{\circ}C$, je třeba tuto zesílit. Pro tento účel postačí obyčejný operační zesilovač zapojený jako neinvertující. Zesílení je nastaveno na hodnotu 200. Při maximální hodnotě teploty jsou na výstupu operačního zesilovače 4 V. Tento výstup je přiveden přímo na A/D převodník integrovaný v mikroprocesoru. Zapojení neinvertujícího zesilovače je znázorněno na obr.: 16. Rezistor R_{12} funguje jako záporná zpětná vazba. Přivádí zpět část výstupního



Obr. 16: Zapojení OZ pro zesílení napětí z termočlánek.

napětí na invertující vstup. Maximální hodnota výstupního napětí je daná napájecím napětím a zesílením OZ. Vstupní napětí U_{in} se bude pohybovat v rozmezí od $1mV$ do $25mV$. To jsou hodnoty, které generuje termočlánek v závislosti na teplotě. Ty jsou pro mikroprocesor třeba zesílit na úroveň od $0V$ do $5V$. Napájecí vývody OZ se většinou nekreslí, bere se to za samozřejmost, v našem případě to je $+5V$ proti zemi. Maximální výstupní napětí OZ je $U_o = 5V$ při $U_{in} = 0.025V$. Tento poměr nám určuje zesílení OZ ke kterému se chceme dopracovat.

Z rovnice (14) plyne, že zesílení, jaké budeme potřebovat bude mít hodnotu 200. Pro neinvertující OZ dále platí vztah:

$$A_u = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{5}{0,025} = 200, \quad (14)$$

kde: A_u zesílení OZ,
 U_{out} ... výstupní napětí OZ,
 U_{in} vstupní napětí OZ - napětí termočlátku.

Už známe zesílení, abychom mohli spočítat jednotlivé rezistory, pak si za jeden z nich zvolíme hodnotu např.: $R_{11} = 180 \Omega$. Po dosazení a vyjádření z rovnice (15), dostáváme:

$$A_u = 1 + \frac{R_{12}}{R_{11}} \quad (15)$$

po úpravě a dosazení:

$$R_{12} = (A_u - 1)R_{11} = (200 - 1)180 = 35,82k\Omega \quad (16)$$

V řadě E24 je nejbližší hodnota $36 k\Omega$, tedy $R_{12} = 36 k\Omega$.

3.4 Displej EA DOGL128B–6

Grafický LCD displej EA DOGL128B–6 na obr.: 17 má rozlišení 128×64 pixelů. To dostačuje pro přehledné zobrazení potřebných dat pro vizualizaci informací o stavu pájecího zařízení. Typická spotřeba displeje je $320\mu A$. Výška displeje bez podsvícení je $2,8 mm$, s podsvícením pak $6,5 mm$. Velikost zobrazovací plochy je $64 \times 34 mm$ z celkové velikosti $68 \times 51mm$.

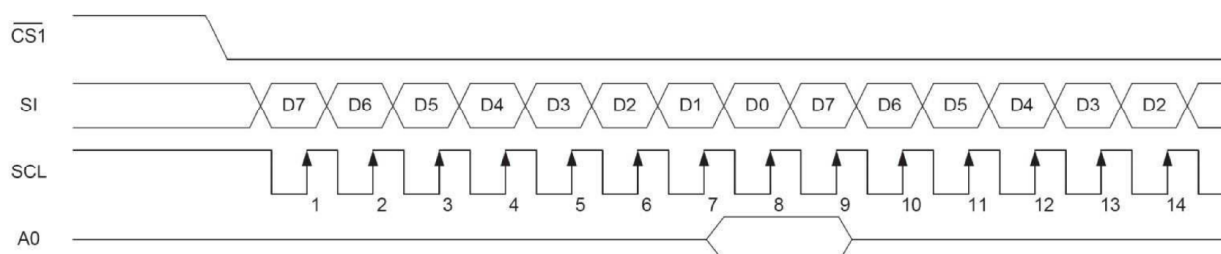
Displej s mikroprocesorem přijímá data pomocí SPI sériové komunikace. Datový přenos je pouze jednosměrný. To znamená, že data mohou být pouze zapisována, procesor si nemůže vyčíst stav displeje. Časový komunikační diagram pro displej je znázorněn na obr.: 18.

Signál aktivní v nule $\overline{CS1}$ nastaví povolení k příjmu dat. Hodinový signál SCL generuje master. Displej reaguje na náběžnou hranu hodin. Na vstupu SI jsou přijímána



Obr. 17: Displej EA DOGL128B-6 s bílým podsvícením [2]

data od mikroprocesoru. Signálem A0 říkáme displeji zda jde o data k zobrazení, která se mají uložit do paměti RAM, nebo o příkaz. Příkazem se myslí např. adresa, kam se budou data zapisovat po nahození signálu A0 nebo jak je displej zapnutý/vypnutý, atd.. Adresace RAM paměti je organizována do osmi řádků. Každý řádek má 128 sloupců po osmi bitech. Pro zapsání znaku na displej je nutné nastavit počátek sloupce a řádku, tzn.: hodnoty $0 \div 7$ pro řádky a $0 \div 127$ pro sloupce. [2]



Obr. 18: Komunikační časový diagram displeje EA DOGL128B-6 [2]

4 Program

Tato kapitola bude pojednávat o programu vytvořeném pro regulaci, nastavení a vizualizaci teploty nastavené a skutečné. Zmíním, jak se zapisují data na display, ovládání zařízení a samotnou regulaci teploty pájecího pera.

4.1 Vizualizace

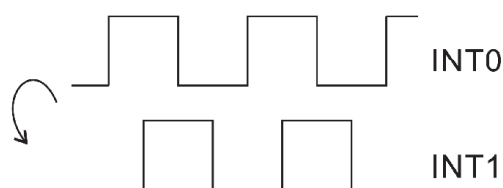
Zobrazení je realizováno pomocí grafického LCD displeje DOGL128B-6. Komunikace s displejem probíhá přes SPI rozhraní. Je pouze jednosměrná, to znamená, že procesor vysílá po SPI pouze data nebo příkazy, ale nemůže nic vyčíst. Při každém spuštění je nutné display inicializovat. V inicializaci displeje se nastavuje počáteční adresa paměti RAM, to je paměť, ze které se displej obnovuje. Dále se nastavuje, zda se budou pixely vykreslovat nebo zhasínat. Nakonec se displej pomocí příkazu zapne. Každá funkce pro vykreslování má vstupní argumenty, jsou to: číslo řádku, poloha na řádku a nakonec samotná data pro zobrazení. Pro funkci vykreslení textu je to text, a pro číslice číslo. Text je uložen v paměti jako pole obsahující jednotlivé znaky. Číslice jsou uloženy jako proměnné typu unsigned int. Na prvním řádku displeje je grafické znázornění PWM signálu spínajícího tranzistor. Hned za tím je to ještě na stejném řádku procentuálně vyčíslené, tento údaj vypovídá o výkonu, jakým je pájka udržována na dané teplotě. Pod tímto jsou dva textové řádky, které jsou statické a nemění se. Slouží k popisu zobrazovaných číselných údajů. Uprostřed prvního z nich je teplota, na druhém je vypsáno: nastavená a aktuální. Pod tím je řádek s hodnotami těchto dvou parametrů. Pro lepší přehled je vypsána ještě difference (rozdíl) těchto dvou hodnot na řádku pod nimi. Na předposledním řádku je text: pamatované hodnoty. Na posledním jsou vypsány čtyři pamatované hodnoty číselně.



Obr. 19: Zobrazení informací na displeji DOGL128B-6

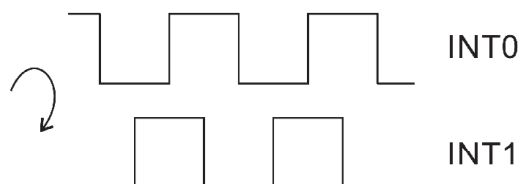
4.2 Obsluha n-koderu

N-kodér je mechanická spínací součástka. Jejímž výstupem jsou dva diskretní signály vzájemně posunuté o 90° závisle na směru otáčení. Signál připojený na pin procesoru INT0 vyvolá přerušení v době náběžné hrany. V obsluze tohoto přerušení se zakáže vyvolání přerušení od vstupu INT1 a přečte se na něm hodnota. Pokud bude vyčtená hodnota v logické 1, směr otáčení je doleva, pokud bude vyčtena hodnota opačná i směr je opačný. Signál připojený k INT1 je nastaven pro vyvolání přerušení v době sestupné hrany. Jeho



Obr. 20: Časový průběh na pinech INT0 a INT1 při otáčení doleva

obsluha zakáže přerušení od INT0 a čte signál přivedený na vstup INT0. Rozeznání směru otáčení zase závisí na přečtené hodnotě na vstupu INT0 během sestupné hrany signálu INT1. Pro indikaci správného přečtení a změny nastavené teploty slouží kromě hodnoty na displeji také dvě LED diody pod n-kodérem. Zákmity signálů a bliknutí LED kontrolky pod n-kodérem je realizováno pomocí časovače TIMER0.



Obr. 21: Časový průběh na pinech INT0 a INT1 při otáčení doprava

4.3 Měření teploty

Abychom mohli regulovat teplotu, potřebujeme znát požadovanou a aktuální hodnotu teploty. Požadovanou hodnotu teploty si nastaví uživatel, pomocí n-kodéru nebo přednastavených hodnot v paměti. Skutečnou hodnotu si musí systém změřit sám. Protože napětí které se bude převádět na termočlánek je malé v řádu desítek mV. Jelikož mají termočlánek a výkonný obvod společnou zem a vodiče termočlánek a topného tělesa jsou v těsné blízkosti, měřené napětí by nebylo přesné. Abychom měření nezatěžovali chybou, když bude sepnuté topné těleso a v těsné blízkosti vodiče napětí termočláneku poteče velký spínaný proud vodičem k topnému tělesu, bude se teplota měřit pouze v době, kdy nebude tranzistor sepnut. To znamená, že se musí vypnout na daný moment generování PWM na

výstupu OC2. O samotnou digitalizaci napětí termočládku zesílené 200x se stará A/D převodník. Na jeho vstupu může být napětí od 0 V do 5 V. Při deseti bitové přesnosti je to rozlišení 4,8 mV. A/D převod je rozdělen do dvou registrů ADCH a ADCL. v dokumentaci je psáno, že je nejprve nutné vyčíst registr ADCH kde jsou první dva bity s nejvyšší hodnotou až pak je možné načítat hodnotu z ADCL. Tyto dva registry jsou osmi bitové, proto se v programu nahrají do šestnácti bitové proměnné typu unsigned int. Měření teploty probíhá opakovaně padesátkrát za sebou, tato měření se sčítají do proměnné unsigned int jejíž maximální hodnota je 65535. To dostačuje k sečtení padesáti maximálních hodnot 450 °C (22500) s dostatečnou rezervou. Po načítání padesáti měřených hodnot se jejich součet vydělí padesáti a dostaneme výslednou teplotu. Aritmetický průměr více hodnot se zde provádí z důvodu odrušení chyby na vstupu A/D převodníku.

4.4 Regulace

Jak bylo psáno v podkapitole 1.7.1 o PI regulátoru, stačí nám k realizaci PI regulace znát tři hodnoty.

- požadovanou veličinu
- aktuální stav požadované veličiny
- stav aktuální veličiny v předchozím kroku $k - 1$

Z těchto tří veličin si dokážeme spočítat regulační odchylku a z té pak řízení akční veličiny regulátorem. Funkce PI regulátoru proběhne po každém zprůměrování měřené veličiny. Právě tato doba udává periodu vzorkování T . Na začátku se vypočítá regulační odchylka v kroku e_{kT} . Z této hodnoty se vypočítá první požadavek na řízení $u_k T$. Protože jde o první regulační krok jsou všechny hodnoty v kroku $k - 1$ rovny nule. To znamená, že požadavek na řízení ovlivní pouze proporcionální složka. Dále se ve funkci uloží všechny veličiny v kroku k do kroku $k - 1$. To zajistí, že v další periodě měření už budeme mít k dispozici hodnotu v kroku $k - 1$ a regulátor bude schopen doregulovat požadovanou veličinu bez trvalé odchylky. Nastavení konstant K_r a T_i probíhalo metodou pokus omyl. Simulací celého systému například v program MATLAB SIMULINK bychom byli schopni dosáhnout mnohem přesnějších hodnot regulace. To by ovšem samo o sobě mělo rozsah samostatné bakalářské práce.

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a posléze sestavit funkční prototyp elektronické pájecí stanice. Návrh zařízení byl koncipován na tři samostatné DPS. První z nich je osazena displejem a ovládacími prvky. Ze spodní strany první desky je připojena řídicí destička s mikroprocesorem pomocí 4 šesti pinových konektorů. Třetí a poslední DPS je koncipována jako napájecí, je osazena lineárními stabilizátory 5V a 3,3V, obvodem pro převod napětí termočlánek a napájecím zdrojem pájecího pera.

Při realizaci prototypu se vyskytly určité problémy, které vyplývaly z právě navržených řešení. Tranzistor AUIRFR4105, který spíná topné těleso, se při spínání 5 V plně neotevře a vykazuje známky přehřívání. Nicméně se dokáže dostatečně uchládit o polygon, na kterém je připájen. Navrhuji proto změnit zapojení tranzistoru jak je vidět na obrázku v příloze C1 a spínat ho tak vyšším napětím. Dále je měřená hodnota zatížena šumem od spínání topného tělesa, i když se měří v době vypnutého signálu PWM. Bylo by tedy vhodné galvanicky oddělit potenciál země řídicí elektroniky a výkonového obvodu. To ze strany vysokého napětí umožňuje pomocné vinutí pro elektroniku. Ze strany mikroprocesoru se dá použít optočlen.

Teplota pájecího hrotu je regulována pomocí naprogramovaného PI regulátoru s přesností $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ v celém rozsahu pájecích teplot. K přibližnému prvotnímu nastavení teploty jsem použil kvalitní cínovou pájku Sn60Pb40 se známou teplotou tavení $190\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento postup kalibrace teploty dostačuje, jelikož je údaj o teplotě pájení spíše informativní. Uživatel se na různé podmínky práce s pájkou naučí hodnoty přizpůsobovat dle chování zařízení. Teplota byla také pro kontrolu změřena kalibrovanou IR kamerou. Konstanty regulátoru jsou řešeny pouze metodou odhadu, a doladěné odzkoušením. Při prvním ohřevu teplota výrazně překmitne nastavenou hodnotu. Je to dáno samotným PI regulátorem a také dopravním zpožděním tepelného výkonu z keramického tělesa na hrot pájecího pera. Po ochlazení na požadovanou teplotu začne pracovat PI regulátor a teplota se ustálí na požadované hodnotě. Kvůli dopravnímu zpoždění tak ale nenastává okamžitě. To by se dalo zlepšit přidáním derivační složky regulátoru, která by zvýšila dynamiku systému. Dopravní zpoždění by dokázalo eliminovat také zavedení tzv.: Smithova prediktora. Ten přidává do systému kladnou zpětnou vazbu, v níž je obsažen model řízeného procesu. Avšak to už jsou velice složité algoritmy, jejichž odvození by bylo nad rámec této práce i nad možnosti použitého mikroprocesoru.

Ovládání teploty s krokem $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pomocí n-kodéru je uživatelsky pohodlné a vizualizace realizovaná pomocí bílého grafického LCD displeje, je přehledná a plně dostačující. Jako pokračování v tomto bodě, bych doporučil umožnit uživateli přepínání mezi různými styly zobrazení na displeji. Zařízení bude v budoucnu zabudované do kovové krabičky a bude navržena nová zdrojová DPS, již s galvanickým oddělením napájecího obvodu

pájecího pera a s novým obvodem pro spínání tranzistoru.

Seznam obrázků

1	Gratzův usměrňovač	12
2	Schematické značky bipolárních tranzistorů.	13
3	Princip funkce unipolárních tranzistorů MOSFET typu N s indukovaným kanálem.	14
4	Schematické značky unipolárních tranzistorů MOSFET.	15
5	Teplotní charakteristiky NTC a PTC termistorů	16
6	Část převodní charakteristiky termočlánku typu J	17
7	zakončení sond termočlánků	17
8	Schematická značka OZ	18
9	Regulační obvod	19
10	Příklady různých stříd PWM	22
11	Situování vývodů na procesoru ATmega32A v SMD provedení. [1]	23
12	Blokové schéma A/D převodníku s postupnou aproximací	24
13	Princip sběrnice SPI	26
14	Časový diagram sběrnice SPI	27
15	Zapojení spínacího obvodu s tranzistorem AUIRFR4105	29
16	Zapojení OZ pro zesílení napětí z termočlánku.	29
17	Displej EA DOGL128B-6 s bílým podsvícením [2]	31
18	Komunikační časový diagram displeje EA DOGL128B-6 [2]	31
19	Zobrazení informací na displeji DOGL128B-6	32
20	Časový průběh na pinech INTO a INT1 při otáčení doleva	33
21	Časový průběh na pinech INTO a INT1 při otáčení doprava	33

Seznam tabulek

1	Technické označení různých typů termočlánků dle normy IEC 584	16
---	---	----

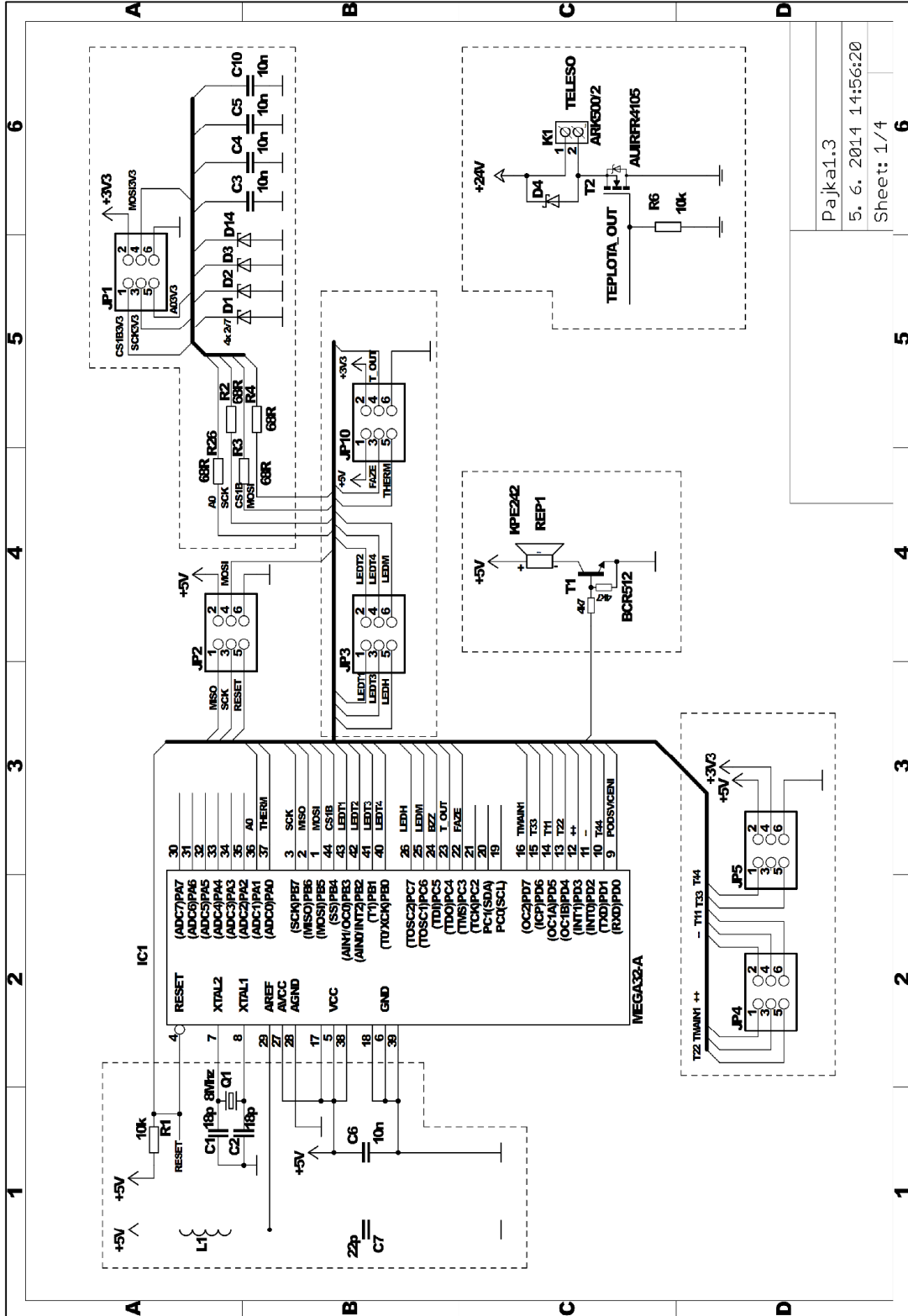
Reference

- [1] ATMEL CORPORATION. ATmega32A: 8-bit Microcontroller [online]. 2014 [cit. 2014-27-02]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A_Datasheet.pdf
- [2] ELECTRONIC ASSEMBLY. DOGL GRAPHIC SERIES: 128x64DOTS [online]. 2012 [cit. 2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/127/dogl128-6e-3984.pdf>
- [3] Termočlánky: snímače pro měření teploty. OMEGA Engineering: technické reference [online]. 2011 [cit. 2014-12-04]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>
- [4] MATĚJKA, Roman. POPULAR. Unipolární tranzistor: Unipolární tranzistory (JFET a MOSFET) [online]. 2012, 3.12.2012 [cit. 2014-18-04]. Dostupné z: <http://valter.byl.cz/plynula-regulace-pid>
- [5] VALTER, Jaroslav. Regulace od Jardy: PID regulátor [online]. 2006 [cit. 2014-28-04]. Dostupné z: <http://valter.byl.cz/plynula-regulace-pid>
- [6] TIŠNOVSKÝ, Pavel. ROOT.CZ. Externí sáriové sběrnice SPI a IIC [online]. 2008 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/#k04>
- [7] Číslicové řízení: regulátor PSD [online]. 2009 [cit. 2014-27-05]. Dostupné z: <http://www.mti.tul.cz/files/zsr/cislicove-rizeni-PSD-regulator.pdf>
- [8] Doc. Ing. MELICHAR, Jiří, CSc. LINEÁRNÍ SYSTÉMY 2 [online]. 2010 [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.kky.zcu.cz/uploads/courses/ls2/LS2-U\C4\%8Debn\C3\%AD-texty-2010.pdf>

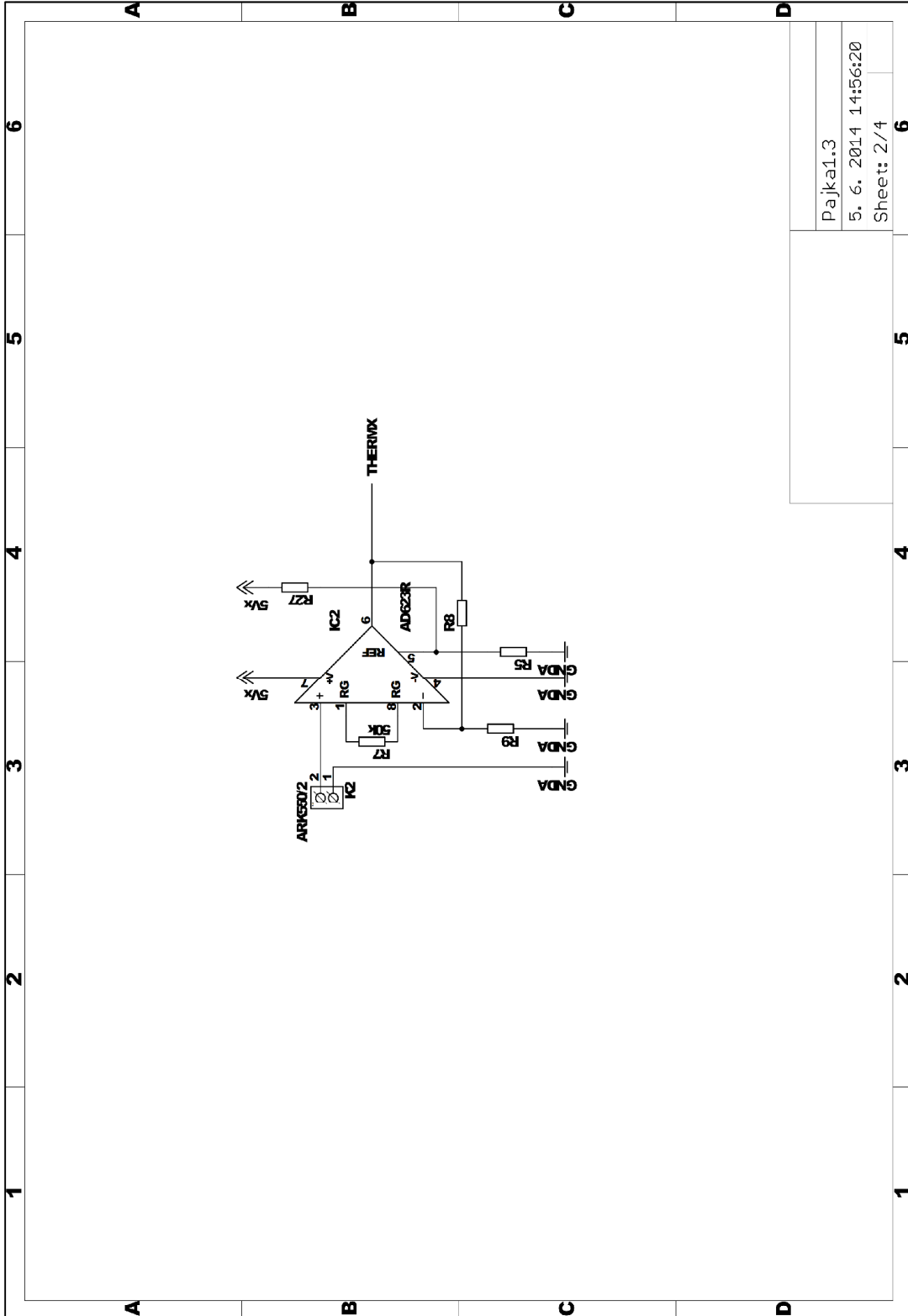
Seznam Příloh

příloha A:	A1	Schéma zapojení mikropočítače a spínacího obvodu
	A2	Schéma zapojení operačního zesilovače
	A3	Schéma zapojení zdrojové části
	A4	Schéma zapojení displeje a ovládacích prvků, tabulka připojení konektorů
příloha B:	B1	Desky plošných spojů spodní strana
	B2	Desky plošných spojů horní strana
příloha C:	C1	Schéma zapojení mikropočítače a spínacího obvodu - nová verze
	C2	Schéma zapojení operačního zesilovače - nová verze
	C3	Schéma zapojení zdrojové části - nová verze
	C4	Schéma zapojení displeje a ovládacích prvků, tabulka připojení konektorů - nová verze
příloha D:	D1	Desky plošných spojů spodní strana - nová verze
	D2	Desky plošných spojů horní strana - nová verze
příloha E:	E1	Celkový pohled na zařízení
	E1	Pájecí pero
	E1	Fotografie z IR kamery, Max = 152°C
příloha F:	příložené CD ...	Bakalářská práce Program a soubory pro nahrání programu Schemata a DPS Fotografie pájecí stanice

Příloha A1: Schéma zapojení mikropočítače a spínacího obvodu



Příloha A2: Schéma zapojení operačního zesilovače



Pajka1.3

5. 6. 2014 14:56:20

Sheet: 2/4

6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

A

B

C

D

6

5

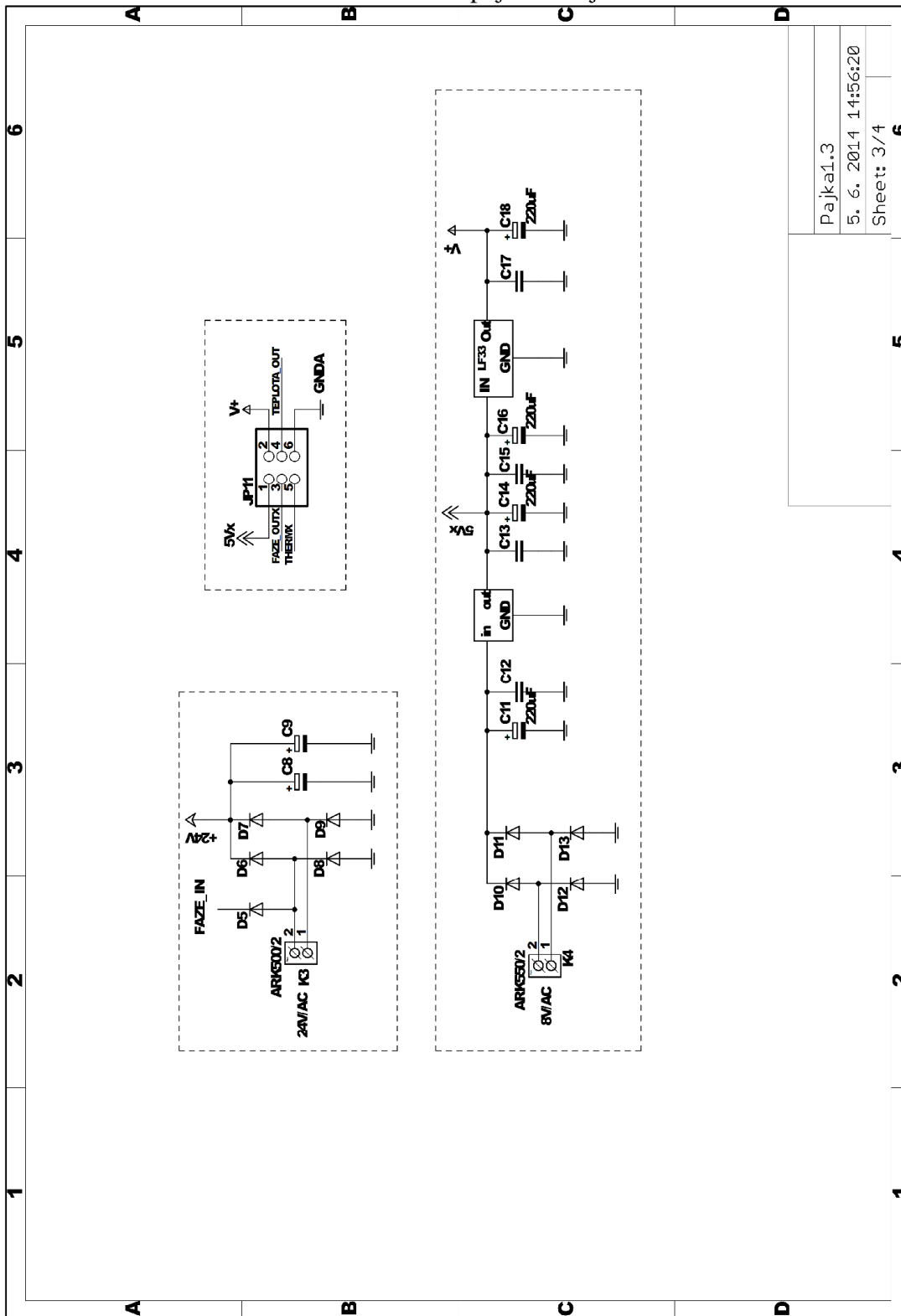
4

3

2

1

Příloha A3: Schéma zapojení zdrojové části



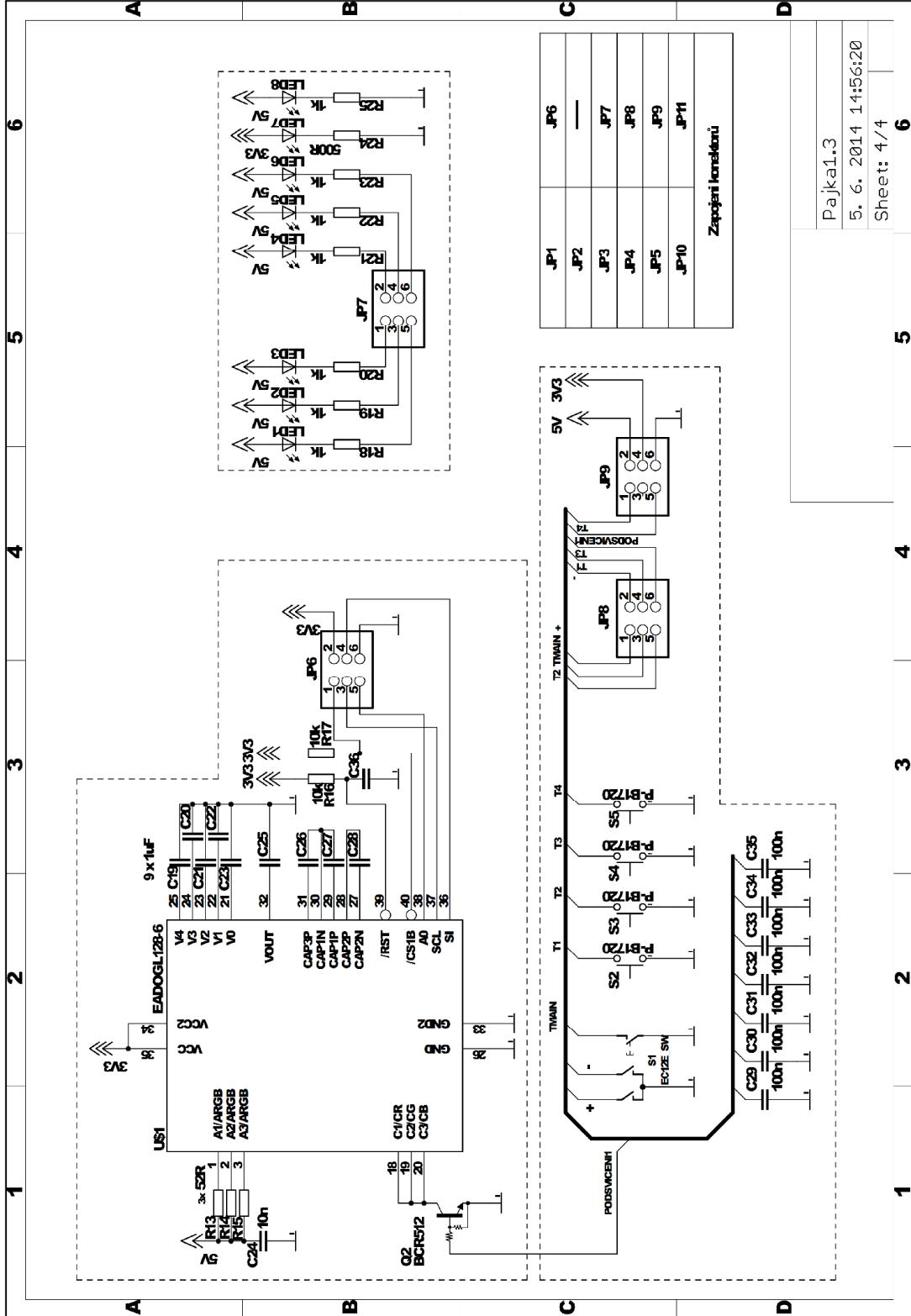
Pajka1.3

5. 6. 2014 14:56:20

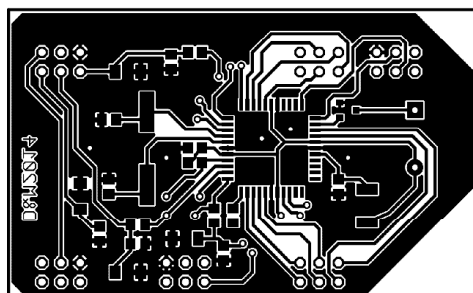
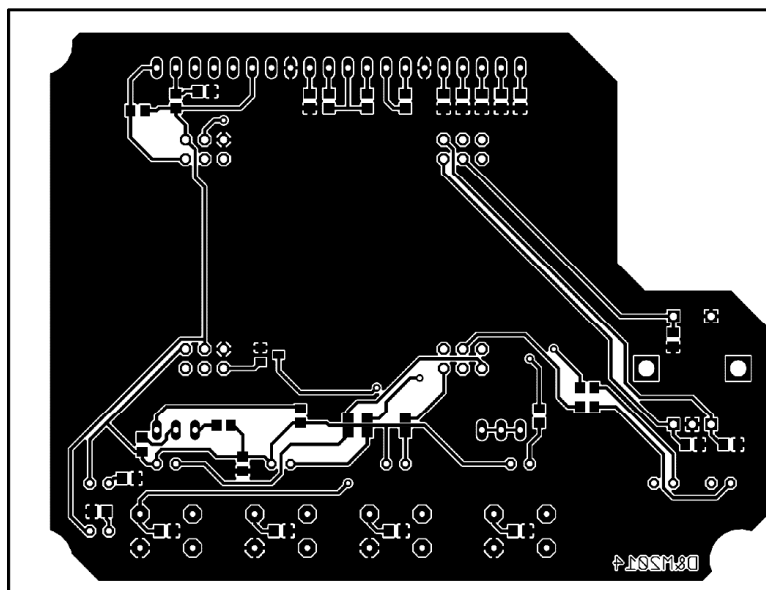
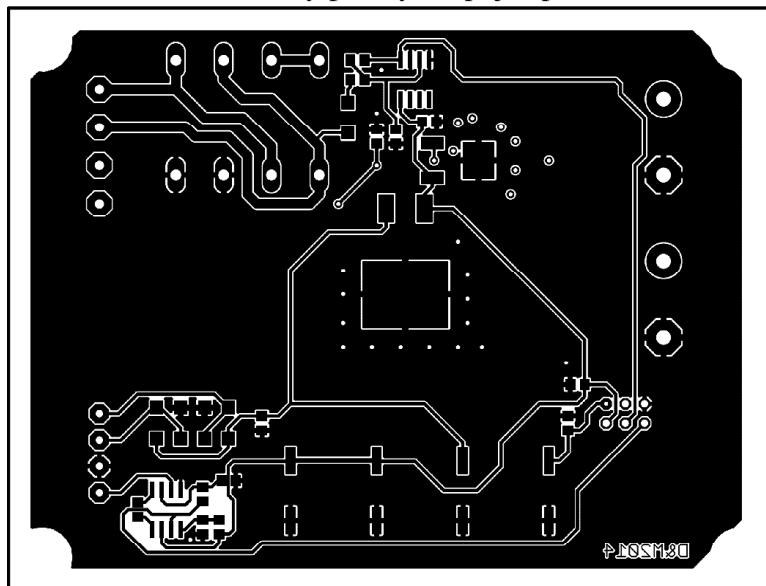
Sheet: 3/4

6

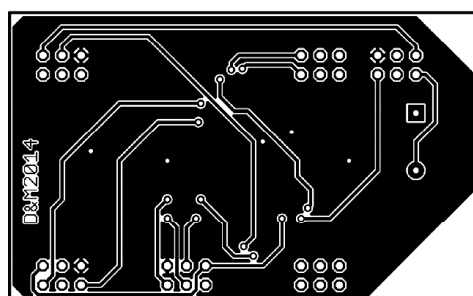
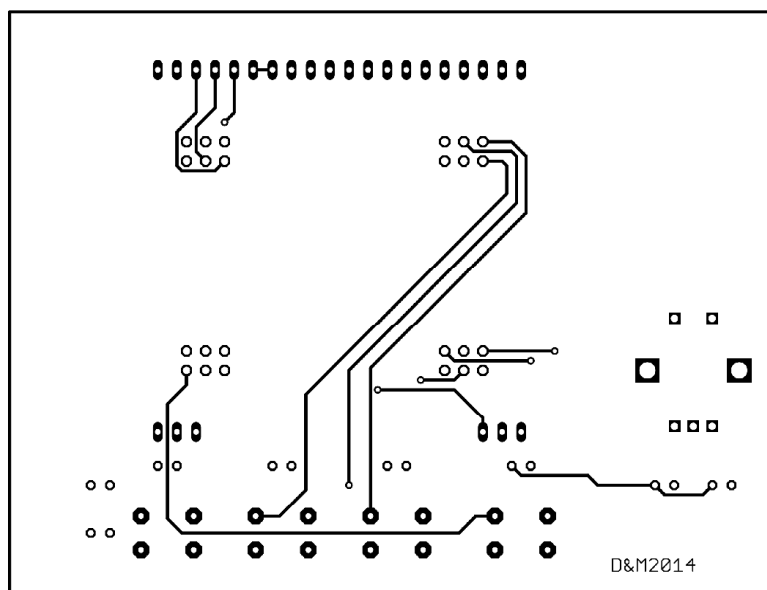
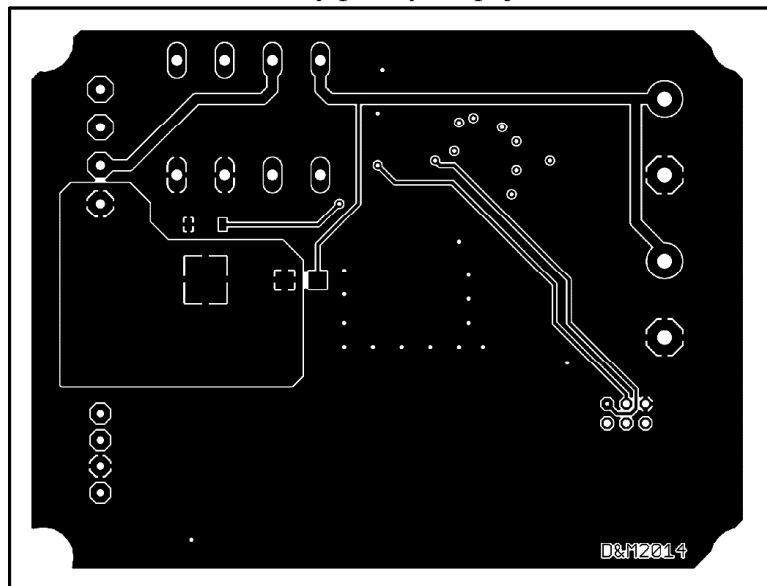
Příloha A4: Schéma zapojení displeje a ovládacích prvků, tabulka připojení konektorů



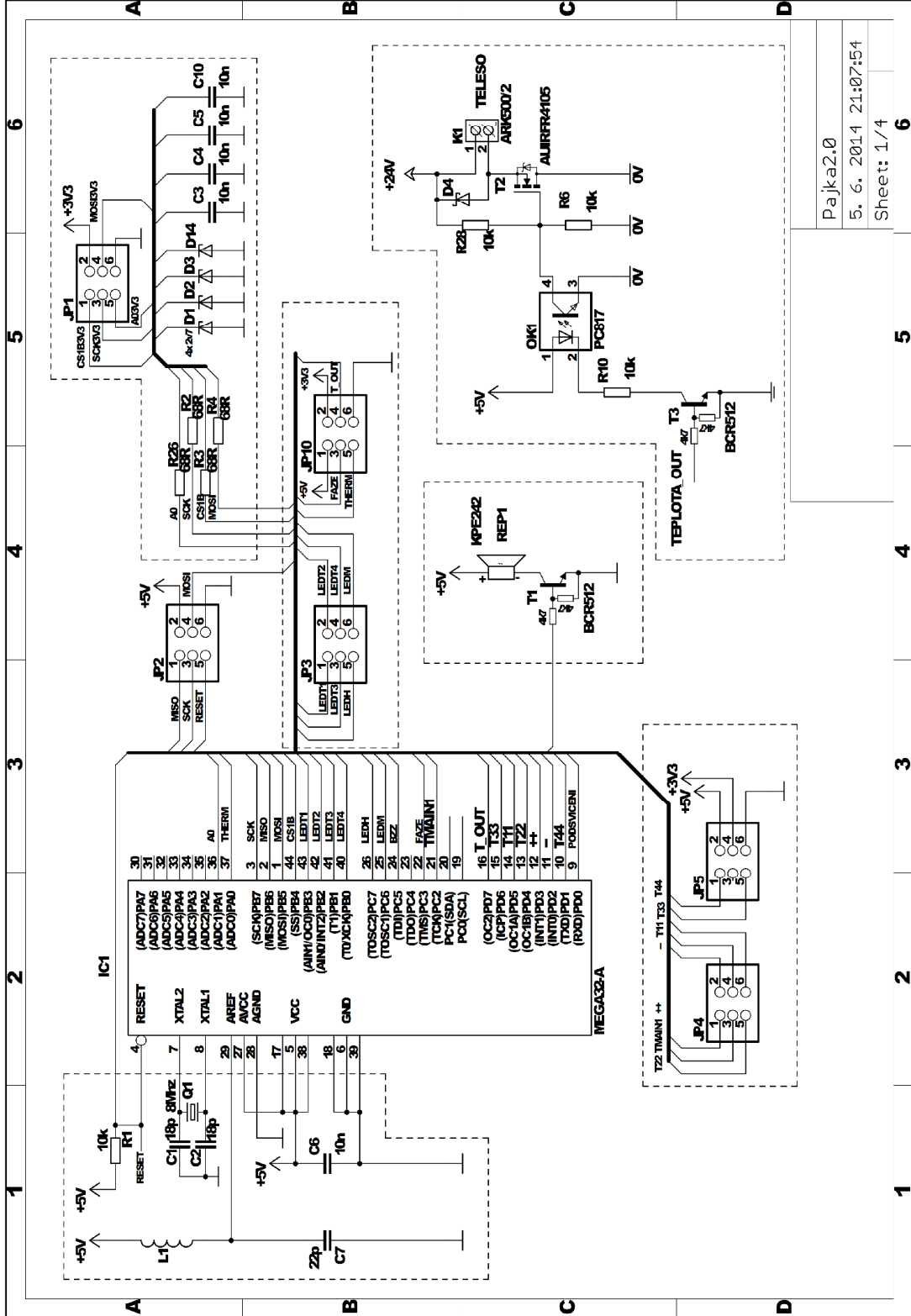
Příloha B1: Desky plošných spojů spodní strana



Příloha B2: Desky plošných spojů horní strana



Príloha C1: Schéma zapojení mikropočítače a spínacího obvodu - nová verze



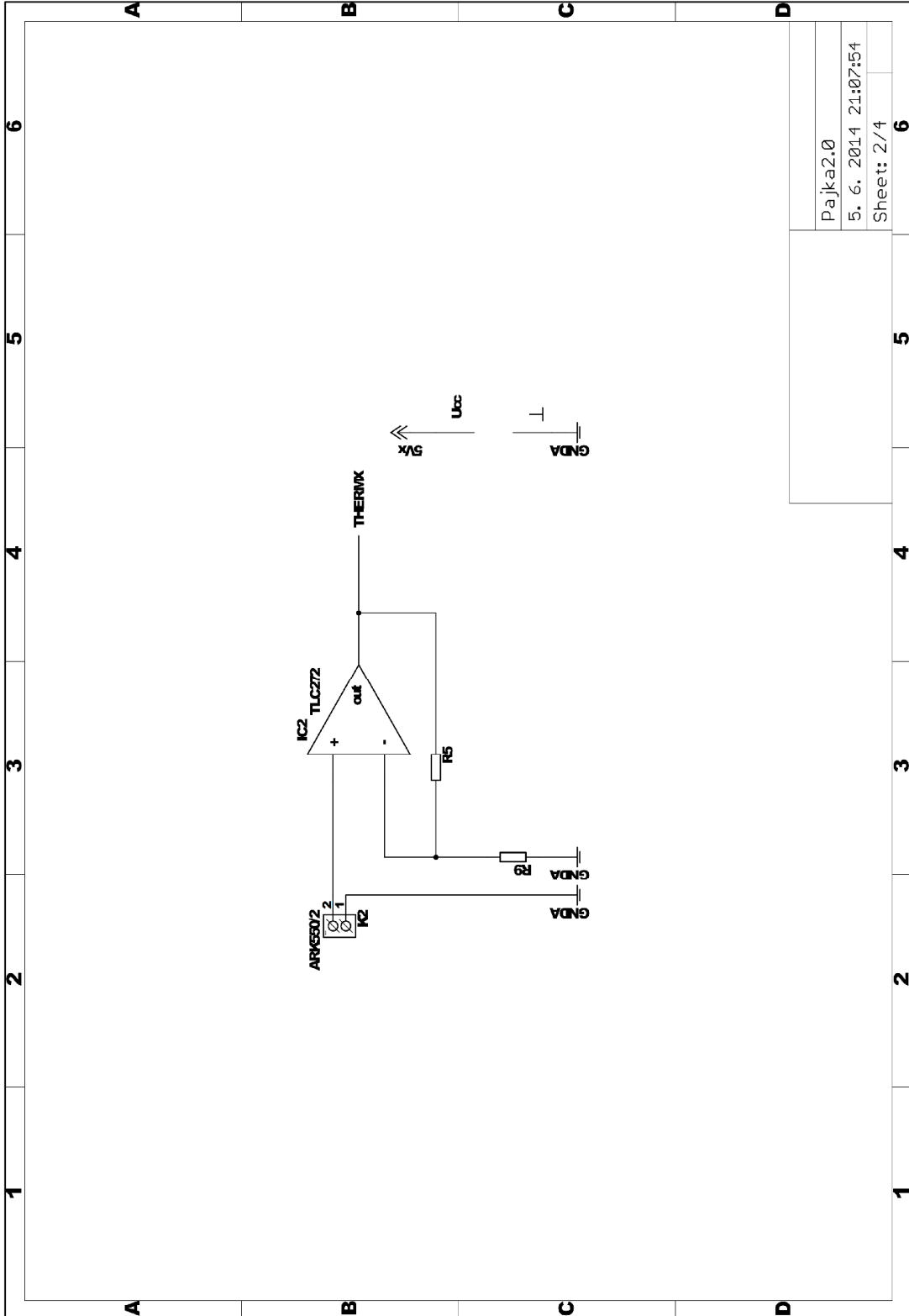
Pajka2.0

5. 6. 2014 21:07:54

Sheet: 1/4

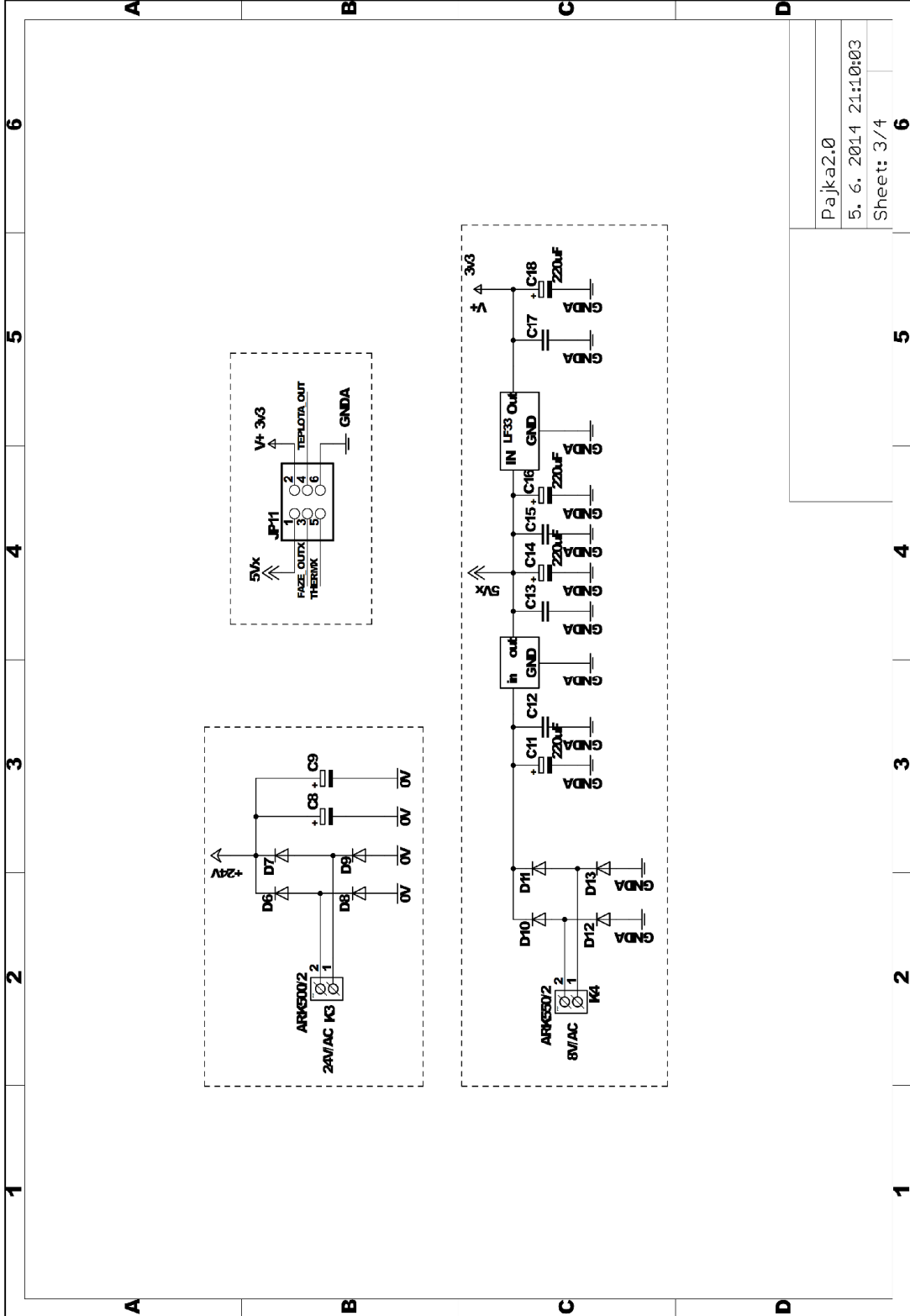
6

Příloha C2: Schéma zapojení operačního zesilovače - nová verze



Pajka2.0	
5. 6. 2014 21:07:54	
Sheet: 2/4	6

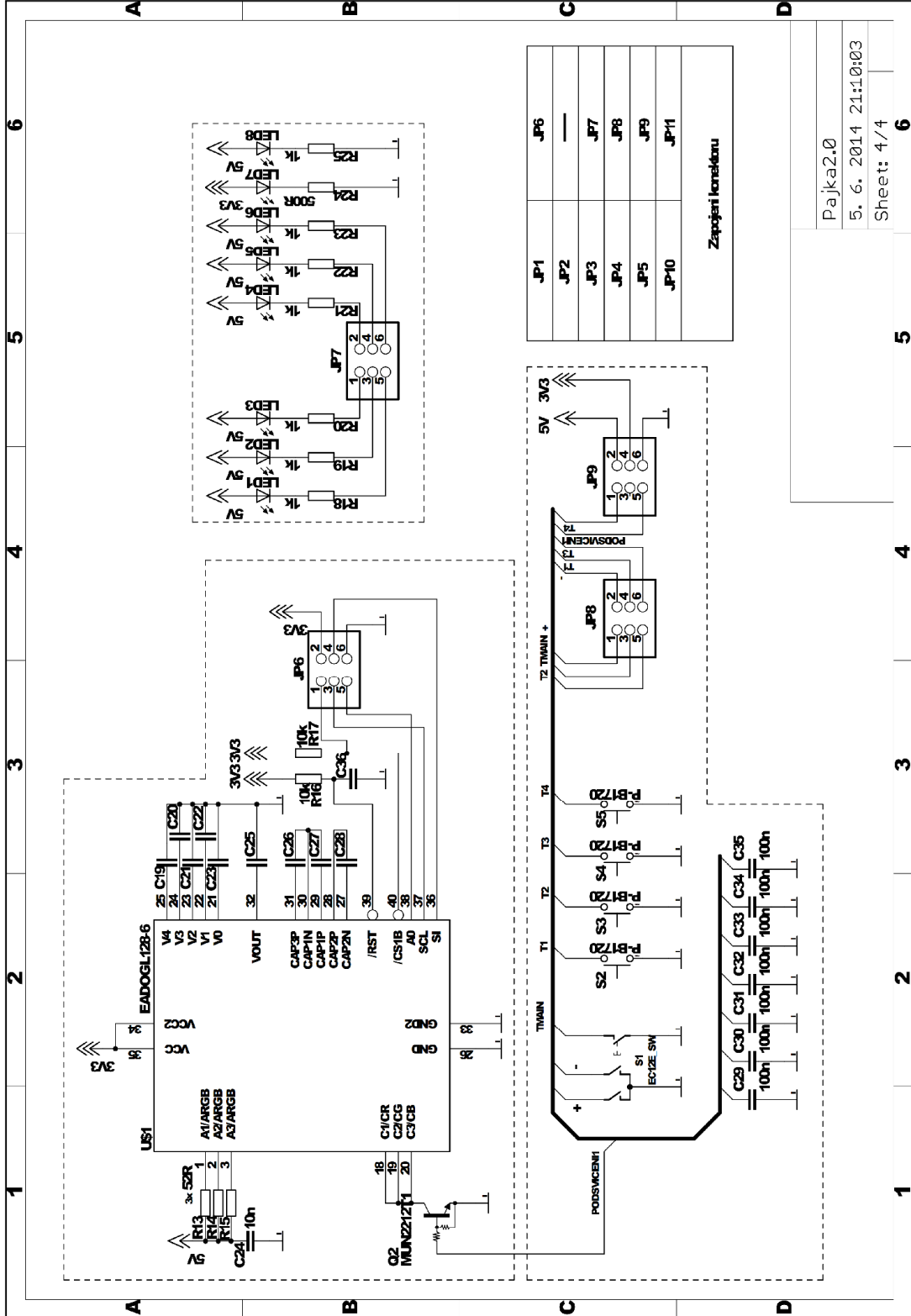
Příloha C3: Schéma zapojení zdrojové části - nová verze



Pajka2.0
5. 6. 2014 21:10:03
Sheet: 3/4

6

Příloha C4: Schéma zapojení displeje a ovládacích prvků, tabulka připojení konektorů - nová verze



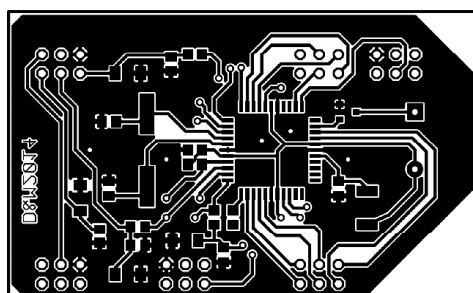
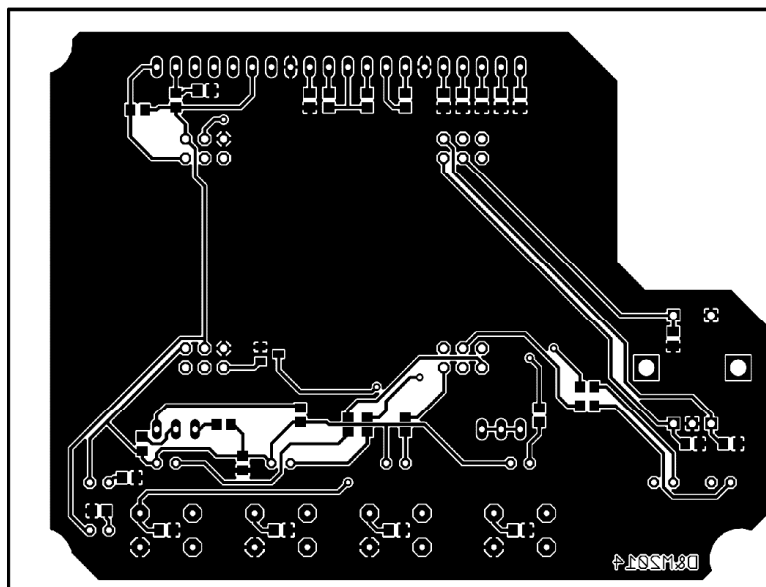
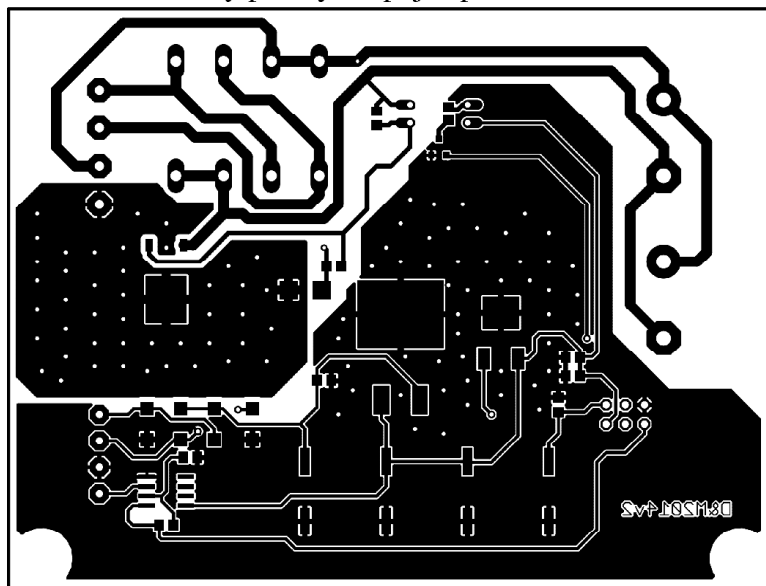
Pajka2.0

5. 6. 2014 21:10:03

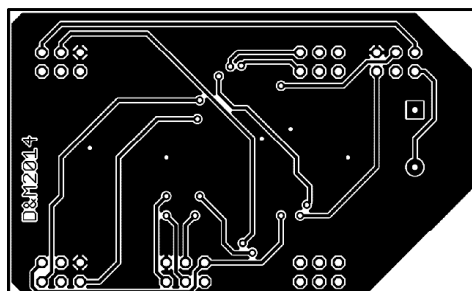
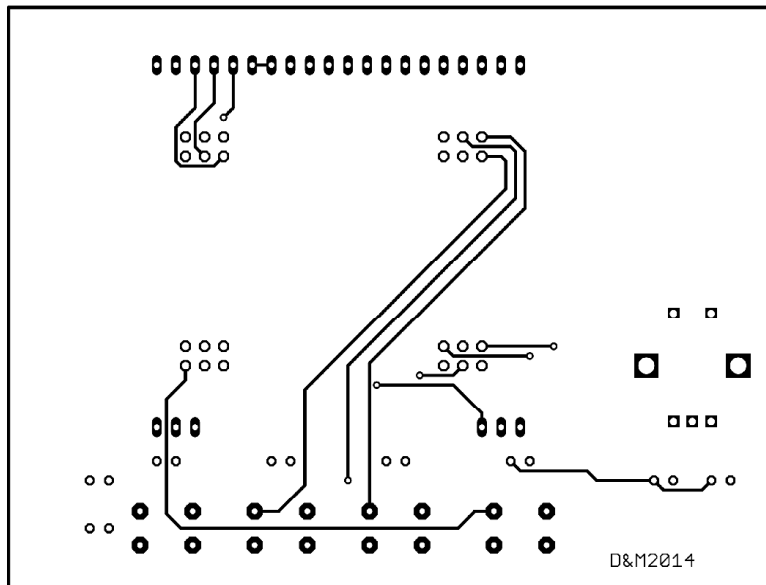
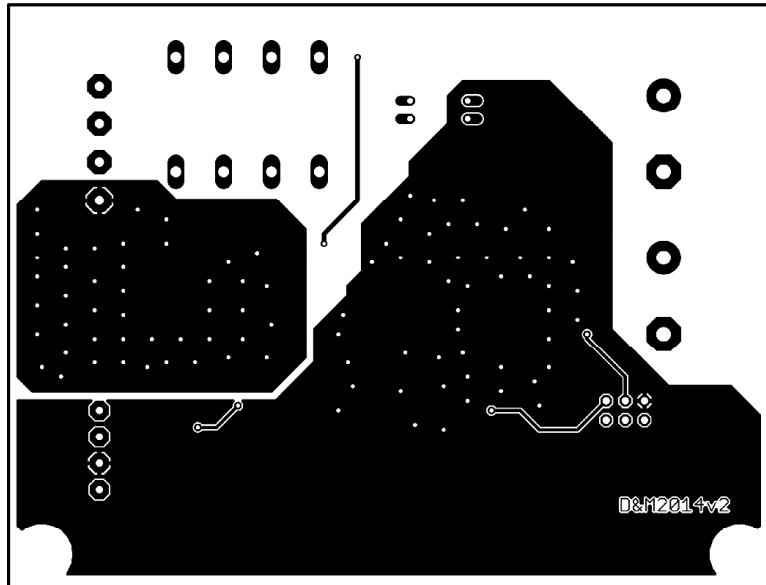
Sheet: 4/4

6

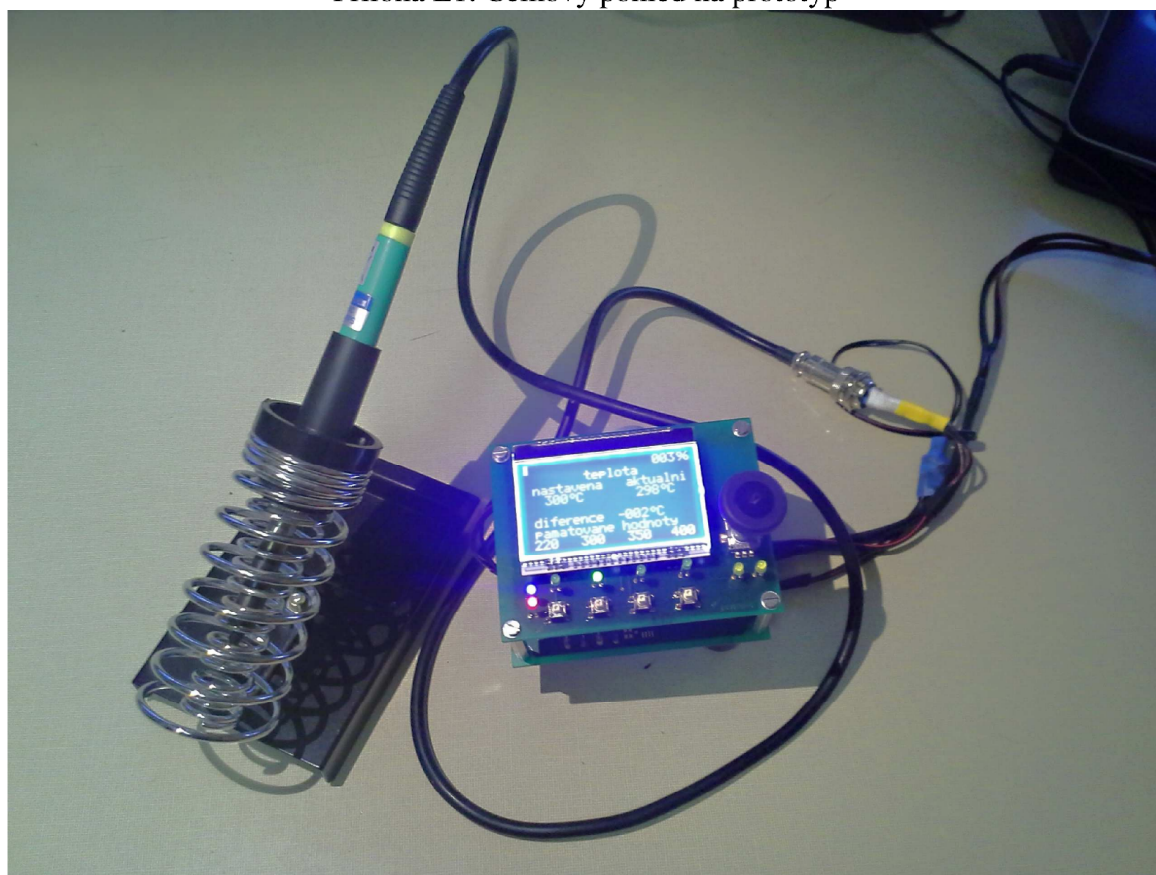
Příloha D1: Desky plošných spojů spodní strana - nová verze



Příloha D2: Desky plošných spojů horní strana - nová verze



Příloha E1: Celkový pohled na prototyp



Příloha E2: Pájecí pero



Příloha E3: Fotografie z IR kamery, Max = 152°C

