

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická

Katedra měření



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vícekanálový UV osvětlovač

Vedoucí práce
doc. Ing. Radislav Šmíd, Ph.D.

Vypracovala
Marta Křepelková

Praha 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne _____

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Radislavu Šmídovi, Ph.D. za trpělivost, ochotu, cenné rady a připomínky, které pomohly nejen k vývoji bakalářské práce, ale rozšířily i mé znalosti. Dále bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Janu Fischerovi, CSc. za užitečné rady, které mi po dobu tvorby práce poskytoval.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací UV osvětlovače pro osvěcování objektu při testování metodou MFL (Magnetic Flux Leakage). Zařízení obsahuje čtyři nezávislé kanály s výkonovými UV LED diodami, jejichž zářivý tok je ovládán z PC přes rozhraní USB. Pro řízení je použit vývojový kit STM32F0 Discovery od STMicroelectronics.

Práce se zabývá harwarovým řešením, návrhem firmwaru pro vývojový kit a ovládacího softwaru pro PC.

Abstract

This bachelor thesis discusses the concept and realization of a UV lamp for Magnetic Flux Leakage (MFL) testing. The device includes four independent channels with powerful UV LED diodes, whose luminosity is PC-controlled via a USB connector. STM32F0 Discovery development kit by STMicroelectronics is used for the device control.

The paper considers hardware solutions, firmware design for the development kit, and the control interface for PC.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra měření

Akademický rok 2013-14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Marta Křepelková**

Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Obor: **Senzory a přístrojová technika**

Název tématu česky: **Vícekanálový UV osvětlovač**

Název tématu anglicky: **Multi-channel UV Illuminator**

Pokyny pro vypracování:

Navrhnete koncepci vícekanálového UV osvětlovače řízeného pomocí rozhraní USB s využitím vývojového kitu STM32F0 Discovery pro osvětlování objektu při nedestruktivním testování metodou MFL. Zařízení realizujte na deskách plošných spojů, vytvořte software pro STM32F0 a obslužný software pro řízení zářivého toku ve čtyřech kanálech.


Seznam odborné literatury:

- [1] RM0090 Reference Manual, STMicroelectronics, September 2013. <http://www.st.com>
- [2] Záhlava, V.: Návrh a konstrukce desek plošných spojů - Principy a pravidla praktického návrhu, BEN - Technická literatura

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Radislav Šmíd, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 26. listopadu 2013

Platnost zadání do¹: 30. ledna 2015


Prof. Ing. Vladimír Haasz, CSc.
vedoucí katedry




Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 26. 11. 2013

¹ Platnost zadání je omezena na dobu dvou následujících semestrů.

Obsah

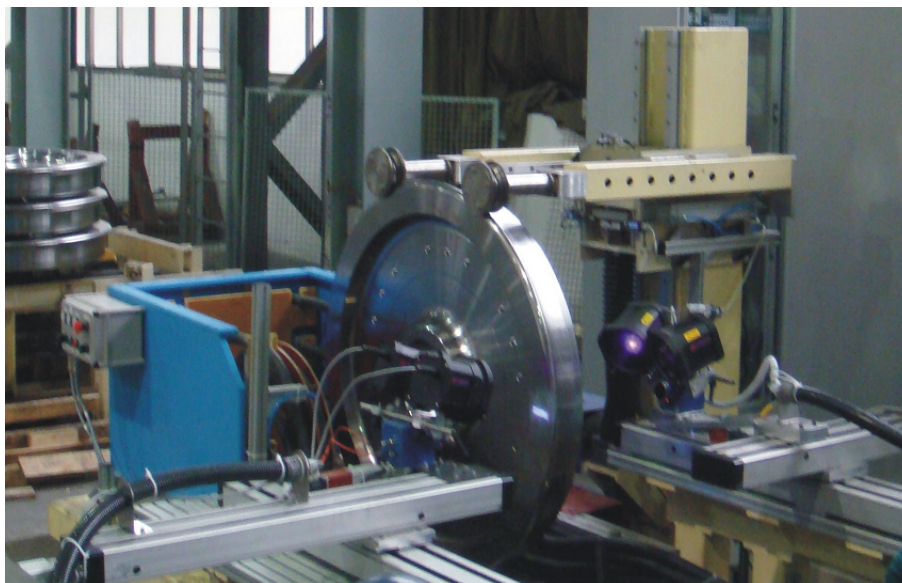
1 Úvod a cíle práce	1
2 Současný stav problematiky	3
2.1 Princip Magnetické práškové metody (MFL)	3
2.2 Existující výrobky pro UV osvětlování	4
2.3 Porovnání UV LED diod a UV výbojek	5
3 Návrh UV osvětlovače	7
3.1 Shrnutí požadavků a blokové uspořádání	7
3.2 Rozhraní pro komunikaci s PC	8
3.3 Řízení svítivosti UV LED diod	8
3.3.1 Diskrétní zapojení	8
3.3.2 Integrovaný obvod LT3080	9
3.4 Napájení	10
3.5 UV LED diody	11
3.6 Teplotní ochrana	15
4 Hardwarová realizace	17
4.1 Prvotní experimenty	17
4.2 Finální zapojení	17
4.3 Chlazení	19
4.4 Mechanické uspořádání	20
4.5 Náhled na DPS	21
5 Firmware v STM32F0	23
5.1 Vývojový kit STM32F0 Discovery	23
5.2 Komunikace pomocí rozhraní UART	24
5.3 Komunikace po sběrnici SPI	24
5.4 Komunikace po sběrnici I2C	24
5.5 Ovládací smyčka	25
6 Obslužný software v Matlabu	27
6.1 Shrnutí požadavků	27
6.2 GUI	27
6.2.1 Okno Komunikace	28
6.2.2 Okno Ovládání	29
6.3 Funkce pro řádkový Matlab	31
6.3.1 Hledání dostupných portů	31
6.3.2 Komunikace s mikrokontrolérem	31
7 Výsledky práce	33

8 Závěr	37
Literatura	39
A Schéma a návrh DPS	41
B Obsah přiloženého CD	47

Kapitola 1

Úvod a cíle práce

Pro zajištění kvality vyráběných železničních kol se v průběhu výroby provádí nedestruktivní kontrola různými metodami. Jednou z nich je metoda MFL (Magnetická prášková metoda založená na detekci magnetického rozptylového toku). Objekt je magnetován a v místech výskytu nezanedbatelného rozptylového toku (zpravidla způsobeného trhlinami) dojde ke shluknutí fluorescenční kapaliny obsahující feromagnetické částičky. Při osvětlení UV zářením dojde ke zviditelnění trhlín. Původní manuální vyhodnocení je dnes nahrazováno použitím kamer. Kromě indikací trhlín obsahuje obraz i rušivé artefakty způsobené nečistotami povrchu. Vhodnou změnou osvětlení je možné tyto rušivé vlivy potlačit. Cílem práce je proto navrhnout osvětlovač pro řízené osvětlení objektu při nedestruktivním testování – hledání trhlín – metodou MFL (Magnetic Flux Leakage). Osvětlovač má být schopen ovládat čtyři nezávislé kanály s výkonovými svítivými diodami vyzařujícími v ultrafialové oblasti spektra se samostatným řízením zářivého toku. Regulace tohoto toku musí probíhat spojitě (nelze použít PWM) z důvodu snímání objektu rychlými kamerami. Ovládání jednotlivých kanálů bude probíhat přes rozhraní USB z nadřazeného počítače. K vytvoření osvětlovače má být využit vývojový kit STM32F0 Discovery od STMicroelectronics. Zařízení má být realizováno na deskách plošných spojů. K řízení osvětlovače má být vytvořen firmware pro STM32F0 a obslužný software k ovládání z Matlabu.



Obr. 1.1: Testování kol od vlaků metodou MFL podle [1]

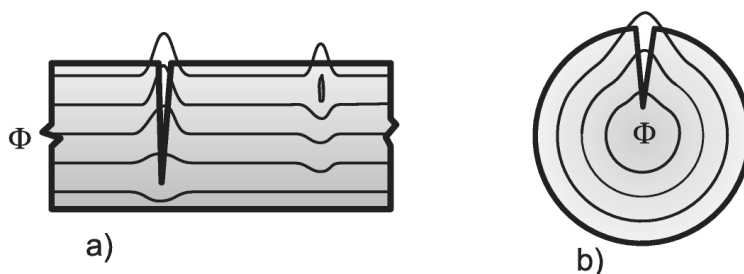
Kapitola 2

Současný stav problematiky

2.1. Princip Magnetické práškové metody (MFL)

Magnetic Flux Leakage (Magnetická prášková metoda) se používá pro detekci povrchových nebo těsně podpovrchových trhlin ve feromagnetických materiálech s hodnotou relativní permeability $\mu_r > 100$ a je založena na zviditelnění rozptylového magnetického pole. Detekce povrchových vad je omezena zhruba do hloubky 6 mm.

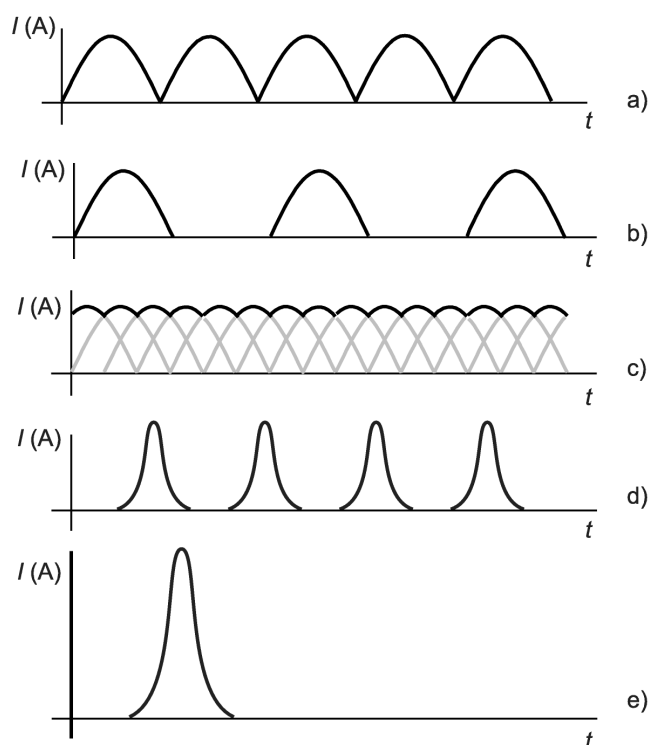
Objekt je zmagnetován a vyhodnocením magnetického rozptylu je lokalizován případný defekt. Rozptyl magnetického toku je dán velikostí, tvarem a umístěním defektu, volbou magnetování objektu (stejnoseměrné, střídavé a pulzní pole), hodnotou magnetické indukce a orientací magnetického toku vůči trhlíně. Orientace indukčních čar má být ve směru kolmém na směr předpokládané nečelistvosti. Druhy magnetování jsou zobrazeny na obrázku 2.1 (převzat z [2]). Podélné magnetování detekuje trhliny v materiálu příčně orientované a příčné magnetování podélně orientované. Dále je možné použít magnetování kombinované.



Obr. 2.1: Rozptylové magnetické pole nad defektem (a – příčně orientovaná povrchová trhlina a podpovrchový defekt, b – podélně orientovaná trhlina), podle [2]

Pro buzení magnetického pole se využívá elektrický proud v rozsahu 100 – 10000 A. Je buď stejnosměrný, střídavý, dvoucestně usměrněný, jednocestně usměrněný, impulzní periodický nebo impulzní jednorázový. Časové průběhy těchto proudů jsou na obrázku 2.2 převzatém z [2]. Po ukončení testování je nutné objekt odmagnetizovat.

Hodnota intenzity magnetického pole pro různé objekty lze vypočítat pouze přibližně, a to jen pro cirkulární pole. Proto se pro tyto účely používají speciální měřky, které se přikládají na zmagnetovaný objekt, kontrolní vzorky s umělými vadami a různé magnetometry a indikátory intenzity magnetického pole.



Obr. 2.2: Magnetovací proud (a – dvoucestně usměrněný, b – jednocestně usměrněný, c – třífázový usměrněný, d – impulzní periodický, e – impulzní jednorázový), podle [2]

U magnetické práškové metody je těleso pokryto barevným nebo fluorescenčním feromagnetickým práškem, jehož částice jsou vlivem rozptylového magnetického pole přitahovány na místo s největší koncentrací siločar. Prášek lze na těleso nanést buď suchou metodou s ručním, nebo elektrostatickým naprašováním, nebo mokrou metodou s poléváním, nástřikem ze spreje, stříkácí pistolí, nebo ponořením do suspenze prášku v oleji, vodě nebo jiné kapalině. Mokrý metoda se používá častěji, i když je méně citlivá na povrchové vady. Vlivem velké pohyblivosti částic a povrchového napětí suspenze zajišťuje precizní zobrazení i velmi malých povrchových nečistot.

Indikace vad se vyhodnocuje pomocí osvětlení objektu. Při použití fluorescenčního prášku je použito monochromatické UV-A záření, při jehož dopadu tato suspenze fluoreskuje. Těleso je pak snímáno fotoaparátlem nebo kamerou a obraz je následně zpracován na počítači.

Pro bezchybnou detekci vad je vhodné, aby bylo možné množství UV záření dopadajícího na objekt regulovat a nasvětlovat ho z různých míst podle aktuálních potřeb. Touto problematikou se zabývá má bakalářská práce.

2.2. Existující výrobky pro UV osvětlování

Na trhu existují již hotová zařízení pro osvětlování objektu při testování metodou MFL, která vyrábí a prodává např. firma PAPco, s.r.o. [4]. Na výběr jsou Lamy UV LED technologie, Stacionární UV LED Lamy, Stacionární výbojkové UV Lamy a Přenosné výbojkové UV lamy HELLING. Jedná se většinou o rozměrná zařízení s obtížnou manipulací. Jejich umístění před osvětlovaný objekt by bylo těžce proveditelné. Není možná změna svítivosti jednotlivých částí osvětlovače centrálně

z počítače. Příklad takového osvětlovače je na obrázku 2.3 převzatém z [4]. Dále se na UV osvětlování dají sehnat nejrůznější UV žárovky, zářivky či trubice. Ty však neobsahují žádnou obslužnou elektroniku a oproti UV LED diodám jsou navíc rozměrné. Z těchto důvodů je potřeba vytvořit nové, originální zařízení zcela na míru a vyhovující všem požadavkům.



Obr. 2.3: Rozměrná stacionární UV LED Lampa podle [4]

2.3. Porovnání UV LED diod a UV výbojek

Pro osvětlování objektu se nabízejí dvě možnosti. UV LED diody a UV výbojky. Příklad výbojkové UV lampy je na obrázku 2.4 z [4].



Obr. 2.4: Stacionární výbojková UV lampa podle [4]

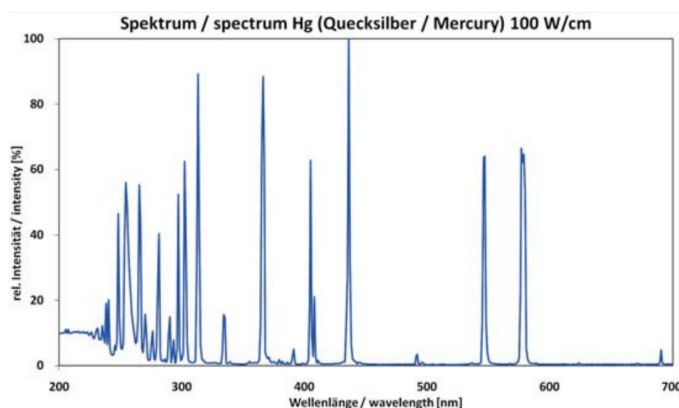
UV LED diody mají oproti výbojkám mnoho výhod. Nevyžadují zahřívací dobu a jsou okamžitě připraveny k použití. Jsou tedy vhodné do systémů, kde často dochází k zapínání a vypínání UV osvětlení. Další výhodou je jejich menší velikost, mechanická odolnost a možnost regulace svítivosti. UV LED diody mají vyšší životnost než UV výbojky, kde dochází k opotřebení žhavicích elektrod. Jsou šetrnější k životnímu prostředí, protože UV výbojky obsahují rtuť. Nevýhodou UV LED diod je jejich teplotní závislost a vysoká pořizovací cena.

Vlnová délka jednotlivých UV záření je na obrázku 2.5 převzatém z [7].

UV range	Wavelength [nm]
visible light	780 - 380
UV-A	380 - 315
UV-B	315 - 280
UV-C	280 - 200
V-UV	200 - 100

Obr. 2.5: Vlnová délka UV záření podle [7]

Rtuťová výbojka má relativně široké spektrum. Jeho rozložení je na obrázku 2.6 (podle [7]). UV LED diody mají vlnovou délku pevně určenou, což je další jejich výhoda.



Obr. 2.6: Rozložení spektra rtuťové výbojky podle [7]

Z důvodu výše zmíněných nevýhod UV výbojek budou do řízeného osvětlovače použity UV LED diody.

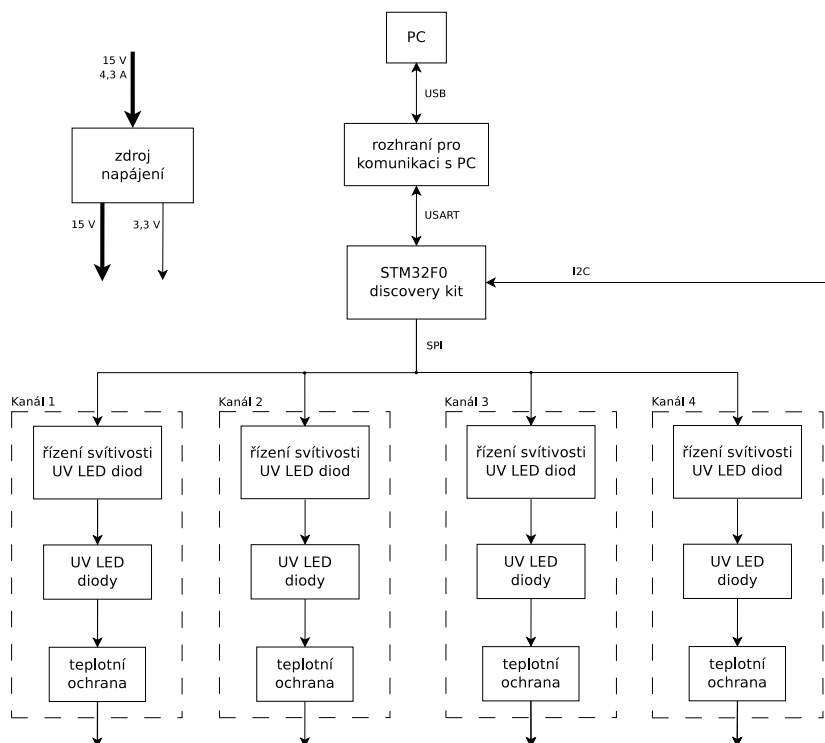
Kapitola 3

Návrh UV osvětlovače

3.1. Shrnutí požadavků a blokové uspořádání

Pro bezchybnější detekci trhlin je objekt potřeba osvěcovat z různých směrů zcela nezávisle, proto zařízení obsahuje 4 kanály. Řízení probíhá pomocí počítače připojeného přes rozhraní USB. Osvěcovaný objekt bude snímán vysokorychlostními kamerami, proto není možné použít pro řízení PWM, ale je třeba řídit světelný tok UV LED diod spjitě.

Protože je třeba řídit každý kanál zcela samostatně, bylo nutné rozvrhnout, které části bude obsahovat každý kanál a které budou společné. Nakonec se jako nejlepší ukázala koncepce, kde je pro všechny kanály společná pouze řídicí jednotka (v tomto případě vývojový kit STM32F0 Discovery) a s ní spojená komunikace s počítačem. Dále bylo potřeba vybrat a odzkoušet složení součástek pro jednotlivé bloky a přizpůsobit ho požadavkům, které se mnohdy ukazovaly až v průběhu sestavování zařízení.

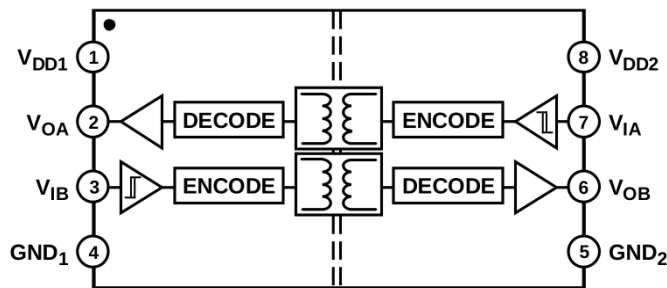


Obr. 3.1: Blokové schéma UV osvětlovače

3.2. Rozhraní pro komunikaci s PC

Pro potřeby komunikace vývojového kitu STM32F0 Discovery s počítačem byl zakoupen a použit převodník s obvodem CP2102. Umožňuje komunikaci mezi USB portem počítače a sériovým rozhraním UART, která probíhá po vodičích RX a TX.

Aby nemohlo dojít ke zničení mikrokontroléru umístěného na vývojovém kitu, byl mezi vývojový kit a převodník připojen oddělovač ADuM1201, jehož blokové schéma je na obrázku 3.2 převzatém z [8].



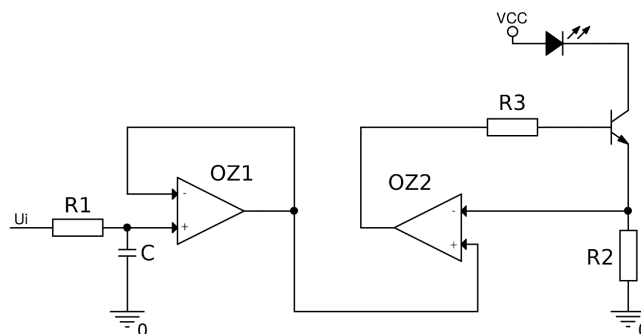
Obr. 3.2: Blokové schéma ADuM1201 podle [8]

3.3. Řízení svítivosti UV LED diod

Množství zářivého toku lze ovládat změnou proudu tekoucího UV LED diodami. Závislost svítivosti na procházejícím proudu není zcela lineární. Regulace proudu se dá řešit buď pomocí diskretního zapojení, nebo pomocí integrovaného obvodu.

3.3.1. Diskretní zapojení

Ovládání proudu tekoucího UV LED diodami se dalo řešit pomocí vlastního diskretního zapojení. Výhodou tohoto řešení je, že není třeba hledat regulátor splňující naše požadavky jako samostatnou součástku. Příklad zapojení jednoho kanálu osvětlovače je na obrázku 3.3. U_i představuje napětí přivedené z D/A převodníku přes multiplexer, který zajišťuje přepínání mezi kanály. Odpor R_1 , kondenzátor C a operační zesilovač $OZ1$ zde proto tvoří analogovou paměť zajišťující dočasné uchování přivedeného napětí.



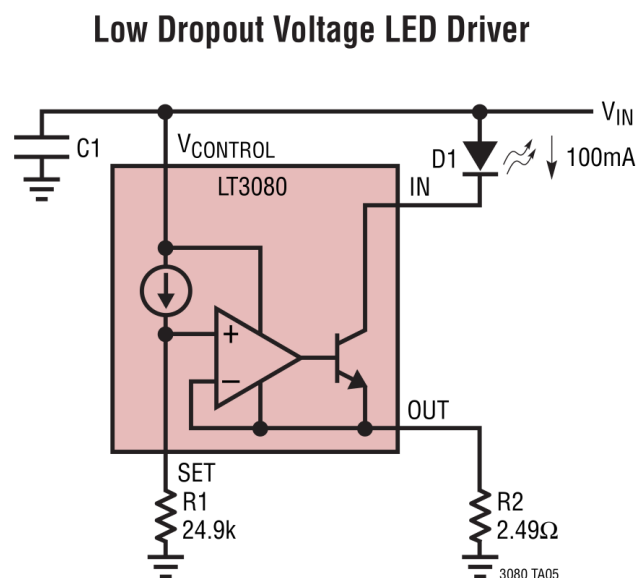
Obr. 3.3: Regulátor složený z operačních zesilovačů a tranzistoru

Nevýhodou takového zapojení je, že je obtížné zajistit potřebnou pracovní oblast regulátoru. Dále je obtížné dosáhnout možnosti regulace k 0 V a zajistit, aby obvod nekmital. I když jsou popsány problémy řešitelné, rozhodla jsem se toto zapojení nepoužít.

3.3.2. Integrovaný obvod LT3080

Pro řízení proudu tekoucího UV LED diodami se dají zakoupit součástky, které mají oproti diskretnímu zapojení mnoho výhod. Mají v sobě řešené všechny výše zmíněné problémy a mnohdy obsahují i další výhody, jako je teplotní ochrana. Po delším hledání byl vybrán regulátor LT3080. Jedná se o lineární nastavitelný regulátor od firmy Linear Technology. Rozsah vstupního napětí je mimořádně široký, je třeba volit mezi 1,2 V a 36 V a výstup lze regulovat až k 0 V. Obvod obsahuje ochranu pro omezení proudu a tepelnou ochranu proti zničení.

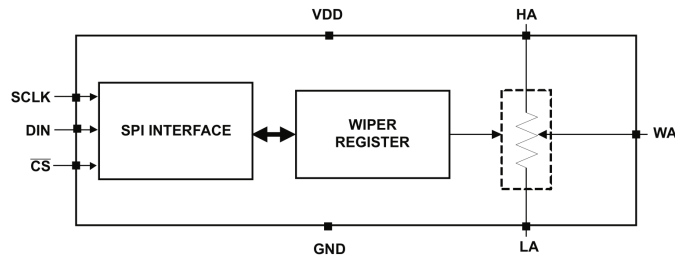
Pro potřeby regulace svítivosti UV LED diod bylo použito a upraveno jedno z doporučených zapojení z datasheetu [9] zobrazené na obrázku 3.4.



Obr. 3.4: Doporučené zapojení LT3080 podle [9]

Regulace je prováděna pomocí odporu R_1 , který byl pro naše účely nahrazen digitálním potenciometrem TPL0501 firmy Texas Instruments, jehož blokové schéma je na obrázku 3.5. Jedná se o jednobandový potenciometr s 256 stupni rozlišení řízený pomocí sběrnice SPI. Podle datasheetu byl připojen k mikrokontroléru a regulátoru. Zapojen je v režimu reostat. V tomto módu není odpor lineárně závislý na nastaveném binárním slově. Tato nelinearita nevadí, protože použité UV LED diody jsou také nelineární a provedení měření je nevyhnutelné.

Při nastavení hodnoty 0 na digitálním potenciometru se nastaví odpor $R_1 = 0 \Omega$ a UV LED diodami neprochází žádný proud. Při nastavení hodnoty 255 je nastaven odpor $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ a UV LED diody mají maximální světelný tok.



Obr. 3.5: Blokové schéma TPL0501 podle [10]

Hodnota odporu R_2 byla dopočítána podle vzorce 3.1. Proudový zdroj v LT3080 (I_1) má hodnotu přibližně $10 \mu\text{A}$.

Odporu $R_1 \div 0 \Omega - 100 \text{ k}\Omega$ by měl odpovídat proud UV LED diodou $I_{LED} \div 0 \text{ A} - 1 \text{ A}$. Proto vychází $R_2 = 1 \Omega$.

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{I_1}{I_{LED}} \quad (3.1)$$

Zjednodušené zapojení je na obrázku 3.6. Pro ochranu vstupů mikrokontroléru jsou na datový a hodinový vodič přidány odpory $R = 1 \text{ k}\Omega$. Pokud by se na tyto vodiče dostalo vyšší než povolené napětí nebo by došlo ke zkratu, nedojde díky těmto odporům k přesáhnutí maximálního proudu a zničení mikrokontroléru.

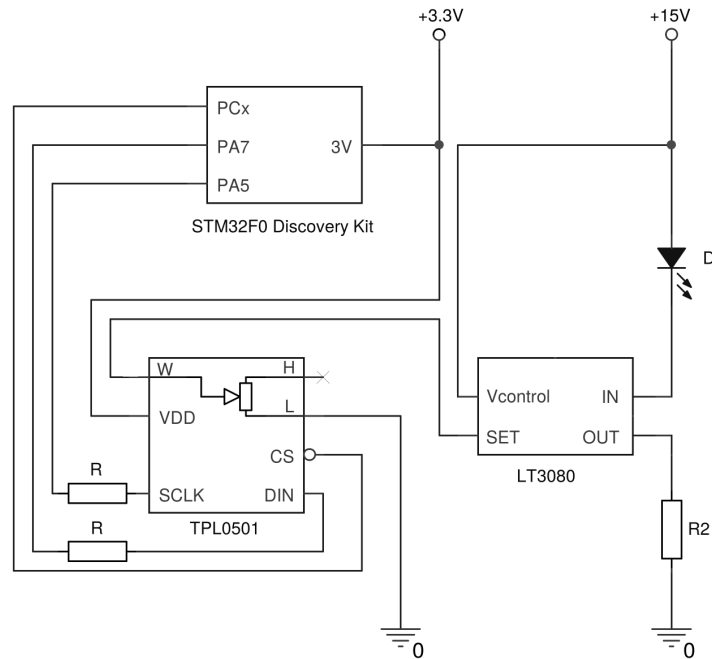
3.4. Napájení

Napájecí napětí potenciometru TPL0501, vývojového kitu STM32F0 Discovery a níže popsaneho teplotního čidla je získáno ze stabilizátoru LF33CV. Jedná se o lineární regulátor s výstupním napětím $U_{OUT_{3V3}} = 3,3 \text{ V}$ a výstupním proudem $I_{OUT_{3V3}} = 0,5 \text{ A}$. Vybrán byl především proto, že maximální potřebný proud, vypočten podle 3.2, je $I_{MAX_{3V3}} = 104,48 \text{ mA}$. Hodnoty proudů součástek byly zjištěny z příslušných data-sheetů.

$$I_{MAX_{3V3}} = 4 \cdot I_{LM75AD} + 4 \cdot I_{TPL0501} + I_{STM32F0} = 4 \cdot 1 + 4 \cdot 0.12 + 100 = 104,48 \text{ [mA]} \quad (3.2)$$

Pro napájecí větev $U_{CC} = 15 \text{ V}$ byl vybrán stabilizovaný síťový adaptér od SUNNY COMPUTER, jehož výstupní napětí je $U_{OUT_{15V}} = 15 \text{ V}$ a výstupní proud $I_{OUT_{15V}} = 4,3 \text{ A}$. Proud odpovídá maximálnímu potřebnému proudu obvodu, který je dán maximálním proudem pro větev napájenou z $U_{MAX_{3V3}} = 3,3 \text{ V}$ a proud potřebný pro každý kanál UV LED diod. Proto podle výpočtu 3.3 vychází tento adaptér jako dostatečný.

$$I_{MAX_{15V}} = I_{MAX_{3V3}} + 4 \cdot I_{LED} = 104,48 + 4 \cdot 700 = 2904,48 \text{ [mA]} \quad (3.3)$$

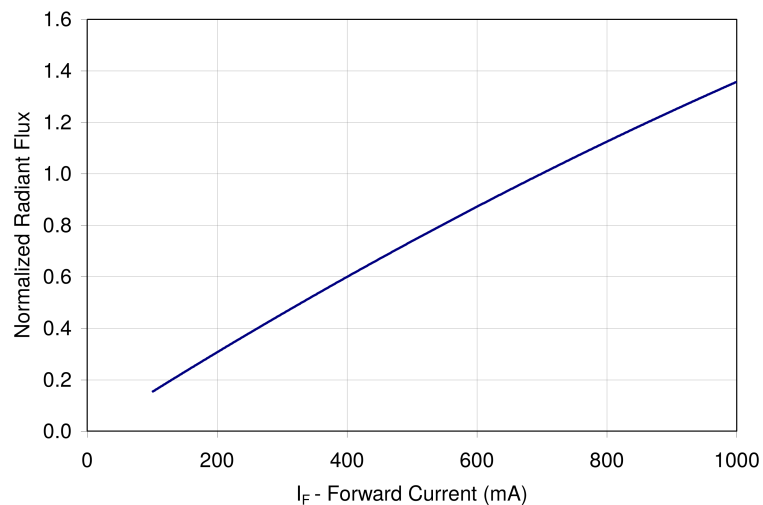


Obr. 3.6: Zapojení LT3080 a TPL0501

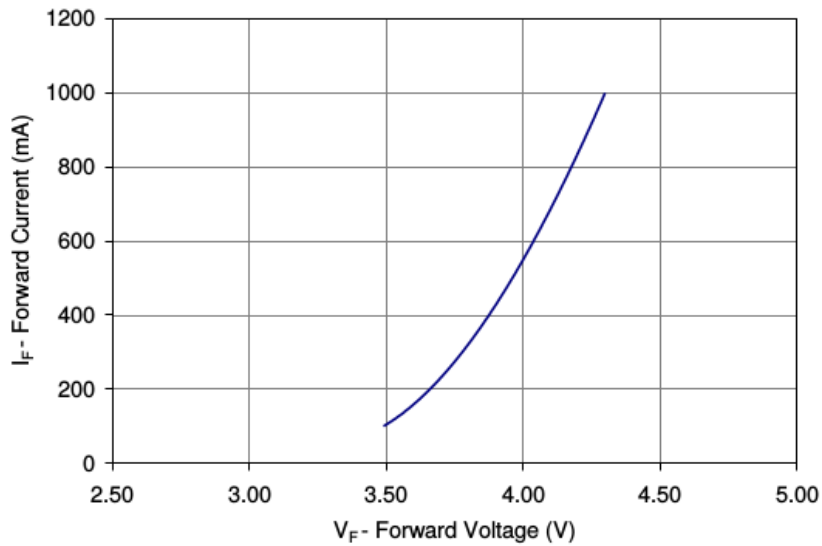
3.5. UV LED diody

Byly vybrány výkonové UV diody LZ1-00U600 s výkonem $P = 3 \text{ W}$. Maximální proud diodou je $I_F = 700 \text{ mA}$ při napětí $U_F = 4,1 \text{ V}$. Závislost normalizovaného zářivého toku na procházejícím proudu je na obrázku 3.7 převzatém z [11]. Voltampérová charakteristika diody je zobrazena na obrázku 3.8.

Typical Normalized Radiant Flux



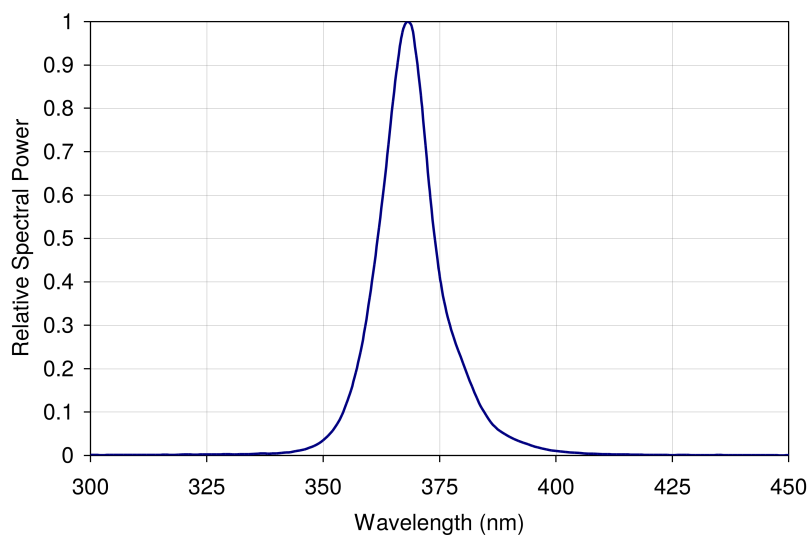
Obr. 3.7: Závislost normalizovaného zářivého toku UV LED diody na procházejícím proudu podle [11]



Obr. 3.8: Voltampérová charakteristika UV LED diody podle [11]

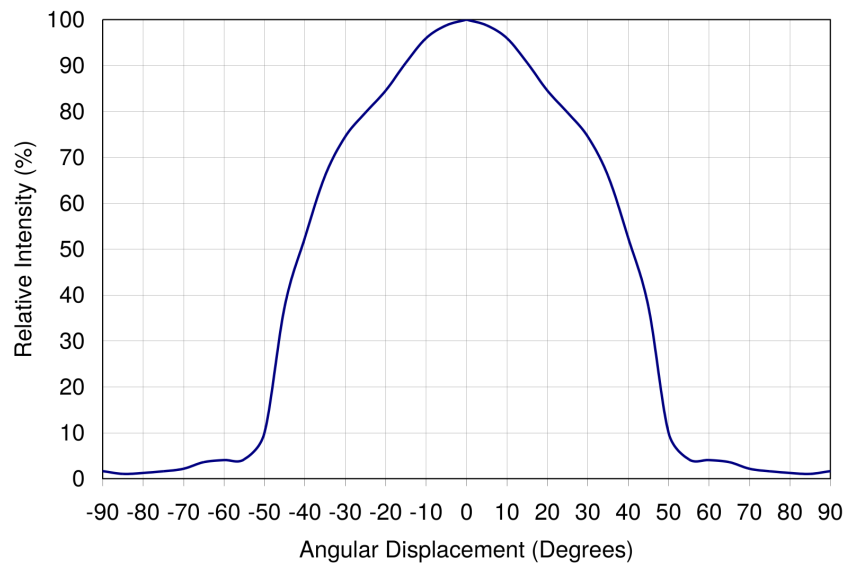
Vlnová délka UV LED diod je 365 nm. Jejich spektrální charakteristika je na obrázku 3.9. Graf závislosti relativního zářivého toku na vyzařovacím úhlu je na obrázku 3.10.

Typical Relative Spectral Power Distribution



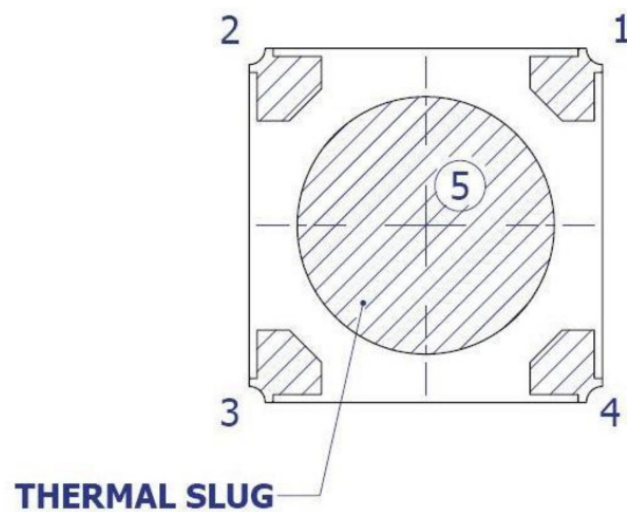
Obr. 3.9: Spektrální charakteristika UV LED diody podle [11]

Typical Radiation Pattern

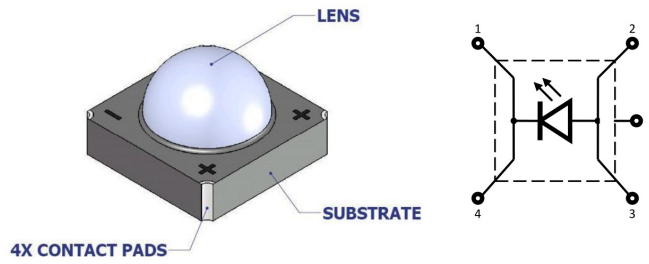


Obr. 3.10: Závislost zářivého toku UV LED diody na vyzařovacím úhlu podle [11]

Použité UV LED diody jsou vyrobeny v pouzdře SMD s odvodem tepla přes termální plošku pod součástkou. Konfigurace pinů je na obrázku 3.11. Pouzdro diody je na obrázku 3.12. Každý kanál bude obsahovat tři UV LED diody zapojené sériově.



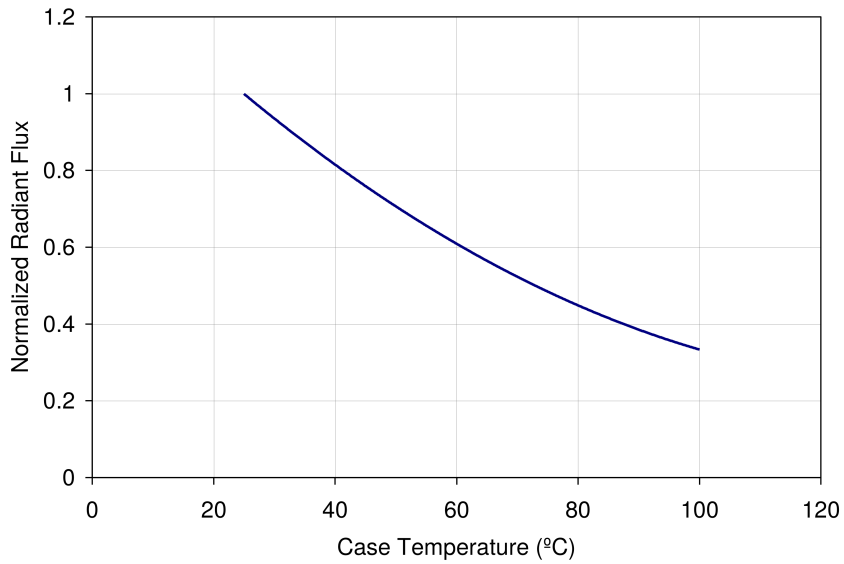
Obr. 3.11: Konfigurace pinů UV LED diody podle [11]



Obr. 3.12: Pouzdro UV LED diody podle [11]

Normalizovaný zářivý tok UV LED diod závisí také na jejich teplotě. Tato závislost je zobrazena na obrázku 3.13.

Typical Normalized Radiant Flux over Temperature

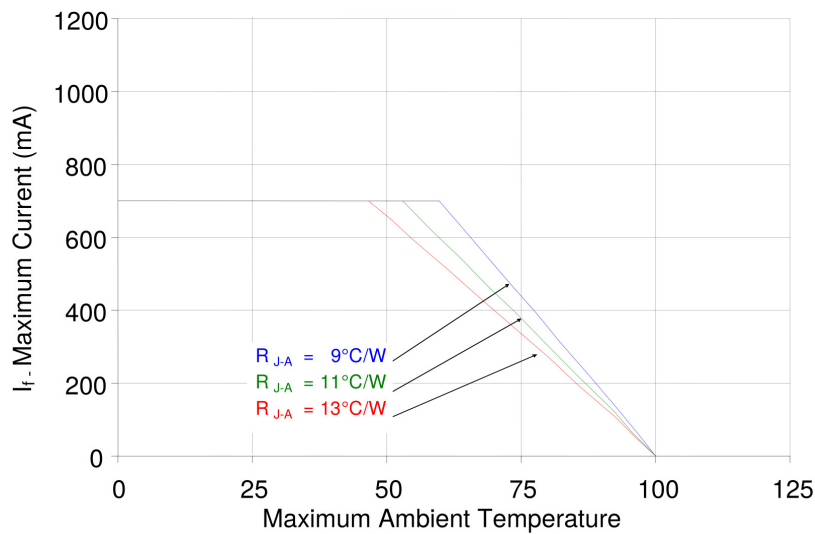


Obr. 3.13: Závislost normalizovaného zářivého toku UV LED diody na teplotě podle [11]

3.6. Teplotní ochrana

Potřeba teplotní ochrany se ukázala až po prvních experimentech s UV LED diodami. Tyto diody jsou velmi citlivé na přehřátí, při kterém se mohou měnit některé jejich vlastnosti. Proto je potřeba zajistit kontrolu jejich teploty. Závislost proudu na teplotě UV LED diod je na obrázku 3.14 převzatého z [11]. Pro účely teplotní ochrany je použito teplotní čidlo LM75AD. Rozsah měření je od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po sběrnici I2C je zpracována aktuální teplota UV LED diod a případně snížen protékající proud. Každé teplotní čidlo má hardwarově zadanou svou adresu, podle které se pozná, který kanál má danou teplotu.

Current De-rating



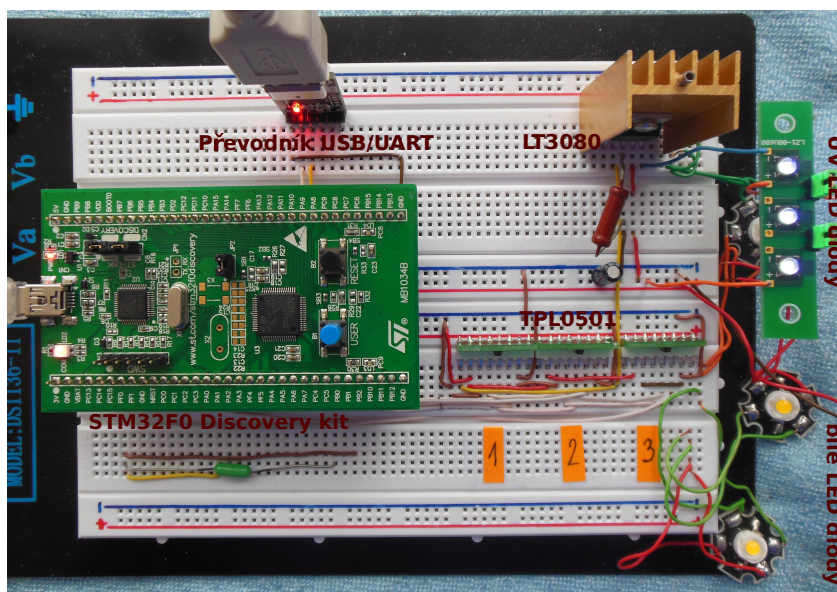
Obr. 3.14: Závislost maximálního proudu na okolní teplotě podle [11]

Kapitola 4

Hardwarová realizace

4.1. Prvotní experimenty

První testy proběhly na kontaktním poli. Zapojení, jehož realizace je na obrázku 4.1, neobsahovalo některé části, které se později ukázaly jako důležité. Mezi převodník USB/UART nebyl zapojen oddělovač, deska s UV LED diodami neposkytovala dostatečné chlazení a chybělo na ní teplotní čidlo kontrolující teplotu UV LED diod. Datový a hodinový vodič sběrnice SPI neobsahoval ochranný odpor chránící mikrokontrolér před zničením. Zapojen byl pouze 1 regulátor LT3080 a k němu 1 kanál UV LED diod. Digitální potenciometry TPL0501 byly zapojeny 3. Bílé LED diody sloužily pro testování, kdy hrozilo zničení drahých UV LED diod.



Obr. 4.1: První zapojení

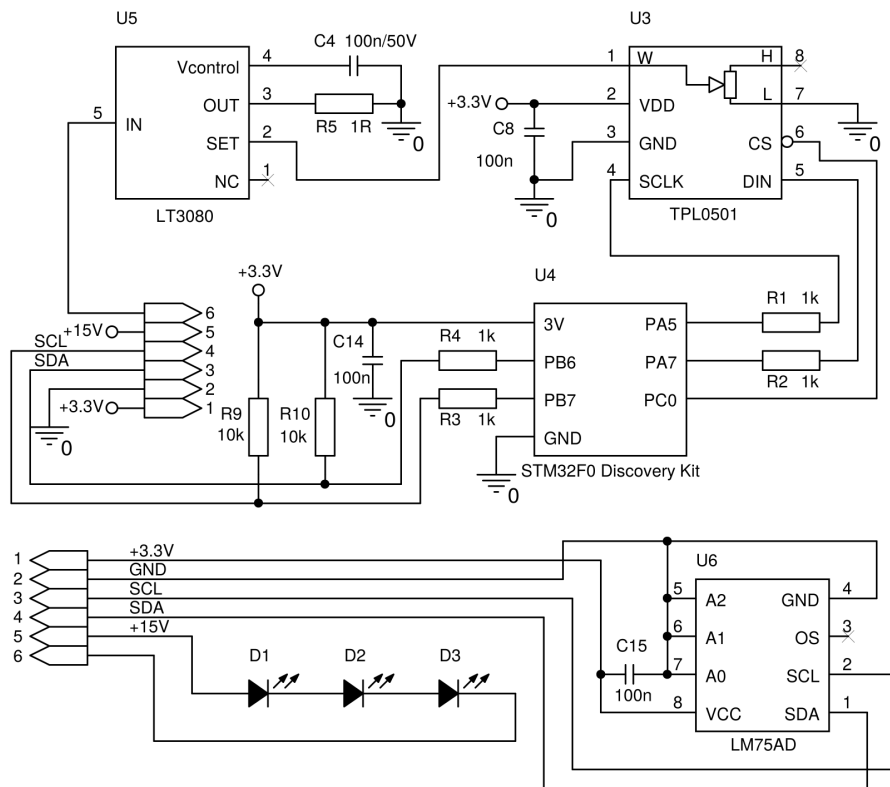
4.2. Finální zapojení

Kompletní schéma se nachází v příloze A.5. Následující kapitola popisuje jednotlivé části zapojení.

Na obrázku 4.2 je schéma konečného zapojení prvního kanálu UV osvětlovače. Zapojení regulátorů LT3080 je pro všechny kanály stejné. U digitálního potenciometru je u každého kanálu určen pin \overline{CS} (Chip Select) pro komunikaci po sběrnici SPI. Piny \overline{CS} jsou připojeny na piny mikrokontroléru PC0 - PC3. Všechny tyto součástky se nacházejí

na hlavní desce, ke které je přes konektor a kabel připojena deska s UV LED diodami. Přivedeno je celkem 6 vodičů: 3,3 V pro napájení teplotního čidla, GND, datový a hodinový signál pro sběrnici I2C, 15 V pro napájení UV LED diod a vstup IN regulátoru LT3080.

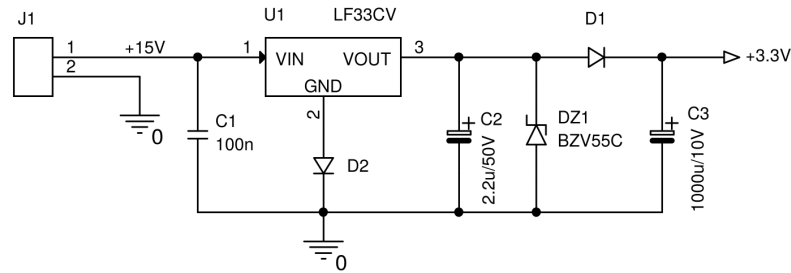
UV LED diody jsou zapojeny sériově a proud jimi protékající je určen pinem IN regulátoru. Jejich teplotu snímá čidlo LM75AD, jehož adresa, určena piny A0 - A2, je pro každý kanál unikátní. Nastavuje se připojením těchto pinů na GND nebo VCC. Komunikace probíhá po sběrnici I2C, která je z mikrokontroléru ovládána přes piny PB6 a PB7.



Obr. 4.2: Zapojení kanálu 1

Celé zařízení je napájeno z 15 V stabilizovaného zdroje připojeného ke konektoru J1. Dále je zde stabilizátor LF33CV na 3,3 V, jehož bližší popis a důvod výběru je v kapitole 3.4.

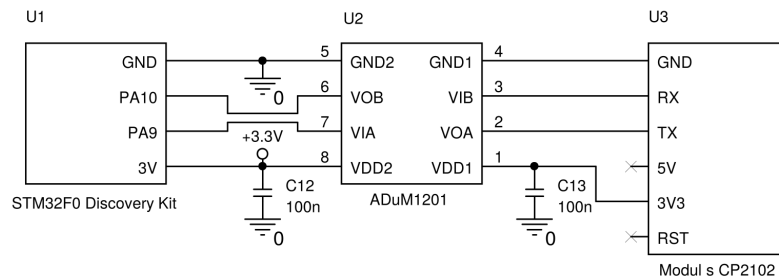
Zapojení napájecí části je na obrázku 4.3. Za stabilizátorem LF33CV je ochranná dioda D1 zabraňující zničení stabilizátoru při zapojení jiného napětí do obvodu. To by se mohlo stát například připojením USB kabelu k programovacímu USB vývojového kitu. Z důvodu velkého úbytku napětí na univerzální diodě je D1 Schottkyho dioda.



Obr. 4.3: Schéma napájení zařízení

Dále byl kvůli velkému úbytku napětí stabilizátor podložen Schottkyho diodou D2. Nutné to bylo proto, že teplotní čidlo LM75AD pracuje od napětí na vstupu $U_{IN} = 2,8 \text{ V}$. Této hodnoty se bez podložení stabilizátoru nepodařilo dosáhnout. Blokovací kondenzátory C1 a C2 jsou zapojeny podle datasheetu stabilizátoru. Kondenzátor C3 slouží k dočasnému napájení řídicích obvodů po vypnutí celkového napájení. Kdyby se na vypnutý mikrokontrolér dostalo nenulové napětí ze součástek napájených z 15 V, mohlo by dojít k jeho zničení. Tento kondenzátor zaručuje, že mikroprocesor bude napájen déle než součástky vyžadující 15 V.

Kvůli ochraně mikrokontroléru byl mezi převodník USB/UART zapojen oddělovač, aby se při vypnutém mikrokontroléru nemohlo z USB po vodičích RX a TX dostat na piny mikrokontroléru nenulové napětí. Zapojení oddělovače je na obrázku 4.4



Obr. 4.4: Zapojení oddělovače ADuM1201 a převodníku USB/UART k mikrokontroléru

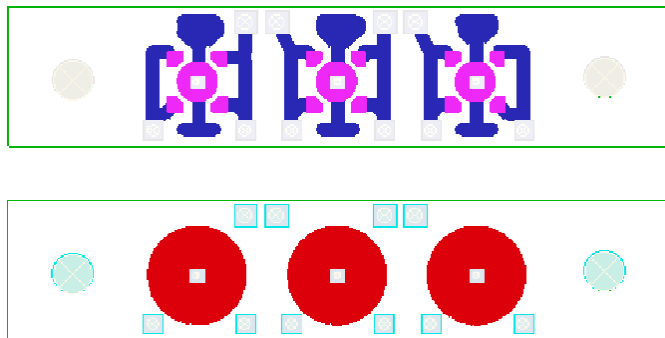
4.3. Chlazení

Pro osvětlovač bylo použito několik součástek vyžadujících zvláštní chlazení. Mezi ně patří regulátor LT3080, zakoupen v 5-pinovém pouzdře TO-220, pomocí kterého je upevněn na hliníkovém chladiči o rozměrech $l = 40 \times 23 \times 16 \text{ mm}$.

Další součástkou, kterou je potřeba chladit, je lineární stabilizátor napětí LF33CV. Nachází se v 3-pinovém pouzdře TO-220, ke kterému byl přidán hliníkový chladič ve tvaru U o velikosti $l = 13 \times 19 \times 13 \text{ mm}$.

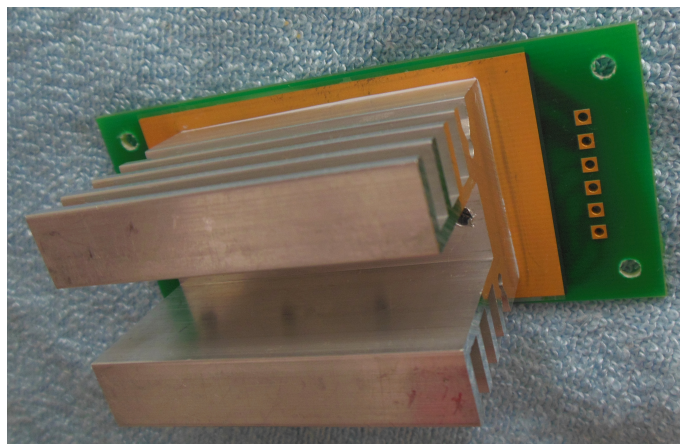
Největší problém s chlazením se vyskytl u UV LED diod. Jak již bylo psáno v kapitole 3, jejich výkon je při maximální svítivosti $P = 3 \text{ W}$. Každý kanál obsahuje 3 tyto diody vedle sebe a je tedy potřeba na každém kanálu uchladiť $P_{CELK} = 9 \text{ W}$. Diody se vyrábějí v pouzdře SMD. Odvod tepla je zajištěn termální ploškou umístěnou na spodní straně součástky. Na desce plošných spojů je pak potřeba dostatečně velká teplosměnná plocha, případně je nutné přidat chladič, aby se součástka mohla uchladiť. Protože se v datasheetu k této problematice nevyskytuje dostatek informací, bylo při prvním návrhu desek

na UV LED diody velmi obtížné odhadnout, jak velký polygon je potřeba. Použitý polygon se nakonec ukázal jako nedostatečný a UV LED diody dosahovaly teplot přes 150 °C. Obě strany použité desky plošných spojů jsou zobrazeny na obrázku 4.5.



Obr. 4.5: Deska na UV LED diody s nedostatečným chlazením

Po provedení experimentů nakonec se jako dostatečný ukázal hliníkový chladič o rozměrech $l = 32 \times 34 \times 50$ mm připevněný šrouby k desce. Zobrazen je na obrázku 4.6. Přes teplovodivou pastu odvádí teplo z polygonu, kam je přes prokovy vyvedeno od UV LED diod.



Obr. 4.6: Chlazení UV LED diod

4.4. Mechanické uspořádání

Osvětlovač je realizován na deskách plošných spojů. Skládá se z hlavní (ovládací) desky a desek vedlejších, sloužících k samotnému osvětlování objektu.

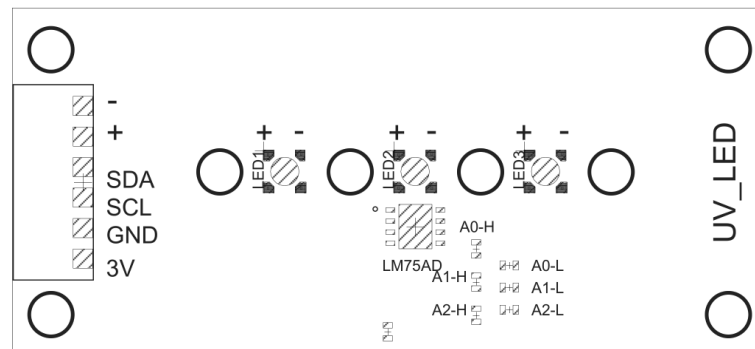
Deska s UV LED diodami, která je vyrobena zvlášť pro každý kanál, obsahuje pouze konektor, samotné UV LED diody a teplotní čidlo, umístěné co nejbližší k prostřední z diod. Pro lepší přenos tepla k čidlu je od chladičí plošky diody vyveden polygon přímo pod teplotní čidlo. Odvod tepla probíhá přes několik prokovů na druhou stranu desky, kde je na měděnou plochu připevněn chladič. Uspořádání součástí na desce je na obrázku 4.7.

Deska je vyrobena celkem čtyřikrát, pro každý kanál jedna. Všechny se vyskytují mimo hlavní desku, a to na konstrukci, kde osvěčují zkoumaný objekt, který je snímán

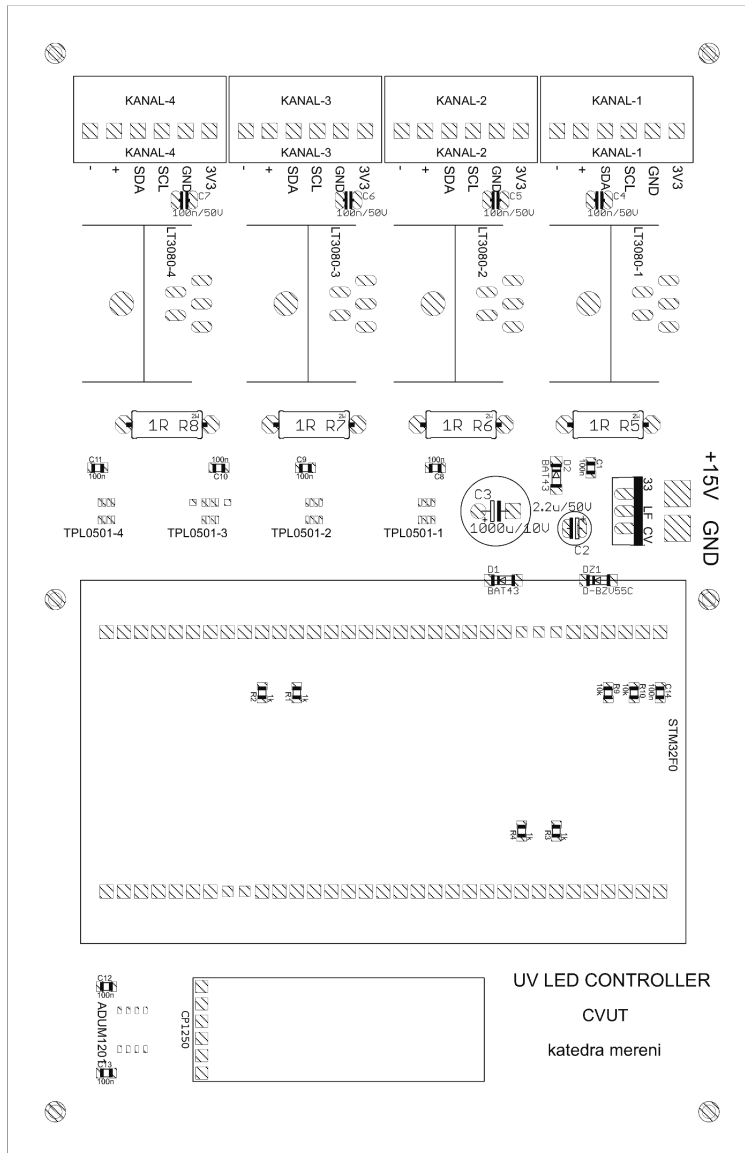
vysokorychlostními kamerami. Desky s UV LED diodami jsou s hlavní deskou propojeny kabelem, který zajišťuje napájení součástek a přenos informací z teplotního čidla do mikrokontroléru. Kompletní schéma a vzhled plošného spoje desky s UV LED diodami naleznete v příloze A. Schéma i deska obsahují místo pro odpory pro adresaci teplotního čidla (piny A0 - A2). Z každého adresního pinu teplotního čidla může být odpor připojen na GND nebo na VCC. U každé desky byly osazeny 3 z nich podle toho, jaká adresa byla zvolena. Tyto odpory tedy slouží jen jako propojky a mají hodnotu $R = 0 \Omega$. Na jednu ze zbylých plošek mezi GND a VCC byl osazen blokovací kondenzátor pro teplotní čidlo o velikosti $C = 0,1 \mu\text{F}$. Při osazování UV LED diod bylo kvůli chladícím ploškám pod součástkou nutné použít pájecí pastu a horký vzduch.

Hlavní deska obsahuje vývojový kit STM32F0 Discovery, součástky potřebné pro komunikaci s PC a řízení jednotlivých kanálů. Je uzavřena v krabici, která má otvory pro vývody pro každý kanál, napájecí konektor a konektor USB. Upevněna je šesti šrouby. Regulátory s chladiči jsou umístěny v dostatečných vzdálenostech tak, aby mohl proudit vzduch a docházelo k odvodu tepla. Uspořádání součástek je na obrázku 4.8. Kompletní schéma a vzhled plošného spoje hlavní desky naleznete v příloze A.

4.5. Náhled na DPS



Obr. 4.7: Uspořádání součástek na desce s UV LED diodami (osazovací výkres)



Obr. 4.8: Uspořádání součástek na hlavní desce (osazovací výkres)

Kapitola 5

Firmware v STM32F0

5.1. Vývojový kit STM32F0 Discovery

Celý osvětlovač je řízen mikrokontrolérem zabudovaným ve vývojovém kitu STM32F0 Discovery. Jedná se o produkt firmy STMicroelectronics. Přímou na desce jsou uživateli k dispozici 2 LED diody, spínač a především jsou zde vyvedeny piny z mikrokontroléru, kterých je celkem 66. Obsazenost jednotlivých pinů mikrokontroléru je zobrazena v tabulce 5.1. Na desce se nachází ještě ST-LINK/V2 určený pro debug a programování mikrokontroléru.

Ve vývojovém kitu STM32F0 Discovery je použit mikrokontrolér STM32F051R8T6 umožňující například komunikaci pomocí sběrnice SPI, I2C, HDMI CEC a komunikaci pomocí sériového rozhraní UART. Nechybí jeden 12-bitový DAC, jeden 12-bitový ADC a mnoho dalších funkcí.

Pro možnost řízení bylo potřeba zajistit komunikaci mezi mikrokontrolérem a uživatelem, k čemuž slouží převodník popsany v kapitole 4.2. Dále zde probíhá komunikace s teplotními čidly po sběrnici I2C a komunikace s digitálními potenciometry po sběrnici SPI.

Celý projekt je napsán v jazyce C++. To umožňuje rychlé a bezproblémové naprogramování mikrokontroléru.

označení pinu	funkce	popis
PA5	1_SCK	hodinový signál pro digitální potenciometry komunikující po sběrnici SPI
PA7	1_MOSI	datový vodič pro digitální potenciometry komunikující po sběrnici SPI
PA9	1_TX	posílání dat z mikrokontroléru pomocí rozhraní UART
PA10	1_RX	příjem dat do mikrokontroléru pomocí rozhraní UART
PB6	1_SCL	hodinový signál pro teplotní čidla komunikující po sběrnici I2C
PB7	1_SDA	datový vodič pro teplotní čidla komunikující po sběrnici I2C
PC0	Output	Chip Select pro 1 ze zařízení komunikující po sběrnici SPI (kanál 1)
PC1	Output	Chip Select pro 1 ze zařízení komunikující po sběrnici SPI (kanál 2)
PC2	Output	Chip Select pro 1 ze zařízení komunikující po sběrnici SPI (kanál 3)
PC3	Output	Chip Select pro 1 ze zařízení komunikující po sběrnici SPI (kanál 4)
3V	Power	napájení mikrokontroléru
GND	GND	propojení zemí

Tabulka 5.1: Tabulka využití pinů mikrokontroléru

5.2. Komunikace pomocí rozhraní UART

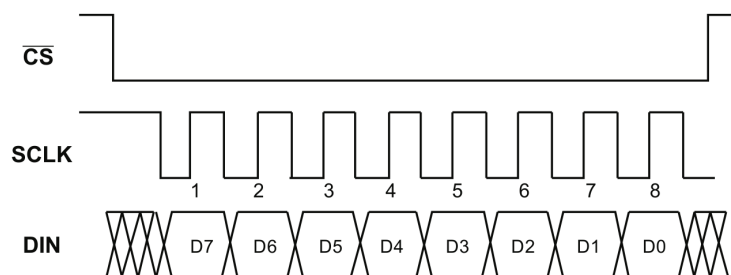
Pomocí převodníku USB/UART je možná komunikace mezi mikrokontrolérem a uživatelem. Uživatel může skrze HyperTerminal či jiného příkazového interpreta přímo odesílat potřebná data do mikrokontroléru a přijímat data poslaná mikrokontrolérem zpět. Tato data mohou být zpracována i vyšším, pro uživatele pohodlnějším, programem.

Pro používání této komunikace je nejprve potřeba inicializace UARTu v mikrokontroléru. Zvolila jsem rychlost 9600 Bd, 1 stop bit, bez parity. Příjem i vysílání dat je pak prováděno pomocí funkcí z knihovny `stm32f0xx_usart.c`, a to konkrétně funkcemi

```
void USART_SendData(USART_TypeDef* USARTx, uint16_t Data);
uint16_t USART_ReceiveData(USART_TypeDef* USARTx);
```

5.3. Komunikace po sběrnici SPI

Digitální potenciometry se ovládají přes sběrnici SPI. Zapisování dat probíhá podle obrázku 5.1 převzatého z datasheetu [10], podle kterého ji bylo potřeba inicializovat.



Obr. 5.1: Komunikace digitálního potenciometru TPL0501 po sběrnici SPI podle [10]

Pro inicializaci byl zvolen 8 bitový packet, přenos dat se sestupnou hranou, frekvence a piny pro Chip Select. Pro tyto účely byly zvoleny piny PC0 - PC3, jejichž hodnota na výstupu se mění podle toho, na který kanál mají být data odeslána.

Pro odeslání dat byla vytvořena metoda, ve které se podle vybraného kanálu nastaví hodnota daného pinu Chip Selectu na 0. Dále se pomocí funkce z knihovny `stm32f0xx_spi.h` odešlou zadaná data ve formátu `uint8_t` na sběrnici SPI:

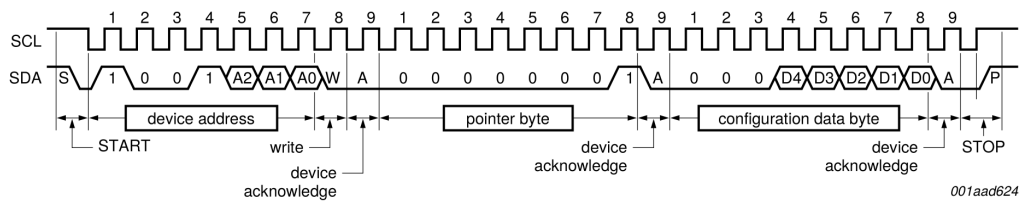
```
SPI_SendData8(SPI1, data);
```

Následuje zpoždovací smyčka zajišťující zpoždění pro bezchybné provedení operací. Nakonec se všechny piny pro Chip Select nastaví na hodnotu 1. Tím je celá komunikace u konce.

5.4. Komunikace po sběrnici I2C

Po této sběrnici komunikují teplotní čidla LM75AD snímající teplotu UV LED diod. Každé čidlo má určenou 8 bitovou adresu, první 4 bity jsou z datasheetu [12], další 3 bity jsou nastaveny fyzicky pomocí pinů A0 - A2. Poslední bit určuje, zda jde o čtení nebo zápis. Nejprve opět musí dojít k inicializaci. K vytvoření kódu jsem použila knihovny od firmy STMicroelectronics [13]. Při čtení teploty z čidla zadaného adresou je nejprve

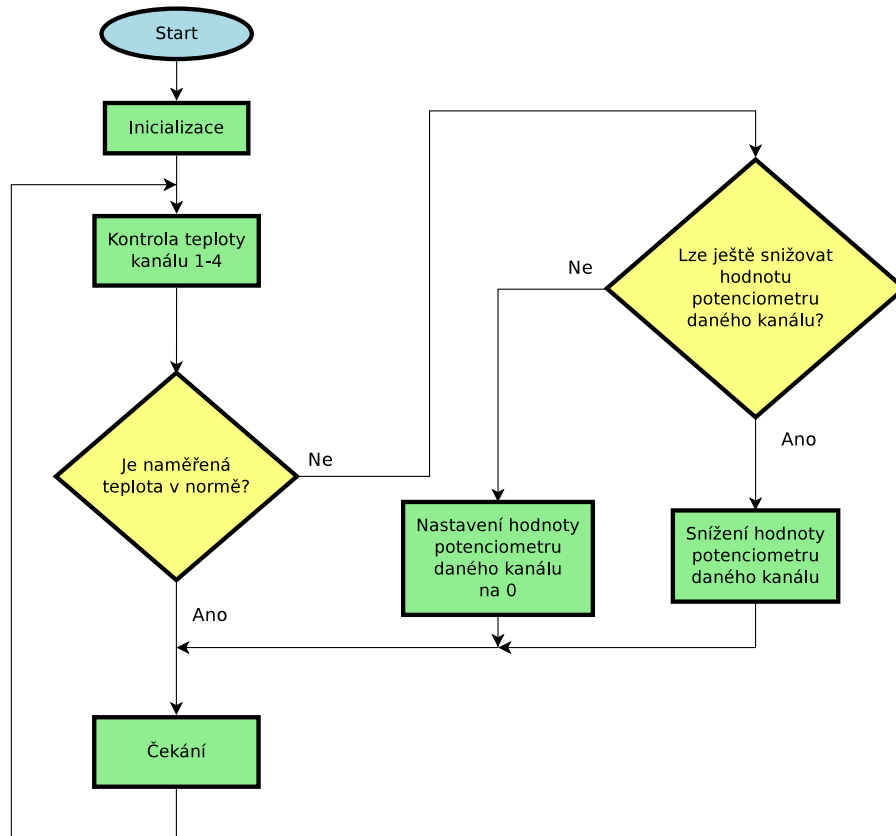
podle obrázku 5.2 převzatého z [12] zapsán Configuration register (Conf). Poté již dojde ke čtení teploty z registru Temperature register (Temp).



Obr. 5.2: Zapsání kofiguračního registru teplotního čidla LM75AD po sběrnici I2C podle [12]

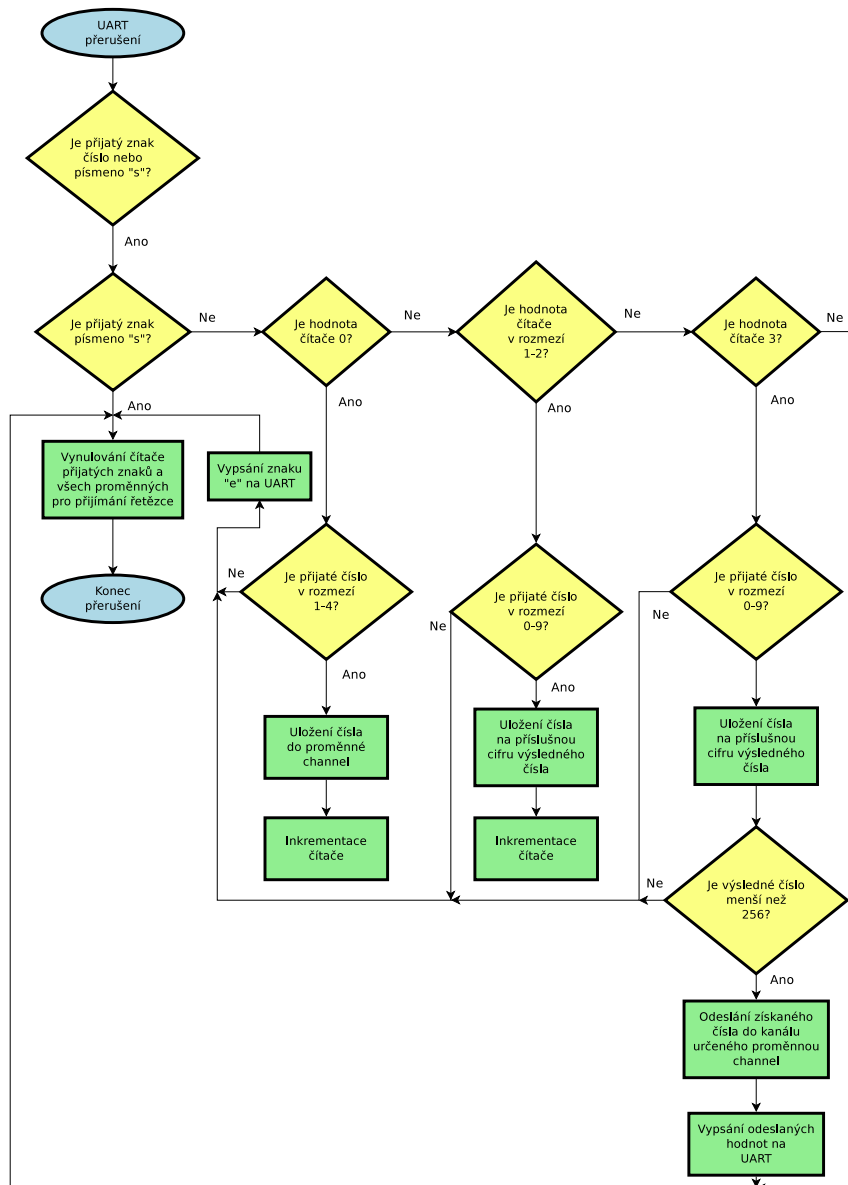
5.5. Ovládací smyčka

Po spuštění mikrokontroléru dojde nejprve k inicializaci výše zmíněných sběrnic. Dále se v nekonečné smyčce kontrolují teploty postupně všech 4 teplotních čidel. V případě, že je teplota na některém z nich vyšší, než je maximální povolená teplota UV LED diod, je zjištěna poslední hodnota odeslaná po sběrnici SPI na příslušný digitální potenciometr a dojde k jejímu snížení. Následuje znovu kontrola teploty a případné snižování hodnoty potenciometru tohoto kanálu, dokud teplota neklesne na přípustnou hranici. K přehřátí UV LED diod, a tedy nutnosti snižovat hodnotu na potenciometru by v dobře větrané místnosti nemělo dojít. Protože jsou však tyto diody velmi citlivé na přehřátí, je nutné jejich teplotu kontrolovat. Vývojový diagram je na obrázku 5.3.



Obr. 5.3: Ovládací smyčka

Při odeslání znaku na UART dojde k přerušení, které ho zpracuje. Vývojový diagram je na obrázku 5.4. Mikrokontrolér sleduje příjem 4 znaků, kde první znak je číslo kanálu a následující 3 znaky hodnota pro digitální potenciometr. Program znaky zpracuje a pokud čísla spadají do nastavených mezí, je výsledné číslo odesláno na zadaný potenciometr a vypsáno zpět pro kontrolu na UART.



Obr. 5.4: Zpracování znaku odeslaného na UART

Kapitola 6

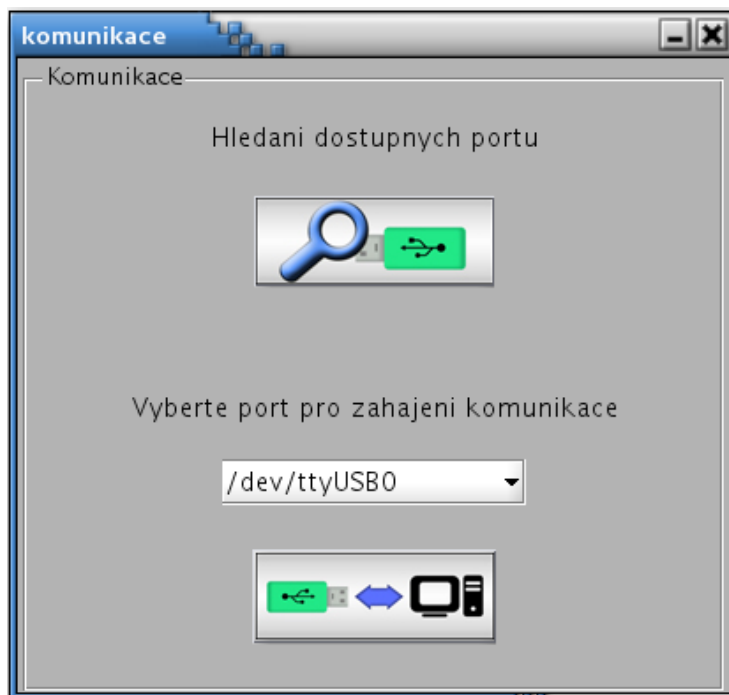
Obslužný software v Matlabu

6.1. Shrnutí požadavků

Osvětlovač má být možné zcela řídit pomocí Matlabu. Bylo požadováno vytvořit dva režimy. Experimentální, tedy jednoduše ovladatelné GUI, a automatizovaný, obsahující funkce pro řádkový Matlab.

6.2. GUI

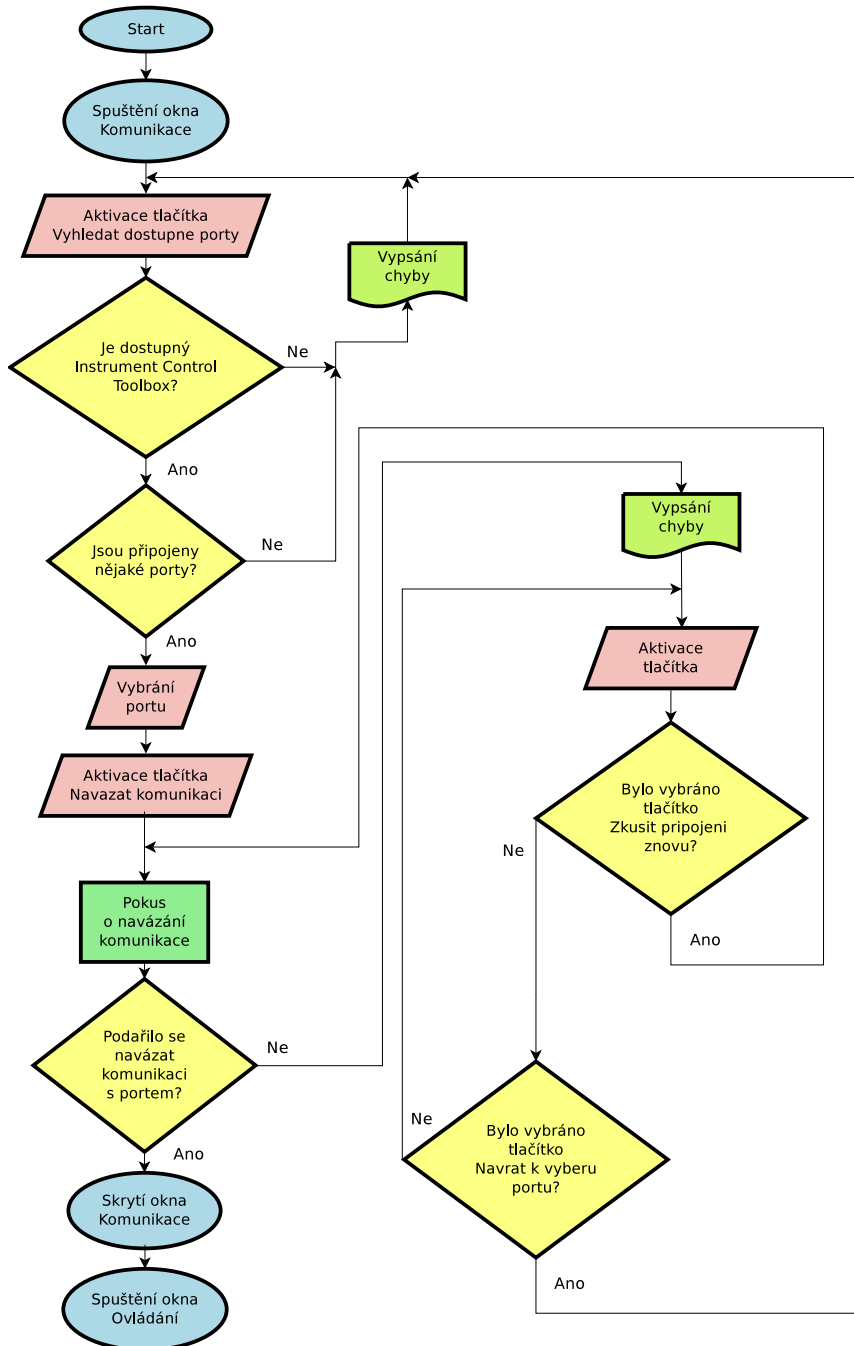
Grafické uživatelské prostředí, vhodné pro experimenty, bylo vytvořeno pomocí GUIDE v Matlabu. Obsahuje 2 okna. První je pro výběr portu, pomocí kterého se bude komunikovat a pro zahájení komunikace, pojmenované „komunikace“. Druhé, pojmenované „ovladani“, umožňuje ovládání svítivosti všech čtyř kanálů.



Obr. 6.1: Okno Komunikace

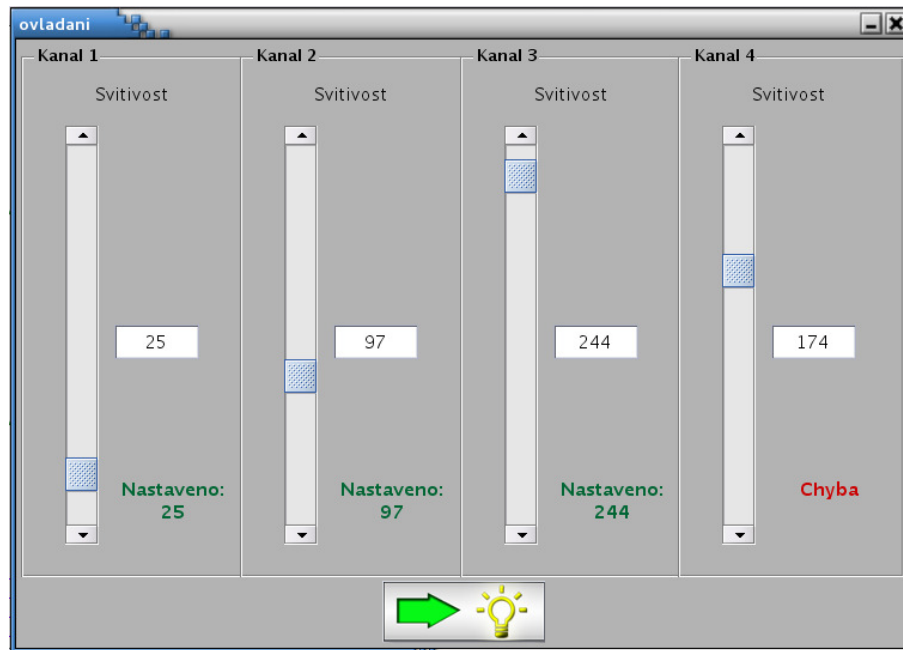
6.2.1. Okno Komunikace

Program je třeba spouštět s administrátorským oprávněním. Pomocí tlačítka „Vyhledat dostupne porty“ se vyhledají připojené porty. Zároveň proběhne kontrola, zda je v Matlabu nainstalován Instrument Control Toolbox. Nalezené porty jsou zobrazeny v popupmenu, kde se vybráním příslušného portu a kliknutím na tlačítko „Navázat komunikaci“ naváže spojení s vybraným zařízením. Pokud nebyl nalezen žádný port, je uživateli vypsána chyba a výzva ke kontrole, zda je program spuštěn s administrátorským oprávněním. Vzhled okna je zobrazen na obrázku 6.1. Vývojový diagram k této části GUI je na obrázku 6.2.



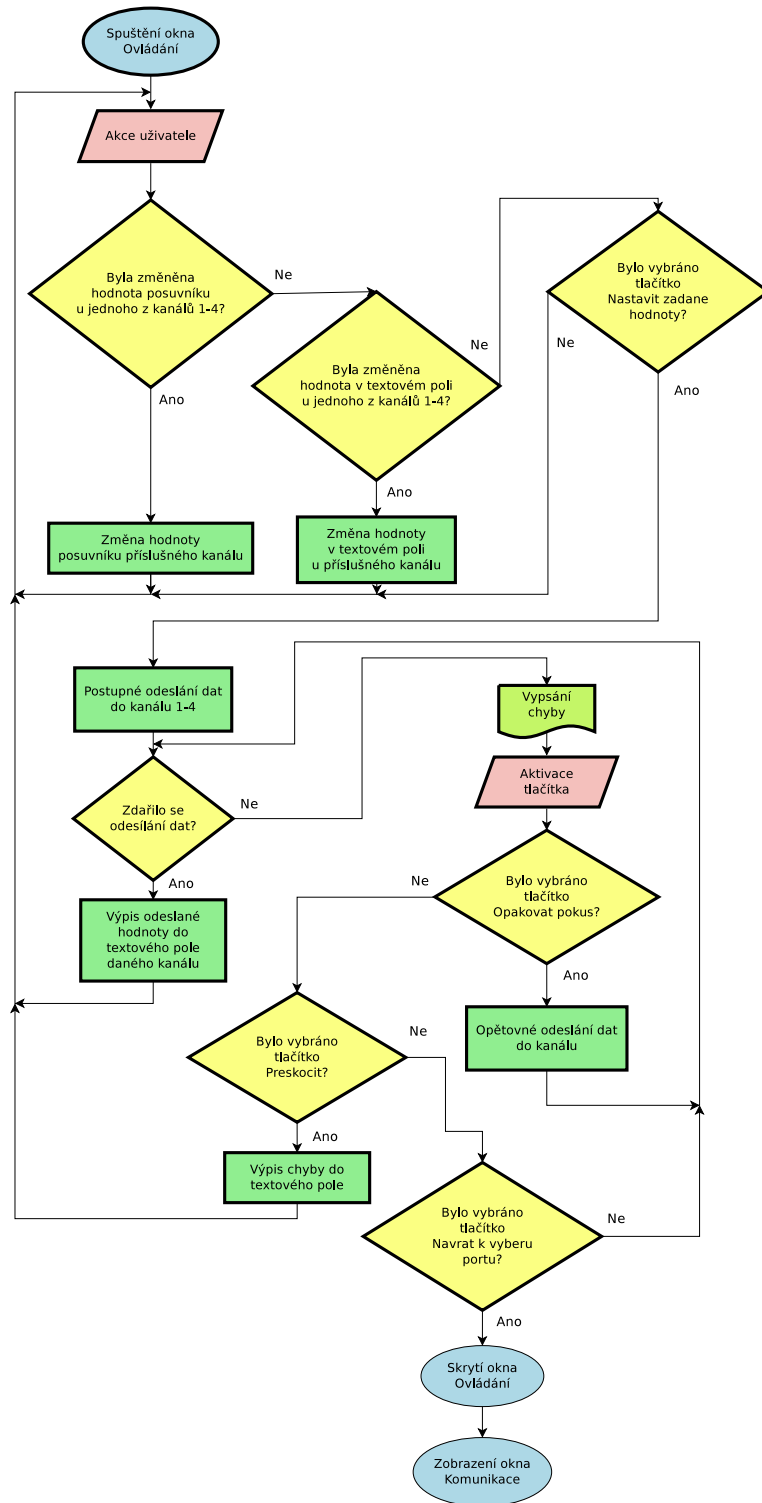
Obr. 6.2: Vývojový diagram okna Komunikace

6.2.2. Okno Ovládání



Obr. 6.3: Okno s ovládáním

Po navázání komunikace s portem se otevře okno s ovládáním. Každému kanálu odpovídá jeden posuvník s textovým polem, kde je možné zvolit hodnotu, která se má nastavit na digitálním potenciometru. Digitální potenciometry se pak nastaví stiskem tlačítka „Nastavit zadané hodnoty“. Pokud nastavení potenciometru proběhne v pořádku, objeví se v textovém poli u daného kanálu informace, jaká hodnota je nyní nastavena. Když se nastavení nezdaří, je vypsána chyba s možnostmi „Opakovat pokus“, „Navrat k vyberu portu“ a „Preskociť“, kdy je nastavení daného kanálu přeskočeno. V tomto případě se do textového pole u příslušného kanálu vypíše červeným písmem informace, že nastala chyba, jako je tomu na obrázku 6.3 u kanálu 4. Vývojový diagram je na obrázku 6.4.



Obr. 6.4: Vývojový diagram okna Ovládání

6.3. Funkce pro řádkový Matlab

6.3.1. Hledání dostupných portů

Pro samotnou komunikaci s mikrokontrolérem jsou potřeba další funkce mimo rozhraní GUI. Pro hledání dostupných sériových portů existuje v Matlabu funkce z Instrument Control Toolboxu

```
serialInfo = instrhwinfo('serial')
```

Funkce nalezne všechna připojená sériová zařízení. Problém však nastane, pokud je zařízení z počítače odpojeno a opět připojeno. Systém ho může zobrazit pod jiným sériovým portem (ve Windows jde o jiné číslo COM portu, v Linuxu o jiné číslo připojeného zařízení ttyUSB). Matlab pak není schopen tuto změnu zaznamenat, a odkazuje tak na neexistující porty. Řešením je buď pokaždé při vyjmutí zařízení restartovat Matlab, nebo nepoužívat tuto funkci a hledat připojené porty přímo v systému. Rozhodla jsem se Matlab obejít a hledat připojené porty přímo. Vodítkem mi byl kód [14] z fóra k Matlabu, částečně stažen a poupraven pro mé účely. Celý kód je obsažen v souboru `hledejVSystemu.m`. Nejprve je zjištěn operační systém, protože se u každého liší způsob hledání dostupných portů. V Linuxu jsou vyhledány následujícím kódem:

```
if isunix
    portBuffer1 = ls('/dev/ttyU*');
end
```

Všechny dostupné porty jsou uloženy do řetězce `portBuffer1`, ze kterého jsou pak rozděleny a uloženy do matice. U každého portu uloženého v matici je pak vytvořeno sériové připojení, takže již budou zobrazeny funkcí `instrfind`.

Pro Windows jsou nejprve do pole řetězců `ports` uloženy všechny COM porty od 1 do 256.

```
ports = strtrim(cellstr(num2str((1:256)', 'COM%i')));
```

Postupně se program pokusí každý port otevřít. Ty, u kterých se to podaří, jsou uloženy do nového pole řetězců a je vytvořeno jejich sériové připojení.

V souboru `nalezenePorty.m` jsou příkazem `instrfind` nalezeny všechny dostupné porty a uloženy do pole řetězců, kde jsou odstraněny duplicity a přebytečné znaky.

6.3.2. Komunikace s mikrokontrolérem

Zahájení komunikace s portem a ošetření výjimek zajišťují příkazy v souboru `otevrit.m`. Otevření sériového portu `port` se provede příkazy

```
s~ = serial(port, 'BaudRate', 9600);
fopen(s);
```

Odeslání hodnoty do digitálního potenciometru zajišťuje funkce `send` ze souboru `sendSerial.m`. Funkce má tři parametry: `serial` - sériový port, který je nutný mít před volání funkce otevřen, `channel` - číslo kanálu, na který má být odeslána `value` - hodnota. Samotné odeslání hodnoty uložené v proměnné `cislo` je provedeno příkazem

```
out = query(serial, cislo);
```

V proměnné `out` je uloženo číslo vrácené mikrokontrolérem. To je porovnáno s odeslaným číslem a v případě shody je odeslání dat považováno za úspěšné a funkce vrátí návratovou hodnotu `correct` rovnou 1. V opačném případě je hodnota `correct` = 0.

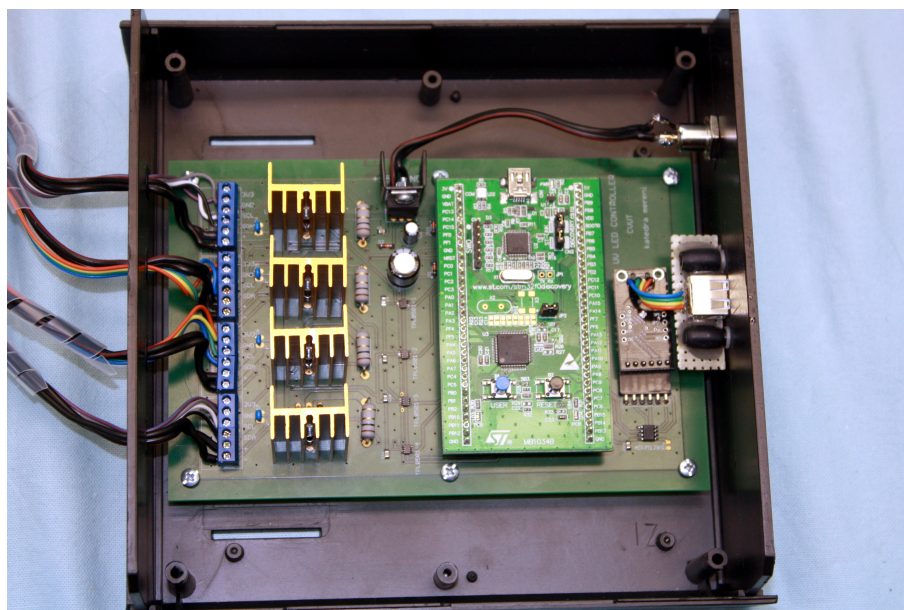
Při zavírání programu je nutné port opět zavřít. To je provedeno příkazem

```
fclose(s);
```

Kapitola 7

Výsledky práce

Zařízení bylo vyrobeno a otestováno. Zprvu se nepodařilo zajistit bezchybnou funkci všech částí obvodu a bylo nutné opravit hlavní desku přidáním blokovacích kondenzátorů o velikosti $C = 100 \text{ nF}$ na vstupy IN regulátorů LT3080. Z důvodu nepřítomnosti tohoto kondenzátoru se na vstupním pinu regulátoru vyskytovala vysoká rušivá frekvence, konkrétně 1,5 MHz. To způsobovalo rušení komunikace teplotních čidel s mikrokontrolérem, a tím i nemožnost měřit teplotu jednotlivých kanálů. Po přidání blokovacích kondenzátorů již k rušení nedochází. Výsledná deska je na obrázku 7.1.



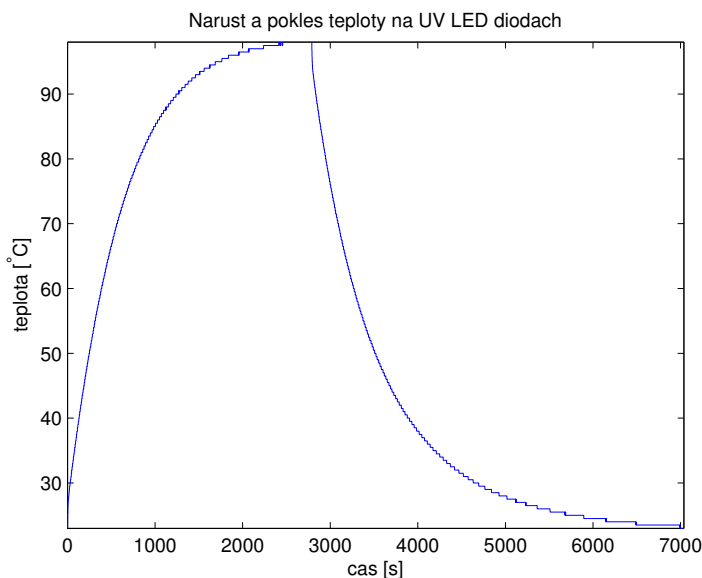
Obr. 7.1: Fotografie hlavní desky v krabičce

K hlavní desce byly připojeny 4 kanály s UV LED diodami a teplotním čidlem. Délka přívodních kabelů k těmto kanálům je maximální možná, aby byla splněna podmínka pro komunikaci teplotních čidel s mikrokontrolérem po sběrnici I2C. Délka vodičů je dána kapacitou datového a hodinového vodiče, která má být maximálně 400 pF. Datový vodič má kapacitu 344,7 pF, hodinový mírně tuto hodnotu přesahuje a má 423 pF. V této aplikaci to však nezpůsobuje komplikace. Fotografie celého zařízení je na obrázku 7.2.



Obr. 7.2: Fotografie celého zařízení

Dále jsem měřila teplotu na součástkách s velkým ztrátovým výkonem. Při maximálním zahřátí regulátoru LT3080 byla teplota na něm 75 °C. Stabilizátor LF33CV dosahoval teploty 47 °C. Teplotu na UV LED diodách jsem měřila při maximální svítivosti. V intervalu po 1 s jsem snímala hodnotu z teplotního čidla a sledovala její nárůst. Když se teplota ustálila, byla svítivost snížena na minimum a byl sledován pokles teploty. Teplota v místnosti byla 23 °C. Výsledky jsem zanesla do grafu, který je na obrázku 7.3.

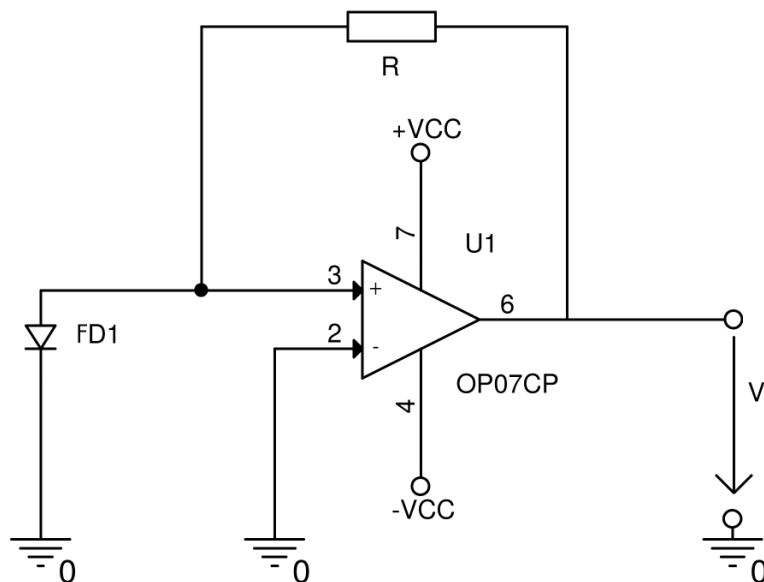


Obr. 7.3: Průběh teploty na UV LED diodách při jejich plném zapnutí a následném vypnutí

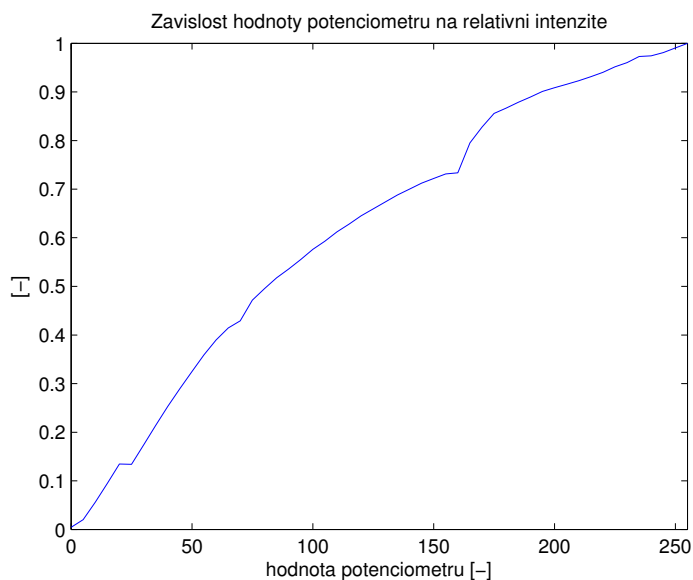
Z důvodu možného přehřátí UV LED diod byla teplota, při které se má automaticky snižovat hodnota na potenciometru, zvolena 85 °C.

Závislost odporu digitálního potenciometru na nastaveném binárním slově

není lineární. Zároveň není zcela lineární ani závislost svítivosti UV LED diod na procházejícím proudu. Svítivost UV LED diod se také mění v závislosti na jejich teplotě. Pro následující tři měření jsem použila I-U převodník s fotodiódou a operačním zesilovačem OP07CP. Svítivost byla snímána na fotodiódě FD1 a byla reprezentována naměřeným napětím. Schéma zapojení měřicího přípravku je na obrázku 7.4.



Obr. 7.4: Měřicí přípravek

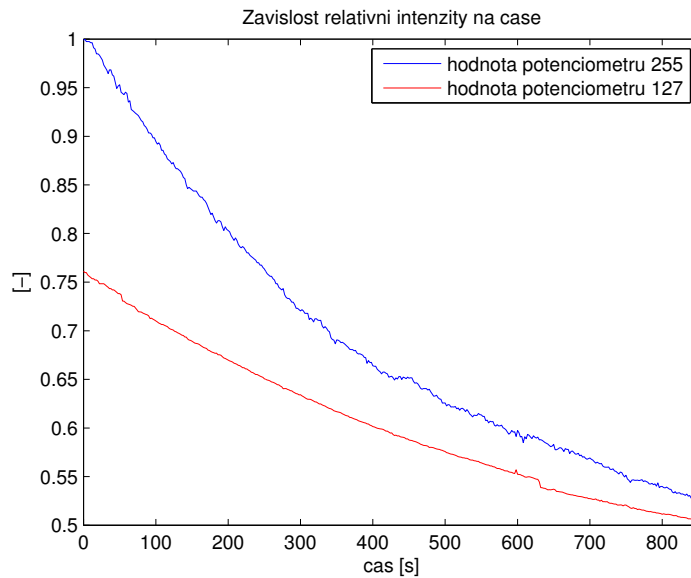


Obr. 7.5: Orientační závislost relativní intenzity na binárním slově

Na obrázku 7.5 je závislost hodnoty binárního slova na relativní intenzitě. Napájení operačního zesilovače bylo $VCC = \pm 15$ V. Odpor R byl potom volen $R = 47$ k Ω . Hodnotu potenciometru jsem nastavila na maximum a posléze ji snižovala o hodnotu

5. Charakteristika je ovlivněna postupným snižováním teploty UV LED diod. Výsledky jsou proto pouze orientační.

Nakonec jsem měřila změnu svítivosti UV LED diod v čase. Pro napájení operačního zesilovače $VCC = \pm 9\text{ V}$ a odpor $R = 22\text{ k}\Omega$ jsem v intervalu 2 s snímala hodnotu napětí při maximální svítivosti UV LED diod, tedy při hodnotě 255 na potenciometru a pro poloviční hodnotu potenciometru, tedy 127. Výsledný průběh je v na obrázku 7.6.



Obr. 7.6: Orientační závislost relativní intenzity UV LED diod na čase

Kapitola 8

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit osvětlovač pro řízené osvětlení objektu při nedestruktivním testování metodou MFL a tento cíl byl splněn.

Před vytvořením hardwarové části bylo nejprve potřeba prohledat velké množství dokumentace pro nalezení vhodných součástek. Tyto součástky byly následně otestovány a podle toho, zda splňovaly kladené požadavky, byly použity ve výsledném zařízení. Nejtěžší bylo sehnat vyhovující regulátor proudu pro řízení svítivosti UV LED diod. Nakonec byl nalezen kvalitní regulátor LT3080, o kterém pojednává kapitola 3.3.2. S tímto regulátorem, použitým spolu s digitálním potenciometrem pro každý kanál osvětlovače, se podařilo splnit požadavek na samostatné řízení zářivého toku čtyř nezávislých kanálů s výkonovými svítivými diodami vyzařujícími v ultrafialové oblasti spektra. Některé problémy se ukazovaly až v průběhu tvoření a testování zařízení, jako například potřeba teplotní ochrany výkonových UV LED diod. V programu Eagle byla navržena, osazena a oživena hlavní deska obsahující vývojový kit STM32F0 Discovery od STMicroelectronics, ovládání všech čtyř kanálů, obvod pro komunikaci s PC, napájecí obvody a součástky s těmito částmi spojené. Dále byly vyrobeny, osazeny a otestovány 4 desky s UV LED diodami, teplotním čidlem a velkým chladičem pro chlazení UV LED diod.

Pro STM32F0 byl vytvořen firmware zajišťující funkci celého zařízení. Komunikace s nadřazeným počítačem probíhá pomocí rozhraní UART. Svítivost diod se mění ovládáním digitálních potenciometrů po sběrnici SPI. Teplota z teplotních čidel je získána po sběrnici I2C a dále zpracována. V případě překročení je svítivost UV LED diod snižována, dokud není teplota dostatečně nízká.

Ovládání jednotlivých kanálů z počítače probíhá přes rozhraní USB. Pro snadné nastavování byl vytvořen grafický obslužný software v Matlabu obsahující funkce snadno použitelné při dalším vývoji. Software je napsán a otestován pro systémy MS Windows a Linux.

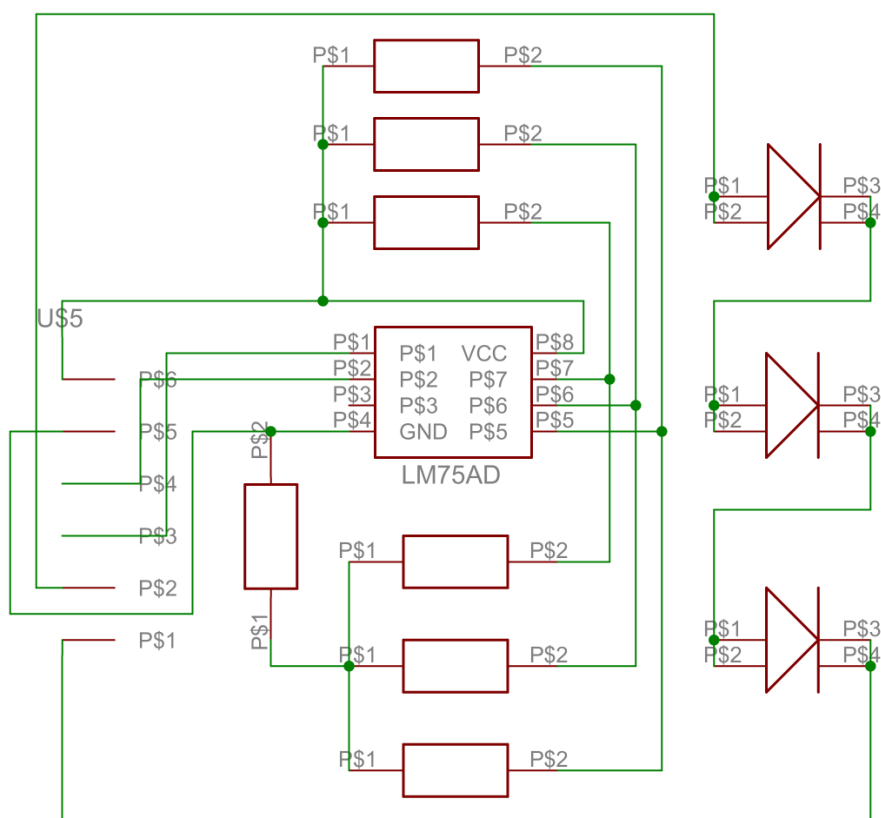
Práce splňuje všechny požadavky na ni kladené a věřím, že vyrobený osvětlovač pomůže v dalším vývoji testeru pro detekci trhlin při testování metodou MFL. Do budoucna by se dal osvětlovač vylepšit například vytvořením sběrnice, na kterou by mohl připojovat libovolný počet kanálů. Pro řízení by mohl být použit místo vývojového kitu samotný mikrokontrolér. Dále by bylo vhodné přidat na chladiče k UV LED diodám malé ventilátory pro vylepšení jejich chlazení.

Literatura

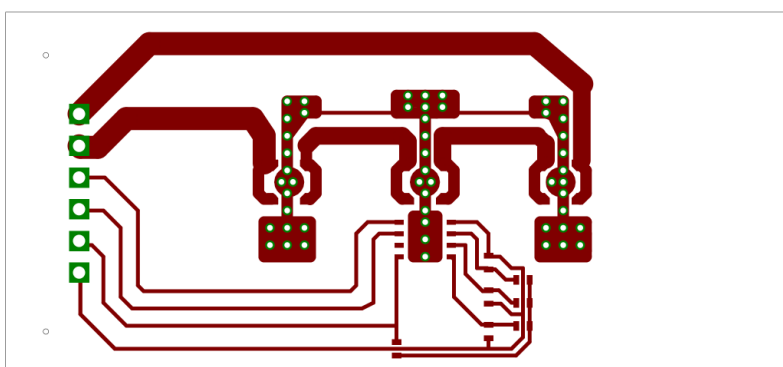
- [1] Marcel Kreidl a Václav Matz a Radislav Šmíd a Stanislav Štarman. *Ultrazvuková defektoskopie*. Starmans electronics, Praha, 2011. ISBN: 978-80-254-6606-3.
- [2] Marcel Kreidl a Radislav Šmíd. *Technická diagnostika*. BEN, Praha, 1. vyd. edition, 2006. ISBN: 80-7300-158-6.
- [3] Peter J Shull. *Nondestructive evaluation*. M. Dekker, New York, 2002. ISBN: 0-8247-8872-9.
- [4] PAPco, s.r.o. <http://www.papco.cz/produkty/magneticka-zkouska/22uv-lampy-a-inspektory>.
- [5] Fachhochschule Münster. https://www.fh-muenster.de/fb1/downloads/personal/juestel/juestel/AlGaN_UV-LEDs_UliEngelhardt-KaiKruse_.pdf.
- [6] International ultraviolet association (IUVA). http://iuva.org/sites/default/files/member/news/IUVA_news/Vol06/Issue4/060401HeeringArticle.pdf.
- [7] Honle UV technology. http://www.hoenle.de/fileadmin/hoenle/html/presse/Fachartikel_en/Grundlagen_en.pdf.
- [8] Analog Devices. *Technical Data Sheet ADuM1201*. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADuM1200_1201.pdf.
- [9] Linear Technology. *Technical Data Sheet LT3080*. <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3080fc.pdf>.
- [10] Texas Instruments. *Technical Data Sheet TPL0501-100*. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tp10501-100.pdf>.
- [11] LEDENGIN. *Technical Data Sheet LZ1-00U600*. <http://www.ledengin.com/files/products/LZ1/LZ1-00U600.pdf>.
- [12] Philips. *Technical Data Sheet LM75AD*. <http://www.gme.cz/img/cache/doc/969/012/lm75ad-datasheet-1.pdf>.
- [13] STMicroelectronics. *Peripherals library STSW-STM32048*. <http://www.st.com/web/catalog/tools/FM147/CL1794/SC961/SS1743/PF257884>.
- [14] Matlab forum. http://www.mathworks.com/matlabcentral/newsreader/view_original/909037.

Příloha A

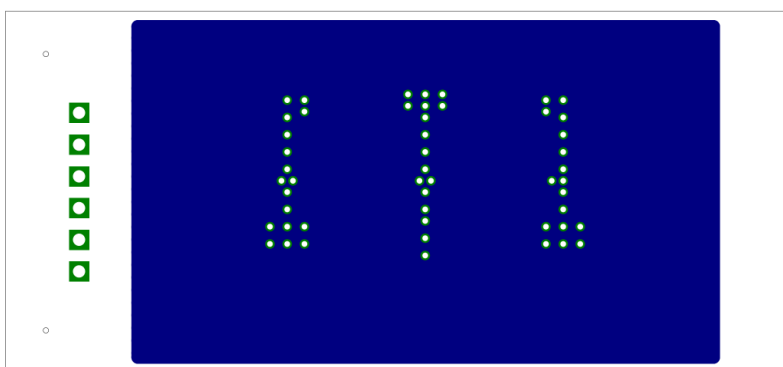
Schéma a návrh DPS



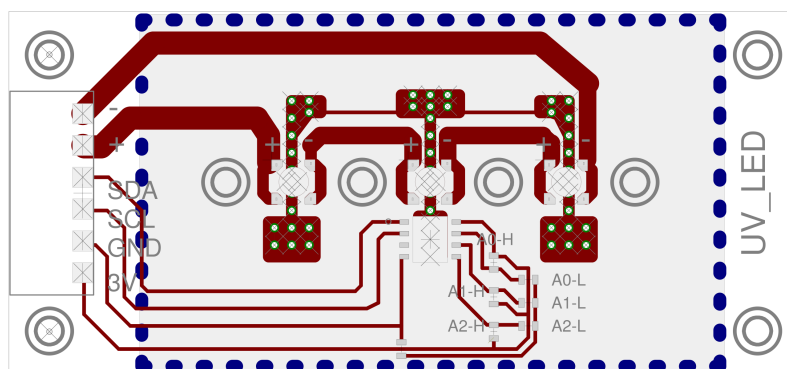
Obr. A.1: Schéma desky s UV LED diodami



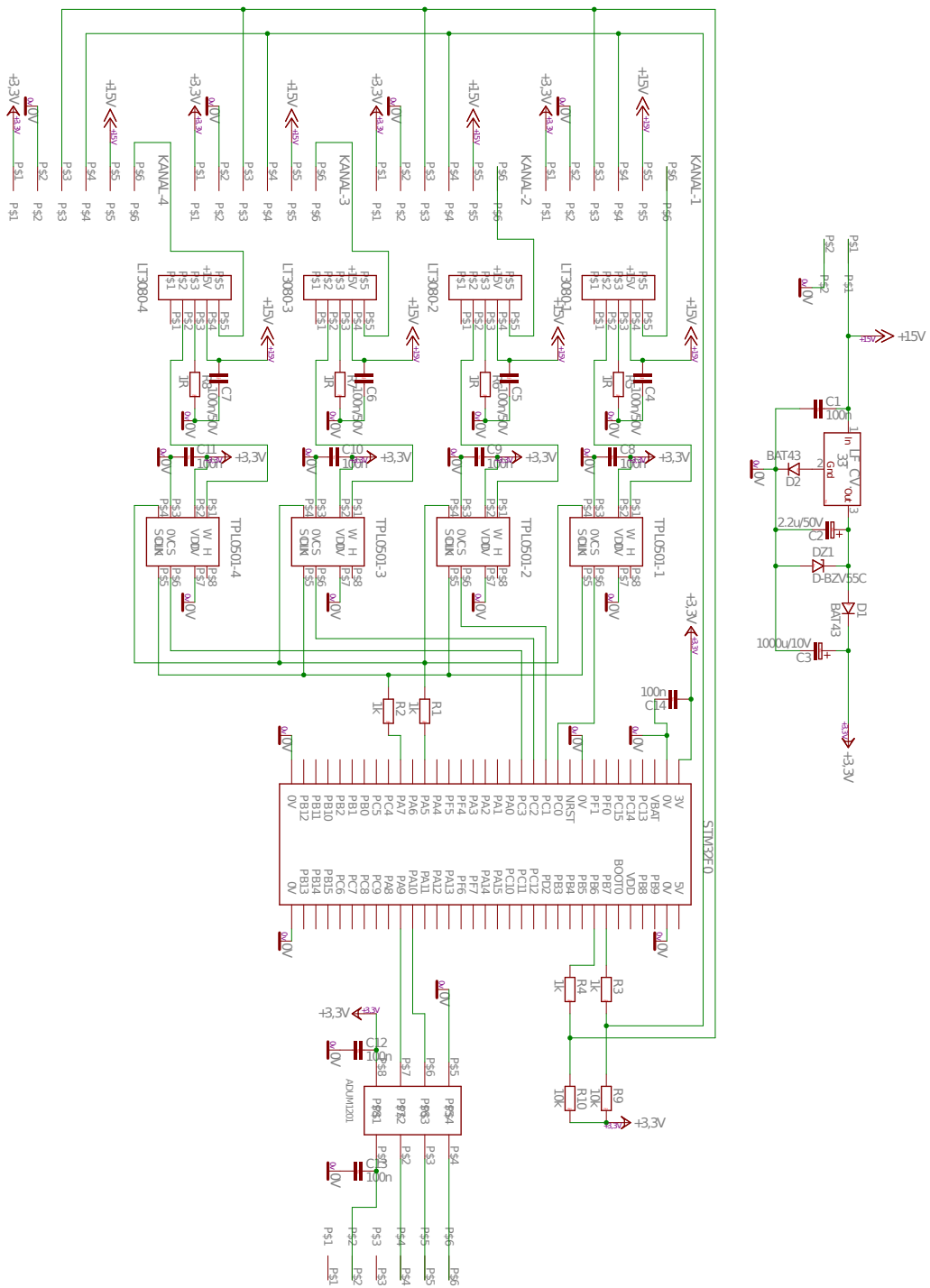
Obr. A.2: Plošný spoj desky s UV LED diodami - strana TOP



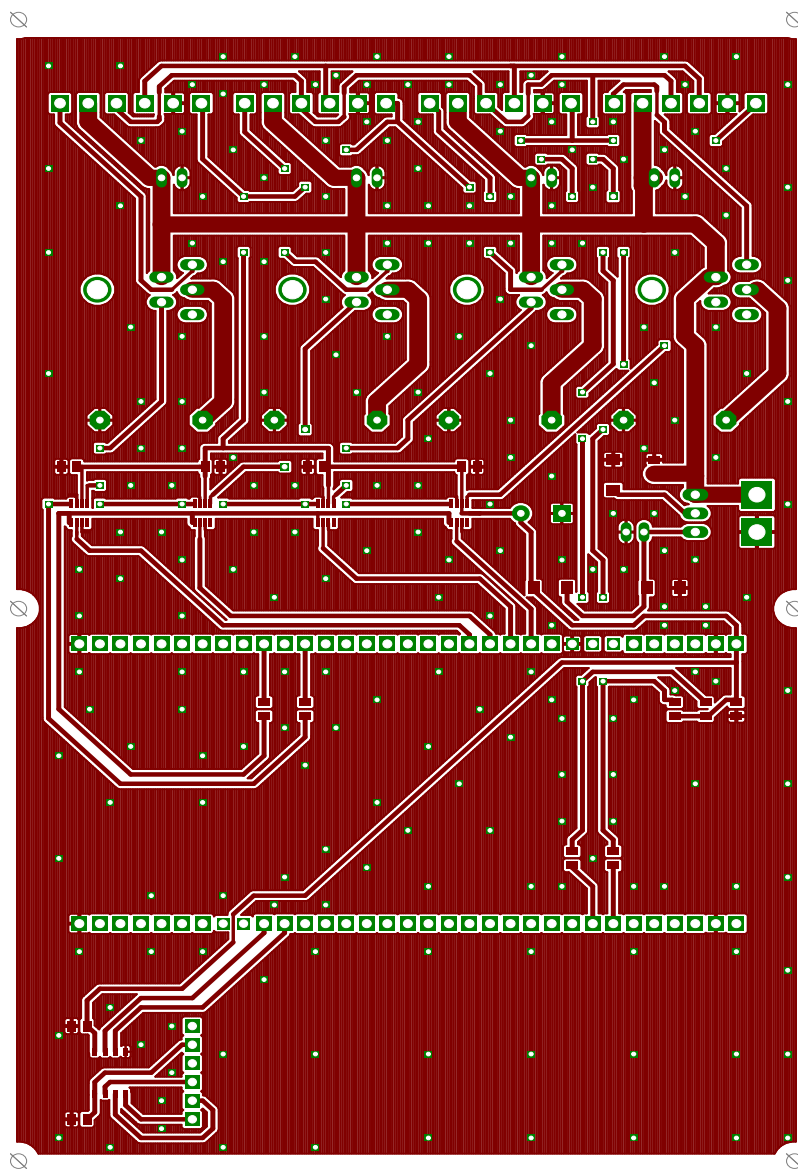
Obr. A.3: Plošný spoj desky s UV LED diodami - strana BOTTOM



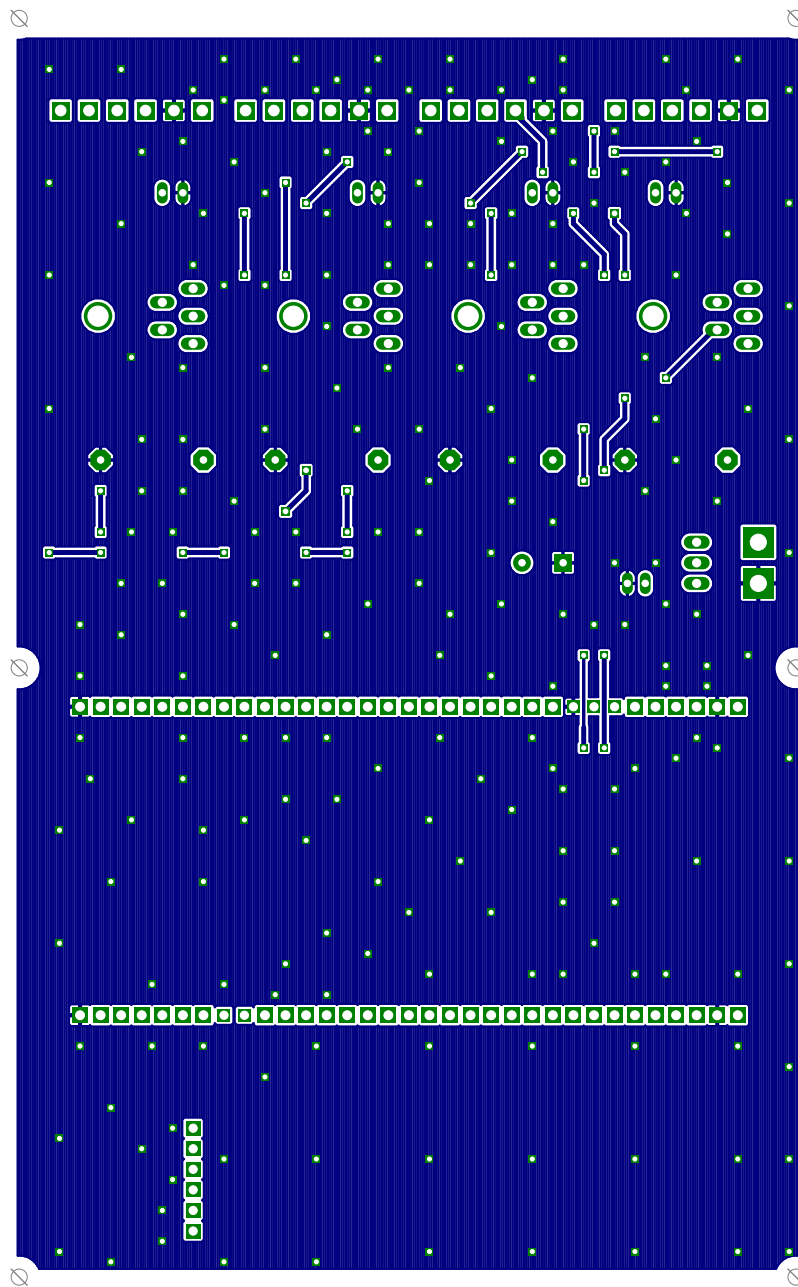
Obr. A.4: Plošný spoj desky s UV LED diodami s rozmístěním součástek



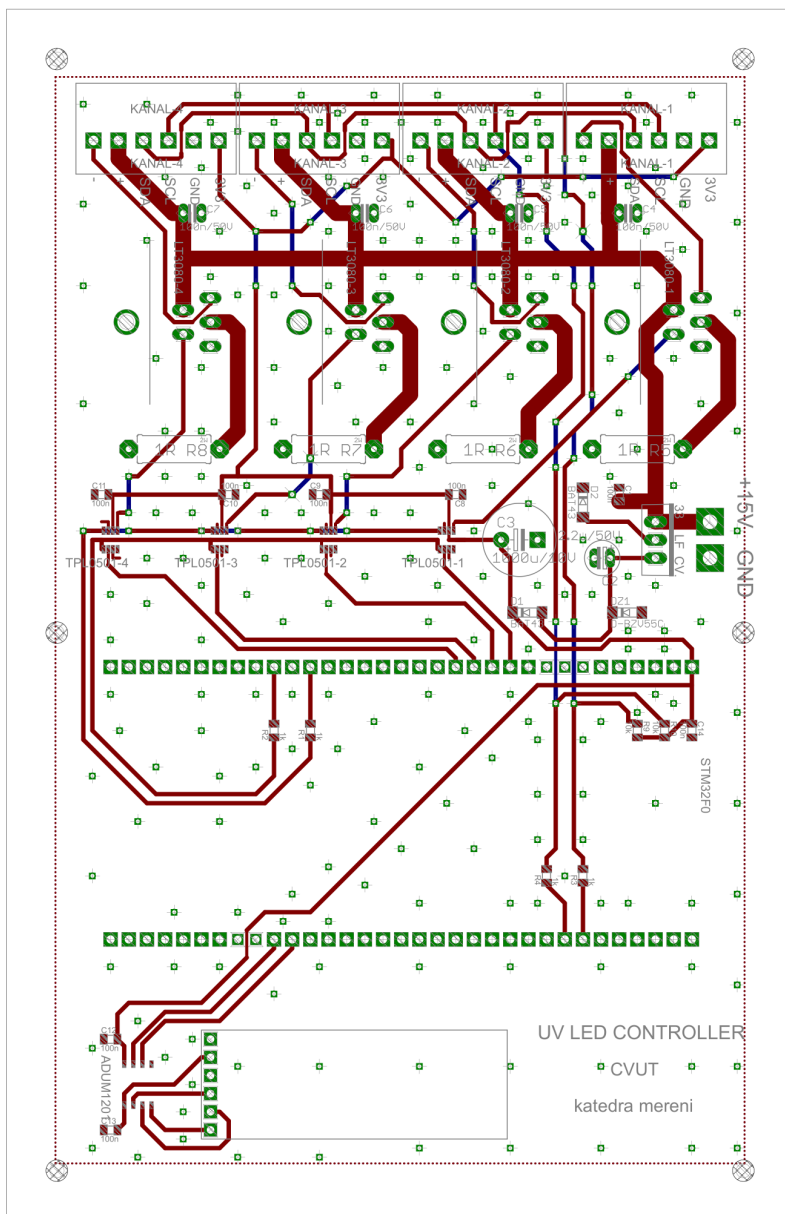
Obr. A.5: Schéma hlavní desky



Obr. A.6: Plošný spoj hlavní desky - strana TOP



Obr. A.7: Plošný spoj hlavní desky - strana BOTTOM



Obr. A.8: Plošný spoj hlavní desky s rozmístěním součástek (pro přehlednost nejsou zobrazeny polygony)

Příloha B

Obsah příloženého CD

- Firmware - obslužný firmware pro STM32F0
- Matlab funkce - funkce pro ovládání z Matlabu
- Matlab GUI - obslužný software
- PCB - podklady pro výrobu plošných spojů
- Text BP - vlastní text práce