

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Laserový projektor

Šimon Hrouda

Brno 2024

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

LASEROVÝ PROJEKTOR

LASER PROJECTOR

AUTOR Šimon Hrouda

ŠKOLA Gymnázium Brno-Řečkovice, p. o.,
Terezy Novákové 2, 621 00 Brno

KRAJ Jihomoravský

INTERNÍ KONZULTANT Mgr. Kateřina Vídenková

EXTERNÍ KONZULTANT Tomáš Rohlínek

OBOR 10. Elektrotechnika, elektronika
a telekomunikace

Brno 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma *Laserový projektor* jsem vypracoval/a samostatně pod vedením Tomáše Rohlínka a Mgr. Kateřiny Vídenkové a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném změní.

V Brně dne: _____

Šimon Hrouda

Poděkování

Děkuji svému externímu konzultantovi Tomáši Rohlíkovi a své interní konzultantce Mgr. Kateřině Vídenkové za obětavou pomoc, podnětné připomínky a nekonečnou trpělivost, kterou mi během práce poskytovali.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.

jihomoravský kraj



Anotace

Klíčová slova

Annotation

Keywords

Obsah

Úvod	10
Cíle	10
1 Laser scanning [6]	11
1.1 Akusticko-optické skenery	11
1.2 Hranolové skenery	12
1.3 Galvanometrové skenery	12
1.3.1 Galvanometr	13
1.3.2 Konstrukce galvanometrových skenerů	14
2 Laserová projekce [11]	17
3 hardware	20
3.1 Řídící jednotka — Raspberry Pi	20
3.2 Set galvanometrů se zrcátky	21
3.2.1 Výběr skeneru	21
3.2.2 Zapojení galvanometrového setu	22
3.2.3 bipolární diferenciální analogový signál [15]	23
3.2.4 Zahřívání čipů řídící desky galvanometrů	23
3.3 RGB laserový modul	23
3.3.1 Dichroická zrcadla [16]	24
3.3.2 Zapojení laserového modulu	25
3.3.3 Tvorba barev s laserovým modulem	25

3.4	Displej z tekutých krystalů (LCD)	26
3.5	Rotační enkodér [21][22]	27
3.5.1	Čtení pozice z rotačního enkodéru	29
3.6	HAT deska plošných spojů	30
3.6.1	Zdroj -15 V [23]	30
3.6.2	Generátor analogového signálu	32
3.6.3	Voltmetr baterií	33
3.7	Napájení	34
3.7.1	Akumulátory	34
3.7.2	BMS modul	34
3.7.3	relé modul	36
3.7.4	nabíjecí obvod	36
3.7.5	Vypínač	38
3.7.6	Napěťové větve	38
3.8	Pouzdro	39
3.8.1	Priority designu	39
3.8.2	Konstrukce	40
4	software	44
4.1	komunikace mezi programy	44
4.2	Lasershow	46
4.2.1	Úvod	46
4.2.2	Využité knihovny	46
4.2.3	Chování programu	46
4.2.4	lepsi, nez rpi-lasershow	50
4.3	wifi_manager	50
4.4	UI	51
4.5	web_ui	51
4.6	discord bot	53
4.7	install.sh	53
5	Diskuze	54

5.1 ruzne technologie	54
5.2 další zpracování tématu	55
Závěr	57
Literatura	62
Seznam obrázků	64
Seznam tabulek	65
Seznam rovnic	66
Přílohy	66

definice pojmu a zkratku

SPI	Serial Peripheral Interface	sériové periferní rozhraní
DPS		deska plošných spojů

Úvod

Laser scanning, technologie rychle se pohybujícího laserového paprsku, je využívána v mnoha oblastech od laserového promítání, efektů na diskotékách a průhledových displejů (Průhledový displej – anglicky Head-Up Display (HUD)) v letadlech, autech či brýlích pro rozšířenou realitu [1] přes čtení čárových kódů [2] a 3d tisk [3] po skenování 3D modelů [4] i Zemského povrchu [5].

Bohužel ale neexistují žádné uživatelsky přívětivé open-source platformy, kde by se s touto technologií mohli seznámit zájemci o její rozvíjení.

Cíle

V této práci jsem se proto rozhodl pro tuto technologii vytvořit vlastní laserový projektor a naprogramovat pro něj jednoduché uživatelské prostředí. Toto uživatelské prostředí by mělo sloužit jako začáteční bod, který zaujmě mladé zájemce a umožní jim si technologii vyzkoušet. V případě, že technologie zaujmeme, mělo by pro zájemce být jednoduché program pozměnit nebo si jinak .

Kapitola 1

Laser scanning [6]

Jako Laser scanning se označuje technologie využívající rychle se pohybující laserový paprsek. Mezi tradiční techniky pohybu paprsku spadají akusticko-optické skenery, hranolové skenery a galvanometrové skenery [7].

1.1 Akusticko-optické skenery

Akusticko-optické (AO) skenery se využívají, se nejlépe hodí do systémů s rozlišením¹ přibližně 1000 bodů. Další charakteristikou AO skenerů je možnost přenést paprsek na libovolný bod v časovém úseku řádově 10 μs.

Existuje mnoho systémů využívajících AO skenery, možná nejzajímavější jsou laserové tiskárny, které naplno využívají schopnosti AO skenerů.

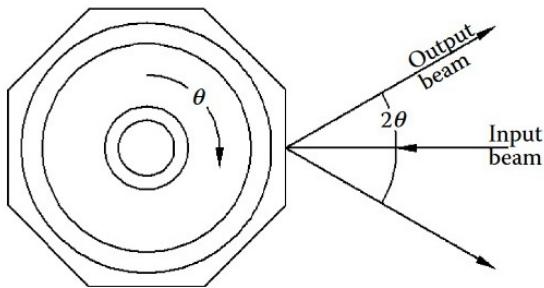
Princip AO spočívá pouze ve změně indexu lomu materiálu optiky, když ním prochází akustická vlna. Tato změna indexu lomu způsobí změnu směru paprsku.

¹Rozlišení laserových skenerů je počet všech různých pozic, do kterých je skener schopen nasměrovat paprsek.

1.2 Hranolové skenery

Hranolové skenery se vyznačují rotujícím hranolem se zrcadlivými stranami (dále „zrcátky“). Při rotaci hranolu se mění úhel dopadu laserového paprsku na zrcátko, a díky tomu se mění směr odraženého paprsku, viz. obrázek 1.1. [adiky carka?]

Note!



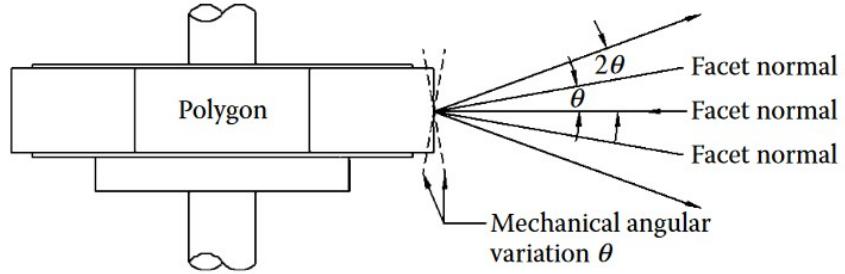
Obrázek 1.1: mechanika polygonových skenerů; převzato z [6].

S jedním hranolem by hranolové skenery byly schopny směřovat paprsek pouze v jedné rovině - při projekci by bylo možné vykreslit maximálně čáru. Tuto limitaci lze kompenzovat přidáním malého rozdílu ve směrování každé strany hranolu, viz. obrázek 1.2. S touto úpravou každá strana hranolu vykreslí jednu, svoji, přímku lehce posunutou vůči přímkám ostatních stran. Hranol s n-úhelníkovou podstavou je schopen vykreslit n přímek. Další možností je kombinovat původní pravidelný hranol s galvanometrem, kdy galvanometr nastaví jednu souřadnici paprsku a hranol na této souřadnici vykreslí přímku.

Tento typ skeneru se využívá hlavně pro senzory skenující na přímce (např. skenery čárových kódů [2]), nebo při rastrovém procházení plochy (například 3D skenování, nebo promítání ploch, viz. Obrázek 1.3).

1.3 Galvanometrové skenery

V galvanometrových skenerech paprsek odráží zrcátka/o připevněná/o na páru galvanometrů.



Obrázek 1.2: úhlová rozdílnost zrcátek polygonového skeneru a paprsky od nich odražené; převzato z [6].



Obrázek 1.3: příklad projekce laserového projektoru s polygonovým skenerem; převzato z [8]

1.3.1 Galvanometr

Slovem galvanometr se označuje přístroj úřčený k detekci nebo měření velice malého elektrického proudu [9]. Galvanometry při měření využívají interakce magnetického pole trvalého magnetu a cívky protéké proudem. Tato interakce vychýlí ručičku ukazující na stupnici, nebo zrcátko odrážející paprsek, který dopadá na stupnici. [10]

Galvanometry se dají rozdělit na galvanometry bez zpětné vazby (open-loop) a se zpětnou vazbou. K těm bývají připojeny ovládací obvody, které z galvanometrů získávají informace o jejich pohybu a podle nich regulují signál posílaný do galvanometrů. [10]

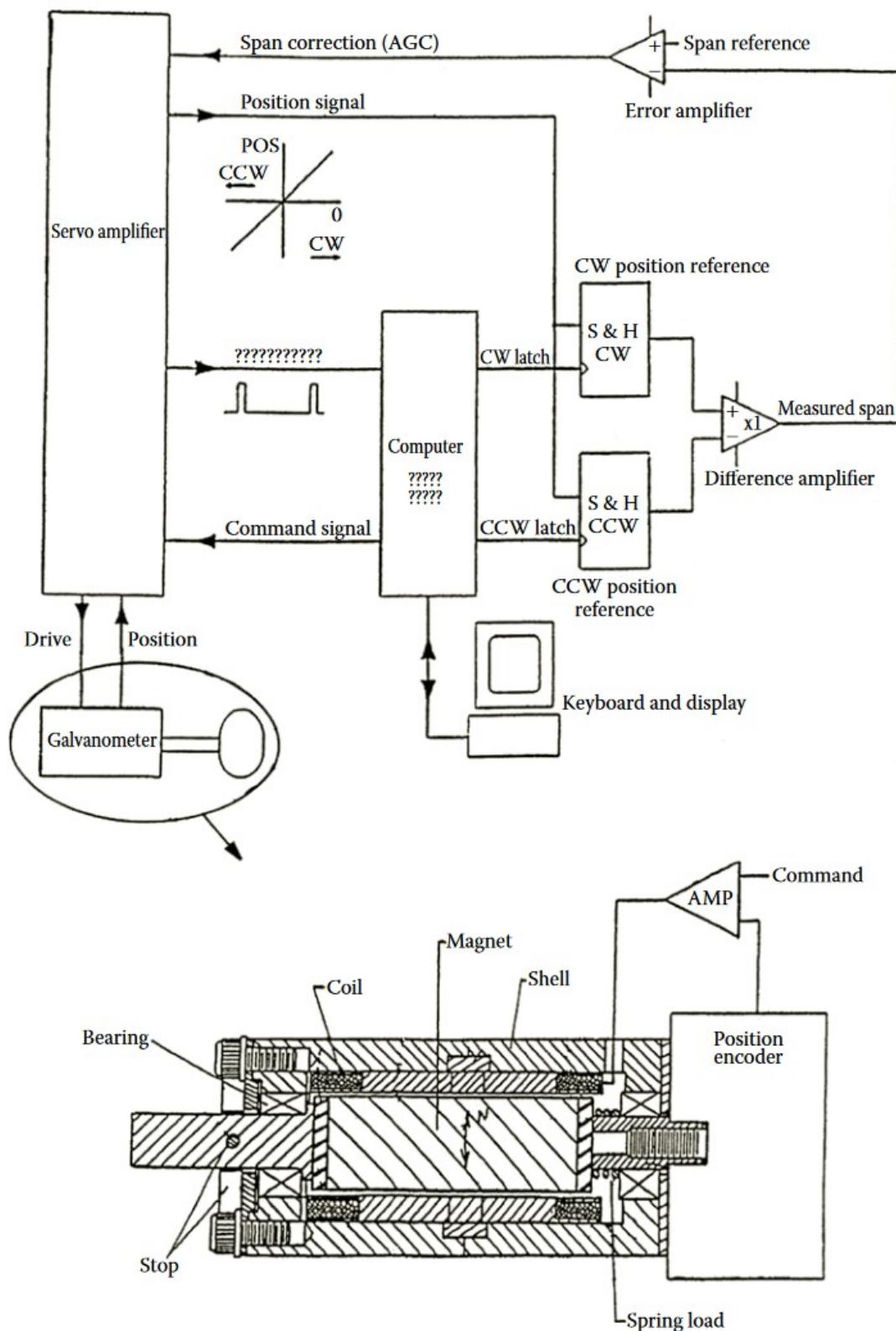
Dále se dělí dle pohyblivé součástky. V galvanometru je buď trvalý magnet pevně ukotven a cívka pohyblivá (moving coil), nebo naopak (moving magnet).

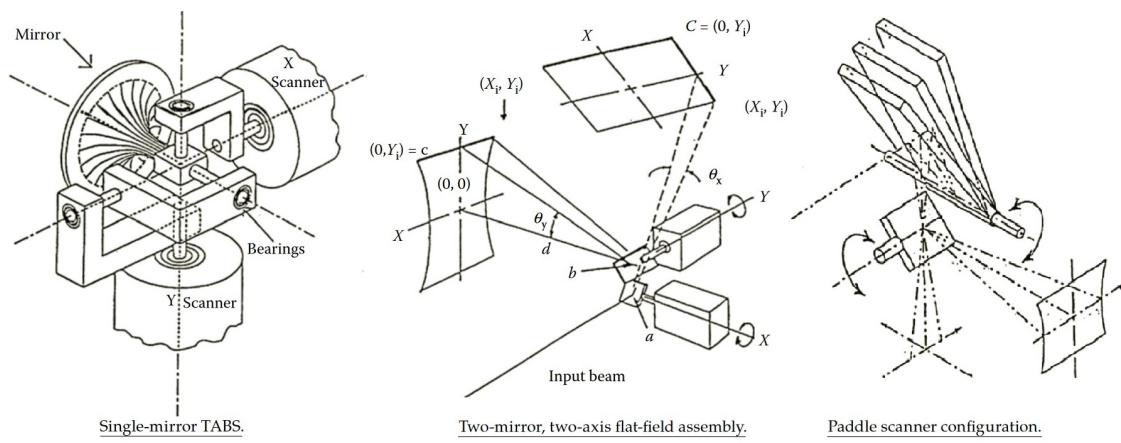
Dnes se v kontextu laserových skenerů prakticky vždy používají galvanometry s pohyblivým magnetem a se zpětnou vazbou. Ta je zajištěna čtením z variabilního kondenzátoru umístěného v galvanometru.

1.3.2 Konstrukce galvanometrových skenerů

Jeden galvanometrový skener vždy ovládá jednu osu pohybu paprsku, buď X nebo Y.

Narozdíl od hranolových skenerů je s galvanometrovým skenerem možné zastavit obě osy pohybu - vykreslovat na sebe kolmé čáry.





Obrázek 1.5: různé konstrukce galvanometrových skenerů; převzato z [6].

Kapitola 2

Laserová projekce [11]

Laserová projekce spadá mezi laser scanning technologie. Často je využívána v zábavním průmyslu, hlavně k vytváření laser shows a vektorových projekcí. U laser shows diváci sledují vzory, které vytváří samotný paprsek ve vzduchu. U projekcí diváci sledují obrazce vykreslené paprskem dopadajícím na promítací plátno.

Tyto efekty nejsou populární pouze v klubech, nýbrž i na koncertech nebo živých představeních. Je-li laser dostatečně silný, je možné promítat na obrovské plochy, jako například hráze, vodní plochy, nebo dokonce hory.

Využití laserové projekce v průhledových displejích (HUD) [1][12]

Laserová projekce se také využívá v průhledových displejích, jak bylo zmíněno v úvodu. V tomto odvětví zatím převládají jiné technologie. Technologie průhledových displejů se dají rozdělit následovně:

- Technologie vyzařujících displejů, např. cathode ray tube (CRT), organic light-emitting diode (OLED) nebo vacuum fluorescent display (VFD)
- Technologie podsvícených displejů, např. liquid crystal display (LCD)

- Technologie laserových displejů, např. liquid crystal on silicon (LCoS) nebo laser scanning displeje založené na pohybu mikrozrcadel.

V prvních průhledových displejích bylo využito CRT. Ale kvůli své neskladnosti, vysoké spotřebě elektřiny a škodlivé radiaci, byla nahrazena technologií LCD. Dnes se v průhledových displejích letadel využívají LCD. V automobilech se využívají LCD a VFD. Bohužel, VFD jsou limitovány množstvím informací, které mohou zobrazit. LCD průhledové displeje jsou limitovány svým maximálním jasem. S novou technologií OLED sice je možné vytvořit tenký a průhledný displej dosahující vyššího jasu, než LCD HUD. I tento displej bohužel oproti vnějšímu světu má stále relativně nízký jas, také má vysokou cenu a krátkou životnost. Oproti vyzařujícím a podsvíceným displejům jsou laserové displeje ve většině ohledů lepší. **[nadřazené?]**

Note!

Note!

[pics from [12]]

Princip laserové projekce

Když se laserový paprsek pohybuje dostatečně rychle, lidské oko ho vnímá jako spojitou linku světla - tomuto jevu se říká persistance of vision nebo persistance of impression [13]. Čím rychleji se paprsek pohybuje, tím méně intenzivní připadá oku zmíněná linka. Bod je možné vykreslit, jestliže paprsek zůstane na jednom místě bez pohybu po úrčitou dobu.

Vykreslení čáry je základní a nejjednoduší operací, jakou laserový projektor může vykonat. Například k vykreslení Úsečky z bodu A do bodu B projektor nasměruje laserový paprsek na bod A, zapne laser a pohybuje paprskem k bodu B.

K vykreslení složitějších obrázků jsou potřeba tzv. blank lines, kdy projektor otáčí zrcátka stejně jako kdyby vykresloval přímku, ale laser nesvítí. Blank lines spojují každé dvě vykreslené linky, které na sebe přímo nenavazují.

Nestihne-li projektor vykreslovat obraz dostatečně rychle, výsledná projekce nebude stabilní. Lidské oko vždy uvidí pouze části obrazu v časové návaznosti. Tomuto jevu se říká „flickering“.

spi i2c nodejs ZeroMQ 3d tisk lcd obdelnikovy prubeh rotacni enkoder pull-up/down
pwm power delivery

Kapitola 3

hardware

Tato kapitola se zabývá fyzickou konstrukcí a zapojením vyrobeného laserového projektoru. Ten se skládá z řídící jednotky, galvanometrů s ovládací elektronikou, laseru, chlazení a napájení. Všechny tyto součástky jsou uloženy v pouzdře vytisknutém na 3D tiskárně.

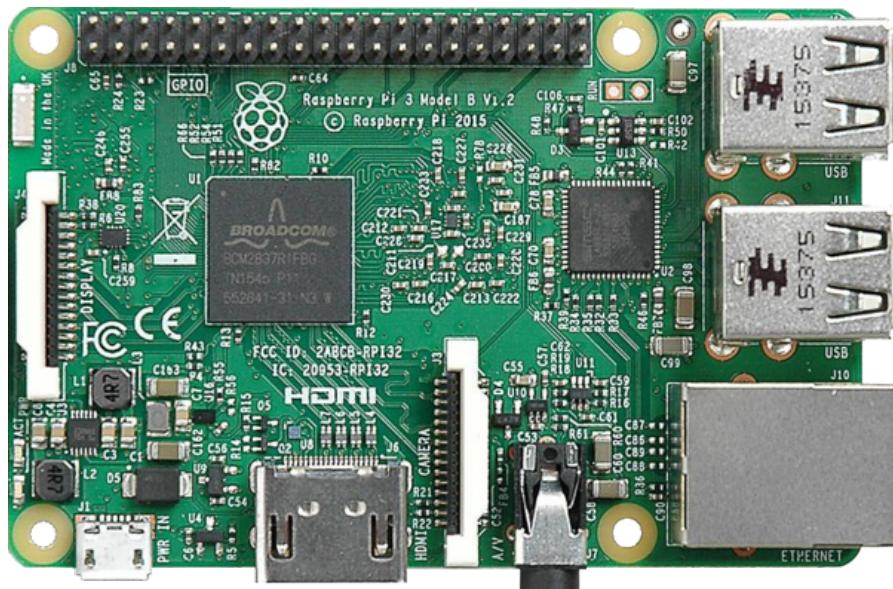
3.1 Řídící jednotka — Raspberry Pi

Jako hlavní řídící jednotka byl použit jednodeskový počítač Raspberry Pi, který je vidět na obrázku 3.1. To hned z několika důvodů:

- Jednoduché připojení k Wi-Fi sítím — Raspberry Pi je možné připojit k blízké Wi-Fi síti nebo si může vytvořit vlastní, na které funguje jako wifi modem.
- Operační systém Raspberry Pi OS — Běží na něm operační systém založen na linuxu, je pro něj jednoduché programovat programy a také programy můžou jednoduše interagovat s potenciálně připojenou klávesnicí, myší nebo monitorem.

- Vysoký výkon — Oproti mikrokontrolerům nabízí podstatně vyšší výkon, ten se může hodit, potřebujeme-li spouštět několik programů zároveň nebo chceme-li procesovat video z kamery.

Raspberry Pi na sobě má 40 pinový GPIO header, skrze který je možné interagovat s připojenými čipy a moduly.



Obrázek 3.1: Pohled zvrchu na Raspberry Pi; Převzato z [14]

3.2 Set galvanometrů se zrcátky

3.2.1 Výběr skeneru

Pro tuto práci byl vybrán galvanometrový skener, protože je nejdostupnější a protože potenciálním uživatelům nejlépe představí technologii.

Oproti hranolovým skenerům jim toží dává více možností, jak s paprskem pohybovat. Můžou se rozhodnout, že jej využijí jako hranolový skener, pokud nahrají soubor procházející promítací plochu po řadcích.

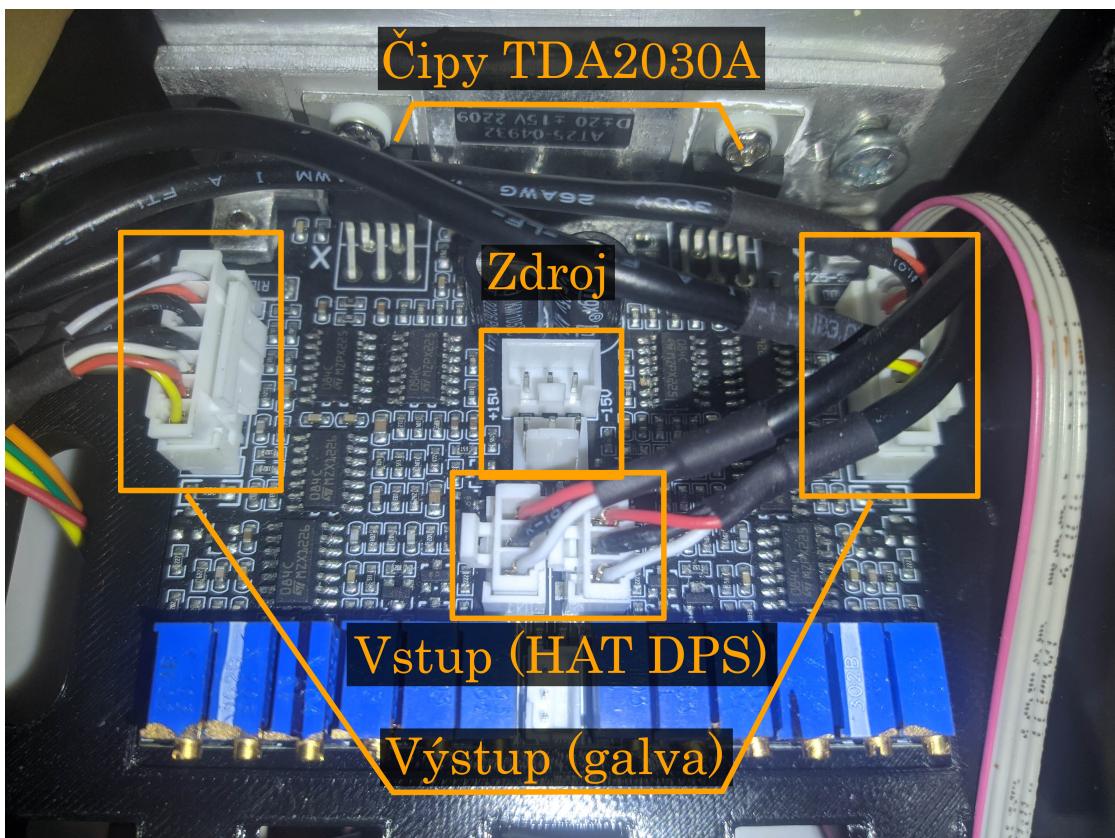
Oproti dalším typům skenerů je názornější, ostatní typy skenerů jsou totiž příliš

malé a není na nich vidět princip funkce nebo je jejich fungování nadmíru abstraktní a těžko pochopitelné.

3.2.2 Zapojení galvanometrového setu

Samotné galvanometry jsou zapojeny do řídící desky, která s nimi byla zakoupena, ta je vidět na obrázku 3.2.

Řídící deska požaduje symetrický zdroj napětí 15 V, tzn. +15 V a -15 V a samozřejmě připojení k GND. Také přijímá dva bipolární diferenciální analogové signály s rozsahem diferenciálního napětí -10 V až +10 V. Každý signál udává vychýlení jednoho ze dvou galvanometrů, což obvykle znamená výslednou pozici laserového paprsku v osách X a Y.



Obrázek 3.2: Řídící deska galvanometrů s vyznačenými konektory a hřejícími čipy

3.2.3 bipolární diferenciální analogový signál [15]

Diferenciální signál je signál přenášený dvěma vodiči, každý z nich přenáší stejný signál, jen s opačnou polaritou. Kontakt označený (+) je považován za nosič základního signálu, zatímco kontakt označený (−) je považován za nosič invertovaného signálu. Výsledné diferenciální napětí je napětí na základním nosiči vůči napětí na obráceném nosiči, tzn. $V_{dif} = V_{(+)} - V_{(-)}$

Bipolární signál znamená, že na napětí každém z kontaktů (+) a (−) může dosahovat kladných i záporných hodnot.

Tudíž cheme-li disáhnout diferenciálního napětí $+10\text{ V}$, musí mít základní signál napětí $+5\text{ V}$ a obrácený signál -5 V . Záporné diferenciální napětí bude ve chvíli, kdy je napětí základního signálu záporné a napětí obráceného signálu kladné.

3.2.4 Zahřívání čipů řídící desky galvanometrů

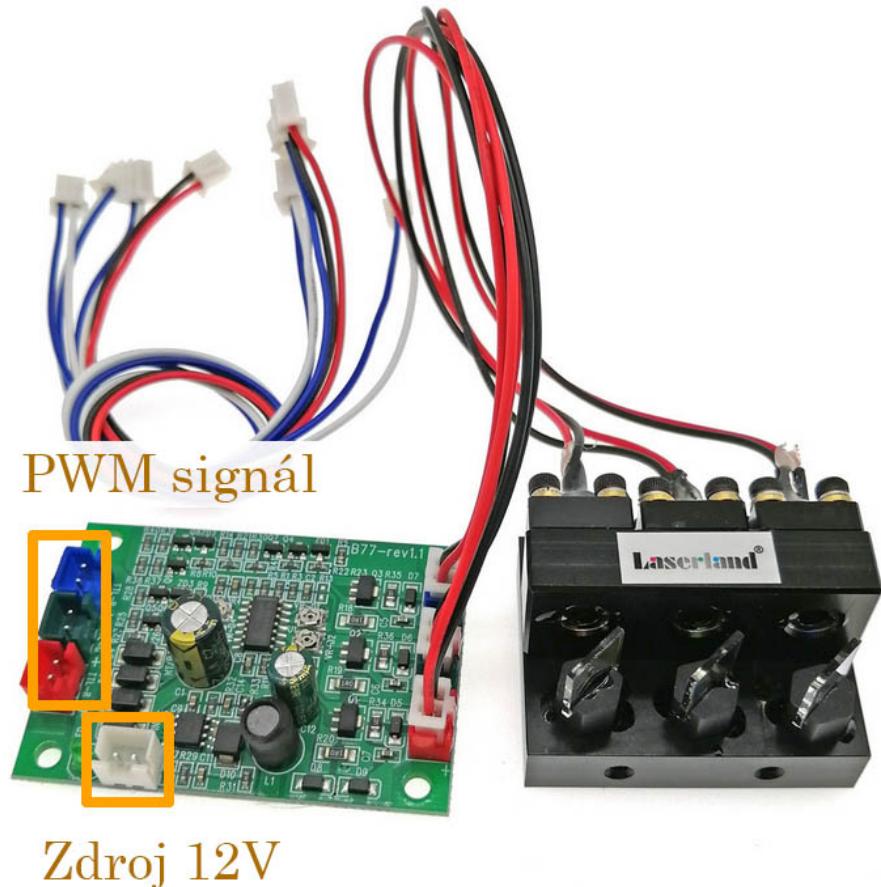
Dva z čipů na řídící desce při chodu systému výrazně zahřívají. Na tyto čipy naštěstí už od výroby desky je připevněna malá hliníková destička. Ta má sloužit jako chladič, ale i s ní se čipy v otevřeném prostoru zahřívají na teploty blízké $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dva zmíněné čipy jsou čipy TDA2030A od firmy STMicroelectronics. Ty by měly dle datasheetu vydržet až $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale dá se předpokládat, že v uzavřeném pouzdru budou čipy dosahovat vyšších teplot, než v otevřeném prostoru. I kdyby nedosáhly pro sebe kritických $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, rozhodně není žádoucí, aby uvnitř projektoru desky dosahovaly vysokých teplot.

I proto byl do projektoru zabudován chladič. Více o způsobu jeho připevnění a distribuci chlazení mezi ostatní komponenty se dočtete v kapitole 3.8.1.

3.3 RGB laserový modul

Jako zdroj laserového paprsku byl využit RGB laserový modul, skládající se ze řídící desky, tří barevných laserových diod o vlnových délkách 660 nm (červená),

450 nm (modrá) a 520 nm (zelená) a tří dichroických zrcátek, která slouží ke spojení paprsků z diod do jednoho. Celý modul je vidět na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Laserový modul s řídící deskou a vyznačenými konektory

3.3.1 Dichroická zrcadla [16]

Dichroická zrcadla jsou zrcadla s výrazně rodlnými odrazovými nebo průchodo-vými vlastnostmi pro dvě různé vlnové délky odraženého / procházejícího světla.

Většina dichroických zrcadel jsou dielektrická zrcadla – zrcadla skládající se z mnoha tenkých vrstev různě opticky propustných materiálů, existují ale také krystalická zrcadla, jejíž odrážlivá vrstva se skládá z monokrystalického materiálu, typicky polovodiče.

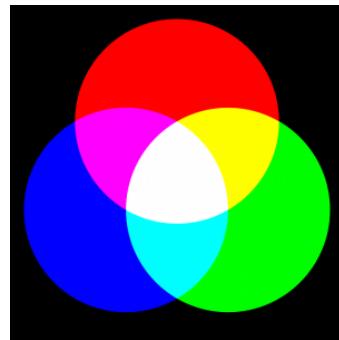
Mezi jejich využití spadá například oddělování infračerveného záření při aplikacích, kdy je nežádoucí zahřívání ozařovaného objektu.

3.3.2 Zapojení laserového modulu

K modulu je od výroby připojená řídící deska. Ta požaduje napětí 12 V a přijímá binární signál pro každou diodu. Je-li na signál připojen GND, korespondující dioda nesvítí. Je-li na něj připojeno 2.7 až 5 V, korespondující dioda svítí.

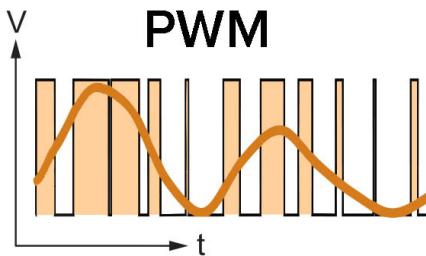
3.3.3 Tvorba barev s laserovým modulem

S laserem je tedy možné vytvořit 7 barev - červenou, zelenou, modrou, žlutou, tyrkysovou, purpurovou a bílou, viz obrázek 3.4.



Obrázek 3.4: Sedm základních barev laserového modulu

Naštěstí i zde je možné uplatnit jev persistance of vision a sice pomocí techniky PWM (z anglického Pulse Width Modulation). Ta se využívá jako alternativa analogového řízení v případech, kdy je potřeba řídit analogovou proměnnou binárním signálem, tedy signálem nabývajícím hodnot „zapnuto/vypnuto“. V PWM signálu je konstantní perioda a proměnný je čas, kdy má binární signál hodnotu „zapnuto“, tomuto času se říká „pulse width“ a vyplývá z něj jméno techniky. Konečná hodnota („střída“, anglicky „duty cycle“) signálu se dá získat jako poměr času „pulse width“ a periody signálu. Střída hodnoty 100% tedy znamená, že signál má neustále hodnotu „zapnuto“, střída hodnoty 0% naopak znamená neustálé „vypnuto“. [17][18]



Obrázek 3.5: PWM signál s měnící se střídou; Střída naznačena oranžovou křivkou.
Převzato a upraveno z [19]

Nastavíme-li tedy střídu signálu pro červenou diodu na 100% a pro zelenou diodu na 50% výsledný paprsek bude pro lidské oko mít barvu s rgb hodnotou (255, 127, 0) neboli oranžovou.

I tato technologie má ovšem své limitace, řídící deska laserového modulu zvládá přijímat signál o maximální frekvenci 35 kHz (Raspberry Pi je schopno vysílat s frekvencí až 40kHz), což vzhledem k rychlosti pohybu laseru v některých případech nemusí stačit. Může se stát, že při vykreslování křivky se paprsek stihne posunout dříve, než uplyne perioda pwm signálu. Pokud se tak stane budou různé sousední části křivky mít různou barvu.

Note!

[TODO obrázek nedostatečně rychleho pwm]

Tento efekt je nejviditelnější při projekci tmavých barev, ale dá se zmírnit zvětšením času, po který paprsek setrvá na jednom bodě po jeho vykreslení, v tu chvíli se ale může stát, že nastane „flickering“ popsaný v sekci 2.

3.4 Displej z tekutých krystalů (LCD)

Pro zobrazování informací uživateli přímo na zařízení byl využit alfanumerický¹ LCD s řadičem HD44780 a s rozlišením 20x4 znaky. K displeji je připojen také připojen I²C převodník, který slouží jako prostředník mezi řadičem displeje a Raspberry

¹ Alfanumerický – Řídící jednotka displeji místo pixelů posílá celé znaky, které sám vykresluje.

Pi. Komunikační protokol LCD totiž využívá podstatně více kontaktů, než I²C sběrnice, kterou Raspberry Pi komunikuje s převodníkem. Převodník je k pinům Raspberry Pi připojen dle tabulky 3.1.



Obrázek 3.6: Displej z tekutých kryštalů (LCD); Převzato a upraveno z [20]

Obrázek 3.7: I²C převodník napojený na LCD; Převzato z [20]

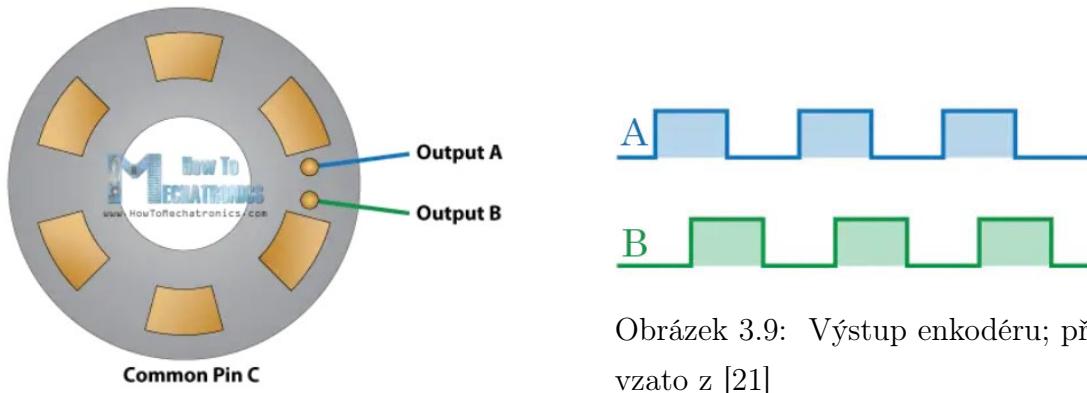
kontakt převodníku	kontakt RPi
GND	GND
5V	5V
SCK	GPIO3
SDA	GPIO2
LED	GPIO18

Tabulka 3.1: Připojení kontaktů I²C převodníku na kontakty RPi.

3.5 Rotační enkodér [21][22]

Rotační enkodér je typ pozičního senzoru používaný k měření rotace otáčivé hřídele. Existuje mnoho druhů enkodérů, rozdělují se dle signálu, který vydávají a dle technologie, kterou měří rotaci hřídele. V této práci je použit mechanický inkrementální enkodér s tlačítkem.

Na obrázku 3.8 je vidět, jak enkodér funguje uvnitř. Dva kontakty A a B při rotaci získávají a ztrácí kontakt s kontaktem C. Připojíme-li ke kontaktu C GND a ke kontaktům A a B pull-up rezistory (softwarově), dá se toto získávání a ztrácení kontaktu zaznamenat do grafu na obrázku 3.9 jako dva signály obdélníkového průběhu vzájemně fázově posunuté o 90 stupňů.



Obrázek 3.9: Výstup enkodéru; převzato z [21]

Obrázek 3.8: Vnitřní schéma enkodéru; převzato z [21]

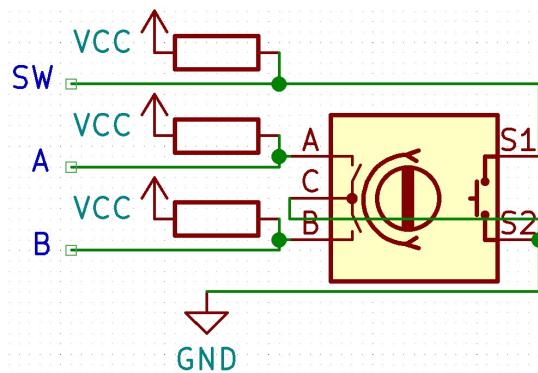
Použitý rotační enkodér má další dva kontakty připojené k tlačítku pod rotující hřídelí. Ke čtení stisknutí tlačítka je potřeba připojit jeden kontakt ke GND, tedy ke kontaktu C a druhý kontakt na pull-up rezistor (softwarově). Celé zapojení enkodéru je naznačeno na obrázku 3.10. Kontakty tlačítka jsou v něm označeny S1 a S2. Enkodér je k RPi připojen dle tabulky 3.2.

kontakt enkodéru	kontakt RPi
C	GND
S2	GND
A	GPIO5
SDA	GPIO6
S1	GPIO13

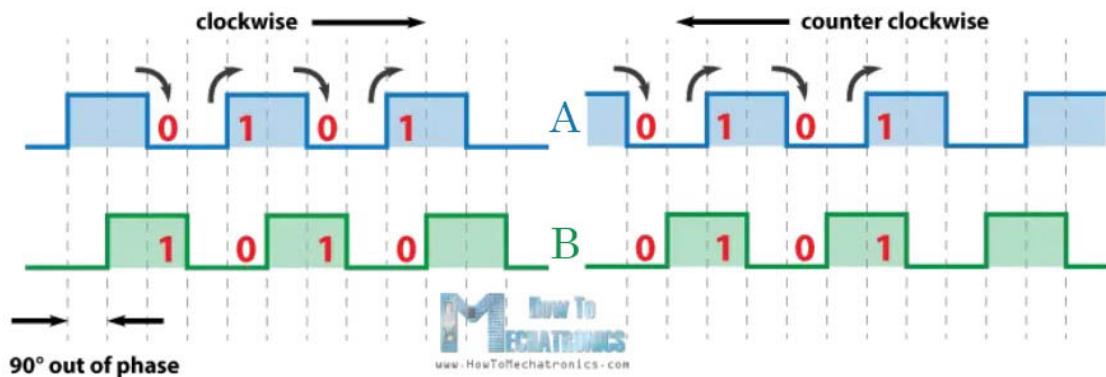
Tabulka 3.2: Připojení kontaktů rotačního enkodéru na kontakty RPi.

3.5.1 Čtení pozice z rotačního enkodéru

U rotačního enkodéru se při každé otáčce změní připojení pinů několikrát. Chceme-li pozorovat pouze počet těchto změn, stačí spočítat změny na jednom kontaktu. Pokud je ale zapotřebí pozorovat i směr otáčení, je nutné pozorovat stav obou kontaktů. Pokud se enkodér otáčí po směru hodinových ručiček, kontakt A bude fázově posunut o 90 stupňů napřed oproti kontaktu B. Pokud se enkodér otáčí proti směru hodinových ručiček, bude naopak kontakt B o 90 stupňů napřed oproti kontaktu A. Časový průběh stavu kontaktů je naznačen na obrázku 3.11.



Obrázek 3.10: Schéma zapojení rotačního enkodéru.



Obrázek 3.11

3.6 HAT deska plošných spojů

Pro ovládání výše popsaného hardwaru je zapotřebí několik specifických obvodů. Kvůli jejich specifičnosti tyto obvody nejsou volně dostupné k zakoupení na předem vytvořených destičkách. Proto bylo zapotřebí je z jednotlivých součástek vyrobit na míru.

Obvody byly navrženy v programu KiCad, celé schéma desky je k nalezení mezi přílohami s označením **??**. Následně pro ně v tomtéž programu byla nadesignována deska plošných spojů. Na této desce se vyskytují následující obvody popsáne v nadcházejících kapitolách:

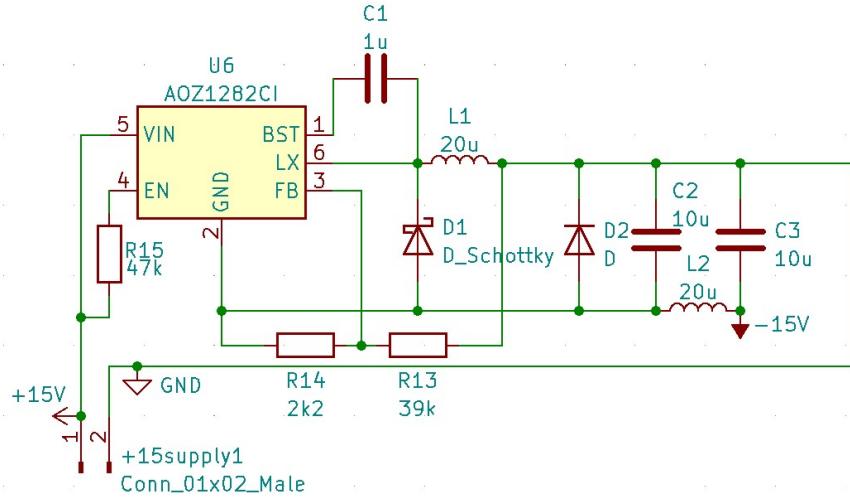
- Zdroj -15 V pro galvanometry
- Generátor signálu pro řídící desku galvanometru
- Voltmetr baterií

Kromě nich byly na desku přidány konektory k jednotlivým barevným vstupům laseru, LCD displeji a k rotačnímu enkodéru, které jsou přímo napojeny na 40 pinový GPIO konektor Raspberry Pi. Deska byla designována jako tzv. HAT, to znamená, že sama na tomto konektoru drží a nezabírá o moc víc místa, než samotné Raspberry Pi. **[TODO: obrazek desky (maybe mounted) (deska Note! ještě nedošla)]**

3.6.1 Zdroj -15 V [23]

Napětí -15 V je získáváno obvodem napěťového invertoru inspirovaného zdrojem [23]. Jeho zapojení je na obrázku 3.12, potřebuje zdroj napětí 15V .

Centrem obvodu je integrovaný obvod AOZ1282 od výrobce Alpha & Omega Semiconductor označený U6. Tento integrovaný obvod obsahuje spínací transistor (ve zjednodušeném schématu prvek SW), PWM regulační obvod pracující na frekvenci 450 kHz s napěťovou referencí $0,8\text{ V}$, který reguluje čas připojení induktoru L1. K němu je připojen bootstrapový kondenzátor C1, ten zajišťuje plovoucí buzení



Obrázek 3.12: Zapojení invertujícího obvodu

pro integrovaný spínač. Dále je k němu připojený výkonový induktor L1, jehož hodnota byla zvolena dle rovnic uvedených ve zdroji [24], respektive podle dále uvedené rovnice 3.1. [23]

$$L = \frac{-U_{OUT} \times U_{IN}}{0.4 \times 2 \times I_{OUT} \times f_s \times (U_{IN} - U_{OUT})} = \frac{-(-15V) \times 15V}{0.4 \times 2 \times 1A \times 450kHz \times (15V - (-15V))} \approx 21\mu H$$

Rovnice 3.1: Výpočet ideální indukčnosti cívky pro invertující obvod

L — Indukčnost spínaného induktoru

U_{IN} — Vstupní napětí do invertujícího obvodu

U_{OUT} — Výstupní napětí z invertujícího obvodu

I_{OUT} — Výstupní proud z invertujícího obvodu

f_s — Frekvence spínacího regulátoru

Na FB pin integrovaného obvodu je připojen napěťový dělič tvořený odpory R13 a R14, který integrovanému obvodu dodává zpětnou vazbu o výstupním napětí. Hodnoty R13 a R14 jsou voleny tak, aby při 15 V, tedy požadovaném výstupním napětí,

bylo na výstupu děliče napětí 0,8 V, tedy referenční napětí integrovaného spínaného regulátoru. Schottkyho dioda SS56, označená D1, slouží k zadržení změny polarity induktoru. Usměrňovací dioda D2 je v propustném stavu při prvním spuštění měniče, kdy je přes ní napájen U1 po dobu náběhu výstupního záporného napětí. Posledním prvkem je výstupní vyhlazovací filtr tvořený kondenzátory C3 a C4 společně s induktorem L2. Jeho úkol je minimalizovat výstupní napěťového zvlnění zdroje. [23]

3.6.2 Generátor analogového signálu

Jak popsáno v sekci 3.2, řídící deska galvanometrů přijmá dva bipolární diferenciální analogové signály v rozpětí -5 V až $+5\text{ V}$.

Obvod, který se stará o vytváření tohoto signálu je založený na obvodu ze zdroje [25]. Vytváření tohoto signálu je rozděleno do dvou částí. Nejdříve D/A převodník připojený k RPi vytvoří signál v rozpětí 0 až 5 V a následně je tento signál pomocí invertujících operačních zesilovačů převeden na požadované rozpětí a invertován. Jednotlivé části tohoto obvodu jsou blíže popsány v následujících kapitolách.

D/A převodník [26]

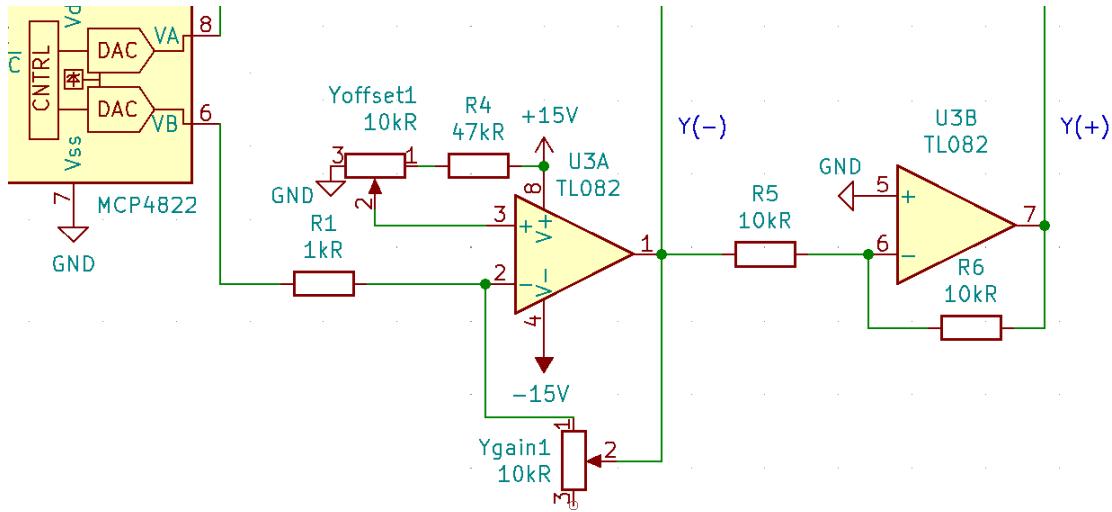
K generování signálu v rozpětí 0–5 V byl využit dvoukanálový D/A převodník² MCP4822. Tento čip podporuje komunikaci přes rozhraní SPI, pracuje s napájecím napětím 5 V a s 12bitovým rozlišením (je schopen vygenerovat 4 096 různých napětí) na dvou kanálech. RPi komunikuje s čipem pomocí rozhraní SPI popsaném v kapitole ??.

Operační zesilovače [27]

K modifikaci signálu z DAC na bipolární diferenciální analogový signál slouží pro každý kanál jeden čip TL082, který obsahuje dva operační zesilovače. Ty jsou zapojeny dle schématu na obrázku 3.13.

²D/A převodník je obvod, který na základě instrukcí přijatých digitálně generuje analogové napětí

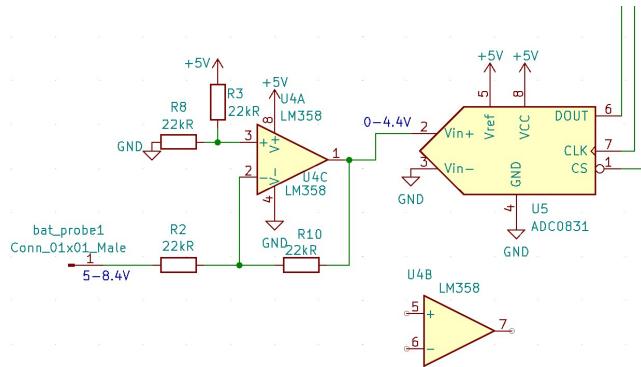
Signál první operační zesilovač zesílí / zeslabí a vertikálně posune dle nastavení potenciometrů Ygain(zesílení) a Yoffset(posun) a zároveň invertuje. Tento invertovaný signál následně druhý operační zesilovač opět invertuje, získav základní signál pro řídící desku galvanometrů.



Obrázek 3.13: Zapojení čipu TL082 pro jeden kanál řídící desky galvanometrů

3.6.3 Voltmetr baterií

Obvod voltmetru baterií je vidět na obrázku 3.14.



Obrázek 3.14: Schéma obvodu voltmetru baterie

Jako voltmetr baterií slouží A/D převodník ADC0831 od firmy Texas Instruments

Incorporated [28]. Ten je označen U5 a je zapojen společně s operačním zesilovačem LM358 od stejného výrobce, který je označen U4. Operační zesilovač je zapojen jako rozdílový zesilovač podle zdroje [29] tak, aby od napětí baterií, které se může pohybovat v rozsahu 6 V až 8,4 V, odečítal 5 V. Díky tomu se napětí, která měří A/D převodník pohybují mezi hodnotami 1 V a 3,4 V. S jeho osmibitovým rozlišením a referenčním napětím 5 V v tomto rozpětí může naměřit 122 různých napětí.

A/D převodník tyto data posílá do Raspberry Pi pomocí rozhraní SPI a to s nimi dále pracuje.

3.7 Napájení

Celkové schéma napájení je vidět na obrázku 3.15.

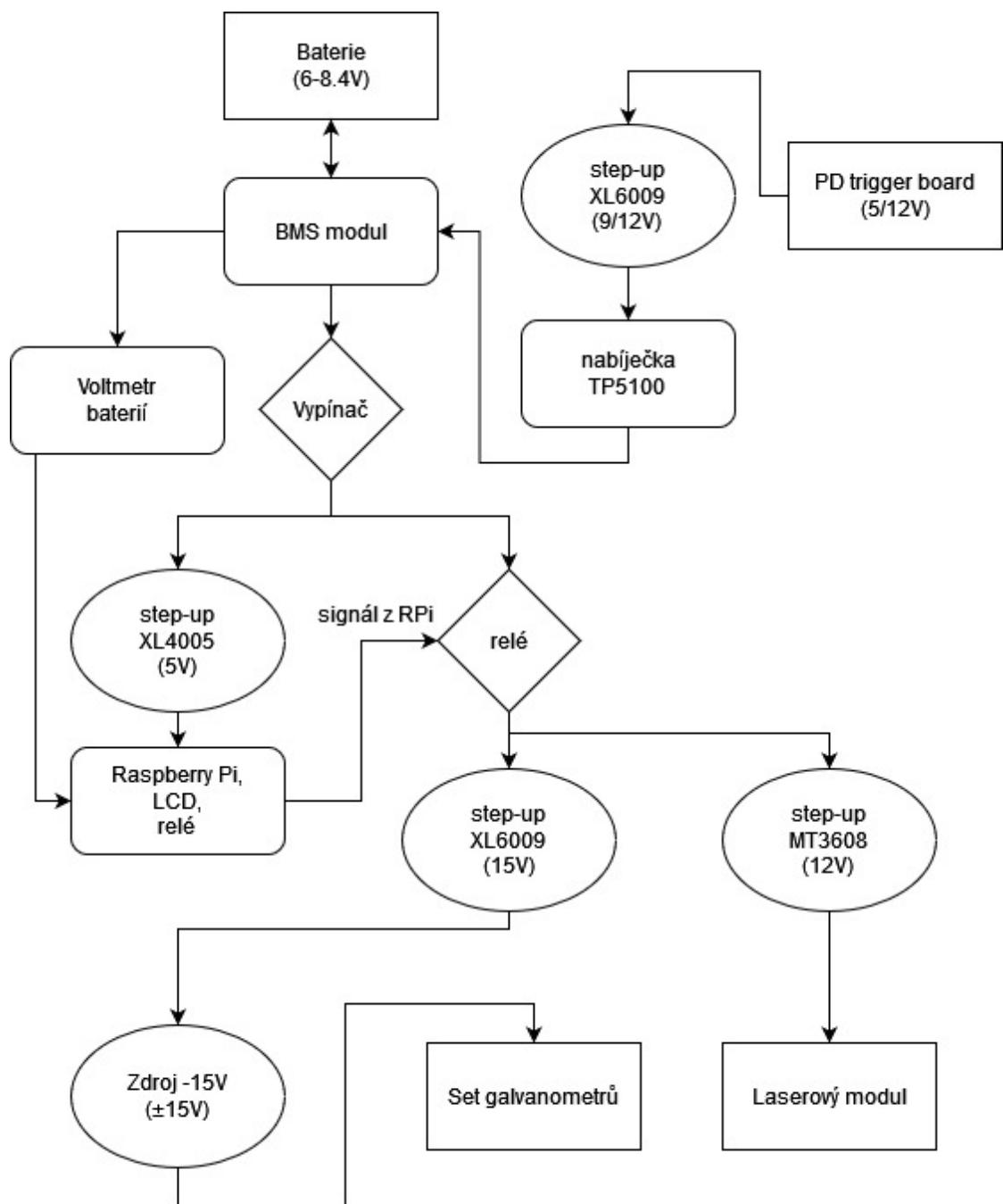
3.7.1 Akumulátory

K napájení projektoru byly využity 4 Lithium-iontové akumulátory Samsung INR 18650 s kapacitou 3450 mAh a jmenovitým napětím 3,7 V. Ty byly zapojeny nejdříve po dvojcích paralelně a následně byly tyto dvojice zapojeny sériově. Konečný článek tedy dosahuje jmenovitého napětí 7,4 V.

3.7.2 BMS modul

Na baterie byl napojen ochranný BMS (Battery management system) modul, který ji chrání před následujícími stavý:

- odběr vysokého proudu (zkrat)
- přebití
- vybití
- nevybalancované články



Obrázek 3.15: Celkové schéma napájení komponentů projektoru

Modul články balancuje a v případě, že nastane jiný z nežádoucích stavů, ji odpojí.
 Modul je na obrázku 3.16



Obrázek 3.16: BMS Modul se třemi kontakty pro sérii baterií (0V, 4.2V a 8.4V) a výstupními kontakty ((+) a (-)); Převzato z [30]



Obrázek 3.17: Relé modul; Převzato z [31]

3.7.3 relé modul

V projektoru byl využit relé modul pro připojování komponentů s vysokým odběrem pouze ve chvílích, kdy jsou využívány. Jedná se o set galvanometrů, laserový modul a větrák, ty jsou připojeny jen ve chvílích, kdy projektor promítá.

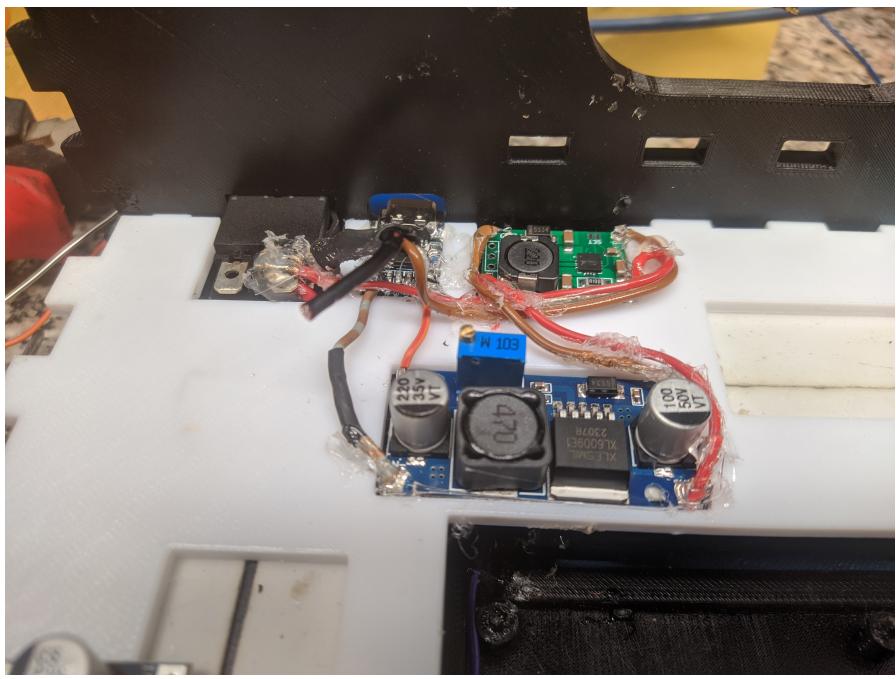
Relé modul je ovládán jedním kontaktem spojeným s Raspberry Pi a je umístěn mezi bateriemi a měniči napětí, proto stačí jeden na více napěťových větví. Je vidět na obrázku 3.17

3.7.4 nabíjecí obvod

Zapojený nabíjecí obvod je vidět na obrázku 3.18.

Power Delivery (PD) trigger deska

K nabíjení baterie je využíván USB-C port podporující moderní protokoly rychlého nabíjení (hlavně Power Delivery a Quick Charge). Ten se nachází na desce s integrovaným obvodem, který přes port komunikuje s adaptérem, pokud adaptér podporuje rychlé nabíjení, čip od něj vyžádá napětí 12 V, které deska převádí na výstupní kontakty viditelné na obrázku 3.19. Protože deska „vyvolá“ dané napětí, označuje se PD trigger board (deska).



Obrázek 3.18: Zapojený nabíjecí obvod

Step up měnič s čipem XL6009

Pokud ovšem připojený adaptér nepodporuje žádný rychlonabíjecí protokol, na výstupech desky bude napětí pouze 5 V Na kterém standartně běží USB připojení. Proto je k PD trigger board připojen step-up měnič nastavený na 9 V. Pokud z PD desky bude vycházet napětí 5V, step-up jej zvýší na 9V. Pokud z PD desky bude vycházet 12V, napětí step-up projde beze změny.

tp5100

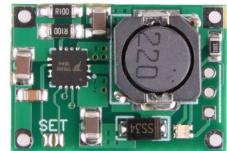
K ovládání průběhu nabíjení byl využit modul pro nabíjení Li-ionových baterií s čipem TP5100. Ten zajišťuje konstantní proud a napětí, které posílá na kontakty BMS obvodu. Další z jeho funkcí je automatické ukončení nabíjení ve chvíli, kdy baterie dosáhnou napětí 8.4 V. Je to jedinečný modul, který umožňuje nabíjení dvoučlánkových lithium-iontových akumulátorů.



Obrázek 3.19: Power Delivery trigger board;
Převzato z [32]



Obrázek 3.20: step-up měnič s čipem XL6009; Převzato z [33]



Obrázek 3.21: Modul nabíječky dvou sériově zapojených Li-ion baterií; Převzato z [34]

3.7.5 Vypínač

K bateriím je neustále připojený jen BMS modul a nabíjecí obvod, všechny ostatní obvody jsou přemostěny vypínačem. Je tedy možné baterie nabíjet i když jsou všechny ostatní obvody odpojené. Vypínač je vidět na obrázku 3.18.

3.7.6 Napěťové větve

Různé komponenty projektoru pracují s různými napětími. Je tedy potřeba napětí baterií převést na několik napěťových větví. Jedná se o větve:

- 5V — Napětí Raspberry Pi, LCD a relé modulu; Zajištěno step-down měničem s čipem XL4005 (Viz obrázek 3.22.)
- 12V — Napětí Laserového modulu; Zajištěno step-up měničem s čipem MT3608 (Viz obrázek 3.23.)
- symetrické napětí ± 15 V — Napětí řídící desky galvanometrů; Kladná větev zajištěna step-up měničem s čipem XL6009 (Viz obrázek 3.20.), záporná větev zajištěna obvodem zdroje -15 V na HAT DPS (Viz kapitola 3.6.1)



Obrázek 3.22: step-down měnič s čipem XL4005; Převzato z [35]



Obrázek 3.23: step-up měnič s čipem MT3608; Převzato z [36]

3.8 Pouzdro

V rámci popularizace technologie se může hodit projektor předvádět na různých místech. Proto bude potřeba, aby byl projektor přenosný a při přemisťování se nerozobil.

Pouzdro je tedy navrženo tak, aby bylo odolné proti nárazům a zachovalo všechny součásti v bezpečí. Každá součástka má své místo, kde je držena ze všech stran. Pro výrobu pouzdra by bylo vhodné využít technologii 3D tisku. Ta umožňuje tvorbu komplexních geometrických tvarů přímo pro potřeby konkrétního modelu a zároveň umožňuje snadnou iteraci a úpravu designu pouzdra při nalezení chyb.

Pouzdro bylo navrženo v programu Autodesk Fusion.

3.8.1 Priority designu

Chlazení

Největší část projektoru je hliníkový chladič s větrákem. Už od začátku práce byl tento chladič vybrán, aby byl připevněn k řídící desce galvanometrů. Problematika jejího zahřívání je popsána v kapitole 3.2.4. Jak bylo popsáno v této kapitole, na řídící desce galvanometrů je připevněna hliníková destička, která chladí čipy. Chladič byl připevněn právě na ni.

Aktivní chladič³ se ale hodí i pro ostatní součástky. Vzduch, který nasaje je totiž

³Chladič s větrákem, který aktivně vytváří proud vzduchu

distribuován celou vnitřní konstrukcí projektoru a chladí tak všechny vnitřní součástky. Tomuto proudění byla věnována zvláštní pozornost při designu konstrukce pouzdra.

Přístup k portům Raspberry Pi

Aby bylo možné je používat, je potřeba zajistit jednoduchý přístup k portům Raspberry Pi. Dále je potřeba od nich odlišit nabíjecí port.

Modularita, jednoduchá konstrukce

Pouzdro bylo designováno také aby bylo modulární. Aby bylo možné při prototypování vyměnit pouze jednu součástku, která nesedí místo tisknutí celého pouzdra od začátku. S modularitou bylo zároveň dosaženo jednoduché konstrukce, v jakékoliv části stavby je možné dočasně odstranit díly, aby bylo možné upravit připevnění vnitřní elektroniky.

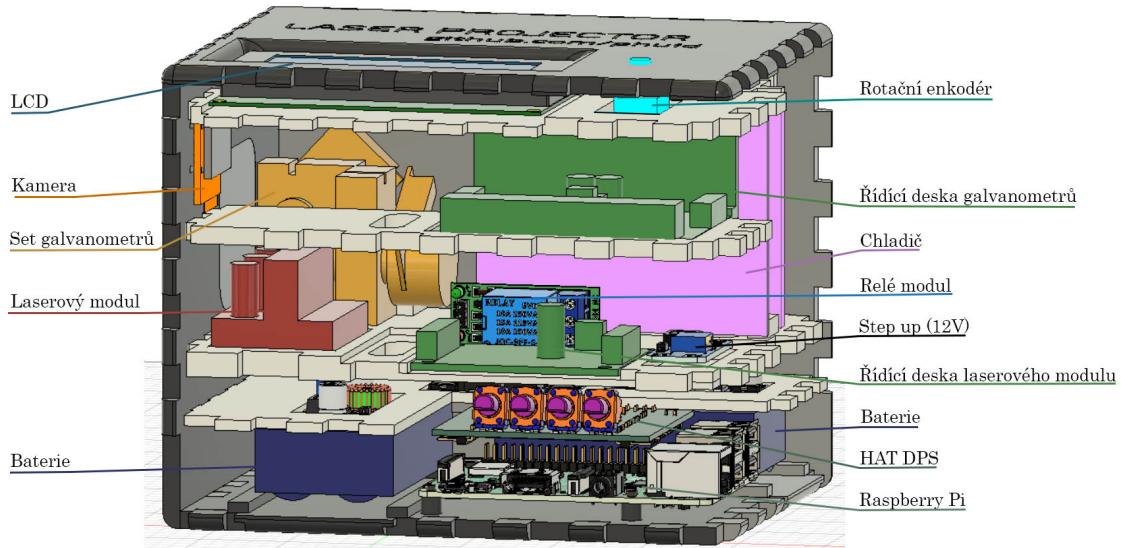
3.8.2 Konstrukce

Pouzdro se skládá ze čtyř vertikálních stěn s otvory, do kterých zapadají horizontální desky. Horizontální desky v sobě mají vždy z vrchní strany vyhloubené prohlubně, do kterých pasují elektronické součástky, které na nich leží. Díky tomu se elektronické součástky při pohybu projektoru volně nepohybují ve vnitřních prostorách.

Tyto prohlubně jsou hlavní důvod, proč byl k výrobě dílů využit 3D tisk místo například laserového řezání.

Elektronika je v prohlubnících často držena i lepidlem z tavné pistole. To bylo přidáno s původním cílem upevnit k elektronice kabely z ní vedoucí i za izolaci. Kdyby kabely držely jen za vodičové drátky k elektronice připájené, drátky by se v průběhu času kvůli vibracím při přenášení polámaly.

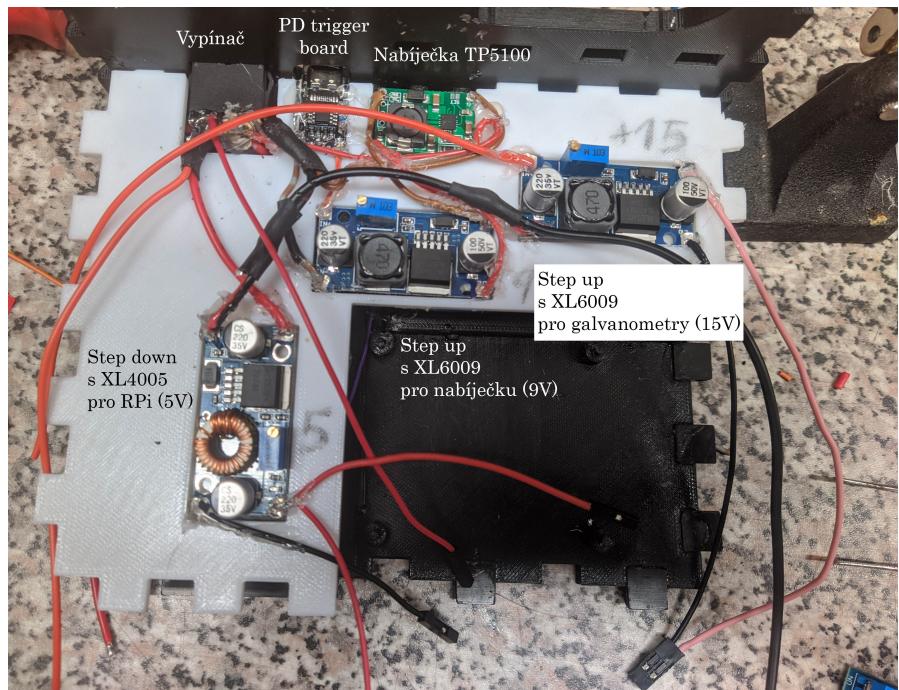
Jak je vidět na obrázku 3.24, pouzdro je rozděleno do pěti pater. Jednotlivá patra nezabírají celou plochu horizontální plochu projektoru. Často spojují pouze tři



Obrázek 3.24: Pohled do projektoru s odstraněnou přední stěnou v programu Autodesk Fusion

ze čtyř stěn, nebo jsou v nich otvory, kterými může proudit vzduch. V prvním patře se nachází baterie (zvýrazněny modře), destička s BMS obvodem a v neposlední řadě Raspberry Pi. Na něm je připevněná HAT deska plošných spojů, která zasahuje do druhého patra. Druhé patro je vidět na obrázku 3.25 a nachází se v něm obvod nabíjení baterie (PD trigger deska, step up měnič a nabíječka Li-ion článků). Dále se v něm nachází step down měnič napájející Raspberry Pi a step up měnič napájející galvanometry.

Ve třetím patře je upeněn chladič, foukající na nabíjecí obvod a step up měniče pod ním, set galvanometrů (zvýrazněn žlutě), laserový modul (zvýrazněn červeně) a jeho řídící deska (zvýrazněna zeleně), step up měnič pro laser a relé modul. Galvanometry zasahují až do čtvrtého patra, kde je upevněna jejich řídící deska. Ta je mimo jiné připevněna na chladič párem šroubků viditelných na obrázku 3.2 ze strany 22, mezi desku a chladič byla aplikována teplovodivá pasta. V prostorách čtvrtého patra je také na stěnu upevněna kamera. V pátém patře se nachází LCD a rotační enkodér.



Obrázek 3.25: Kompletně nainstalované druhé patro (Na obrázku je modul TP5100 zapojen s opačnou polaritou, ve výrobku byla chyba opravena, ale tato fotka je stále nejlepší ilustrace.)

V horizontálních deskách oddělujících patra od sebe jsou otvory pro vzduch, jak zmíněno v sekci 3.8.1, také na přední stěně pouzdra jsou otvory pro vyfukování vzduchu. Na přední stěně je také otvor pro přístup k potenciometrům na HAT DPS a otvor pro přístup k portům Raspberry Pi, ten je i na pravé boční stěně. Na zadní stěně je otvor pro nasávání vzduchu větrákem, vypínač, a otvory pro USB-C port PD trigger desky a statusové diody nabíječky TP5100. Na levé boční stěně jsou pak otvory pro kameru a laserový výstup galvanometrů. Ve dně jsou otvory pro výměnu baterií a ve stropní stěně jsou otvory pro LCD a rotační enkodér.

Note!

[fotka zepředu a zprava]



Obrázek 3.26: Pohled na projektor ze strany hrany sousedící se zadní a pravou boční stěnou

Kapitola 4

software

Tato kapitola se zabývá softwarovou výbavou laserového projektoru. Detailně popisuje klíčové programy, jejich funkce a způsob, jakým mezi sebou komunikují. Mezi tyto programy patří program lasershow, který obsluhuje vykreslování, programy pro interakci s uživatelem (dále „UI programy“) jako UI, web_ui a discord_bot, a také program wifi_manager, který spravuje wifi připojení Raspberry Pi.

V neposlední řadě popisuje také instalaci skript, který výrazně zjednoduší instalaci všech zmíněných programů a jejich závislostí.

4.1 komunikace mezi programy

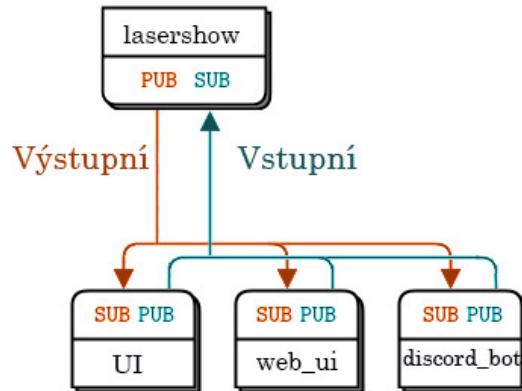
Všechny tyto programy jsou propojeny síťovými sockety zprostředkovanými knihovnou ZeroMQ, která nabízí frontu¹ zpráv, bez potřeby samostatně běžícího brokeru.

Tato knihovna je využita k vytvoření dvou socketů, jedním lasershow přijímá příkazy od uživatele prostřednictvím ostatních programů (vstupní socket na portu 5557, viz obr. ??) a do druhého posílá informace ostatním programům (výstupní

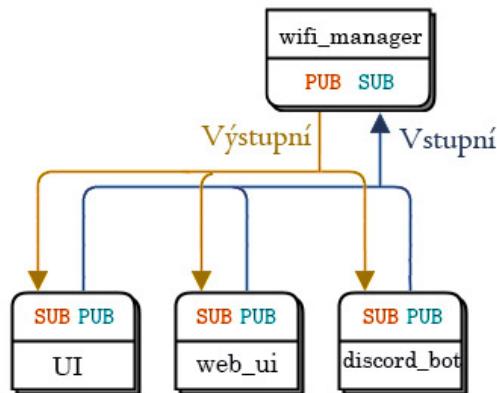
¹Ve frontě jsou zprávy seřazeny od té nejdříve odeslané.

socket na portu 5556, viz obr. ??), aby je zprostředkovaly uživateli. Do prvního zmíněného posílají programy interagující s uživatelem příkazy pro programy lasershow a wifi_manager. Do druhého posílá lasershow informace o stavu a změnách nastavení a také wifi_manager informace o stavu a změnách v nastavení WiFi.

Příkazy pro programy lasershow a wifi_manager vypadají následovně [TODO: příklady příkazů pro lasershow a wifi_manager z https://github.com/phuid/laser_projector/blob/master/README.md] [TODO: příklady status infos od lasershow a wifi_manager z https://github.com/phuid/laser_projector/blob/master/README.md] Note!



Obrázek 4.1: Komunikace mezi programy vstupním socketem na portu 5557



Obrázek 4.2: Komunikace mezi programy výstupním socketem na portu 5556

4.2 Lasershow

4.2.1 Úvod

Program lasershow je psaný v jazyce c++. Tento jazyk je komplikovaný a díky tomu je rychlý a běží samostatně. Kdybych využil interpretovaný jazyk, přidal bych k operačnímu systému další vrstvu neovlivnitelných záseků – interpreter [37]. Note!

[TODO: co dela - co do projektu dava ig] Lasershow obsluhuje samotné vykreslování. Dostane-li od UI programů

Program byl inspirován projektem <https://github.com/tteskac/rpi-lasershow>². Velkou výhodou oproti zmíněnému programu je možnost s programem interagovat i v průběhu promítání. Díky tomu je možné měnit nastavení promítání bez nutnosti zastavit program a ztratit všechny jeho data.

4.2.2 Využité knihovny

ZeroMQ

ADCACDASFASDFAH sassyyy

, toto rozhraní využívám pomocí knihovny ze serveru <https://github.com>³

pigpio

pwm

4.2.3 Chování programu

Tento program pomocí knihovny ZeroMQ zaregistrouje vstupní TCP socket na portu 5557 a přihlásí se na něm k odběru zpráv, které do něj publikují ostatní programy. Zároveň podobně zaregistrouje výstupní socket na portu 5556, do kterého později bude

²Staženo 28. 12. 2023

³https://github.com/abelectronicsuk/ABElectronics_CPP_Libraries/tree/master/ADCDACPi; staženo 2. 1. 2024

posílat zprávy pro programy, které interagují s uživatelem.

Note!

[TODO: priklad zmq]

Note!

[use https://cs.overleaf.com/learn/latex/Code_Highlighting_with_minted instead - function highlights]

```
1 //  Clone server Model One
2
3 #include "zmq.hpp"
4 #include "zmq_addon.hpp"
5 #include <chrono>
6 #include <thread>
7 #include <iostream>
8 #include <string>
9
10 int main(void)
11 {
12     //  Prepare our context and publisher socket
13     zmq::context_t ctx(1);
14
15     zmq::socket_t publisher(ctx, zmq::socket_type::pub);
16     publisher.bind("tcp://*:5556");
17
18     zmq::socket_t command_receiver(ctx, zmq::socket_type::sub);
19     command_receiver.bind("tcp://*:5557");
20     command_receiver.set(zmq::sockopt::subscribe, "");
21
22     uint64_t wahoo = 0;
23     std::cout << "start done" << std::endl;
24
25     while (true)
26     {
27         zmq::message_t received;
28         command_receiver.recv(received, zmq::recv_flags::none);
29
30         std::cout << "received: \" " << received.to_string() << "\"
31         " << std::endl;
```

```

31
32     std::string msg_string = "nice, thank you bro, i got this
33     from you \\" + received.to_string() + "\\";
34
35     zmq::message_t msg(msg_string.c_str(), msg_string.length()
36     + 1);
37     publisher.send(msg, zmq::send_flags::none);
38
39     wahoo++;
40 }
```

```

1 // Clone client Model One
2
3 #include "zmq.hpp"
4 #include "zmq_addon.hpp"
5 #include <iostream>
6 #include <thread>
7 #include <chrono>
8
9 int main(void)
10 {
11     // Prepare our context and updates socket
12     zmq::context_t ctx(1);
13
14     zmq::socket_t subscriber(ctx, zmq::socket_type::sub);
15     subscriber.connect("tcp://localhost:5556");
16     subscriber.set(zmq::sockopt::subscribe, "");
17
18     zmq::socket_t command_sender(ctx, zmq::socket_type::pub);
19     command_sender.connect("tcp://localhost:5557");
20
21     std::cout << "start done" << std::endl;
22
23     while (true)
24 {
```

```

25         std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(20))
26     ;
27
28     zmq::message_t received;
29     while(subscriber.recv(received, zmq::recv_flags::dontwait)
30   {
31         std::cout << "received: \""
32         << received.to_string() <<
33         "\""
34         << std::endl;
35
36         // read user input
37         std::string u_in;
38         getline(std::cin, u_in);
39
40         zmq::message_t msg(u_in.c_str(), u_in.length());
41         command_sender.send(msg, zmq::send_flags::none);
42     }
43     return 0;
44 }
```

Následně se pomocí připojí k D/A převodníku skrz rozhraní SPI[38] a čeká na zprávy od ostatních programů. Jakmile zprávu obdrží, zpracuje ji. Pokud je požadována změna nastavení, okamžitě ji provede, aktuální nastavení si uloží do souboru laser-show.cfg a přepočítá informace o promítaném obrazu, je-li to nutné. (Například, změní-li se nastavení trapezoid-horizontal, přepočítá souřadnice vykreslovaných bodů.) Jestliže je požadováno vykreslení obrazu ze souboru, začne obraz vykreslovat. Při tom průběžně posílá informace o stavu vykreslování do výstupního socketu. I při vykreslování obrazu tento program zpracovává zprávy a pokyny ze vstupního socketu.

Note!

[TODO: co to vlastne umi - umožnuje zive skrz UI menit nastaveni - laseru, trapezoid souradnic, v UI je viditelny stav vykreslovani]

Note!

[TODO: diagram programu]

4.2.4 lepsi, nez rpi-lasershow

benchmark ctvereckovanyho papiru je vlastne nanic, cuz ten kod je stejne rychlej, moje vyhoda je v tom, ze nemusim nacitat mezi snimkama, tudiz benchmark je spis kolik snimku za sekundu, ne: jak dlouho trva jeden snimek/kolik zvladnu vykreslit na jednom snimku ->jde mi o cas straveny mezi snimky

4.3 wifi_manager

V rámci této práce byl vyvinut ještě jeden program, který se přímo nepodílí ani na projekci, ani na interakci s uživatelem.

Program wifi_manager je také napsaný v jazyce JavaScript s využitím runtime Node.js. Registruje se ke stejným socketům jako lasershow, přijímá příkazy týkající se nastavení WiFi na Raspberry Pi TCP socketem na portu 5557 a odesílá zpětnou vazbu na TCP socket s portem 5556.

Note!

[TODO: jak se komunikace s lasershow odliší od wifi_managera]

Note!

[TODO: ukazka(jak interahuje se systemem, aby toho vseho dosahl lol)]

Hlavním úkolem tohoto programu je správa a konfigurace WiFi připojení na Raspberry Pi. Přijímá příkazy od ostatních programů a nastavuje WiFi parametry na základě těchto příkazů. Tím umožňuje uživatelům snadno a pohodlně nastavit WiFi připojení na svém zařízení.

Stejně jako lasershow, wifi_manager také posílá zpětnou vazbu ostatním programům, aby informoval o stavu a změnách v nastavení WiFi. Tímto způsobem je zajištěna komunikace a synchronizace mezi všemi programy v laserovém projektoru.

Celkově wifi_manager přispívá k plynulému a efektivnímu provozu laserového projektoru tím, že umožňuje snadnou správu a konfiguraci WiFi připojení na Raspberry Pi.

4.4 UI

Program UI je také psaný v jazyce c++ a využívá knihovnu WiringPi, která umožňuje jednoduchou komunikaci s GPIO piny Raspberry Pi. Tento program ovládá OLED displej, který je připojený na Raspberry Pi pomocí rozhraní I2C, a přijímá vstup od uživatele čtením rotačního enkodéru s tlačítkem.

Program se při začátku exekuce pomocí knihovny ZeroMQ přihlásí ke vstupnímu socketu a k odběru zpráv z výstupního TCP socketu, kam publikuje zprávy o stavu vykreslování program lasershow. Dále si pomocí knihovny wiringPi zaregistrouje zpracovávání přerušení z enkodéru a tlačítka na něm a čeká buď na interakci s uživatelem, který by skrz něj poslal zprávy programu lasershow, nebo na zprávy od lasershow, které by zobrazil uživateli.

Note!

[TODO: diagram programu]

4.5 web_ui

Narozdíl od předchozích dvou zmiňovaných programů je program web_ui psaný v jazyce javascript, ten nepatří mezi nejrychlejší, ale díky runtime Node.js a knihovnám http a formidable v něm bylo časově nenáročné vytořit http web server.

Tento server běží na portu 3000 a je dostupný z lokální sítě (tzn. přímo z Raspberry Pi na adrese `http://localhost:3000` nebo z jakéhokoliv zařízení na stejně lokální síti na ip adrese RPi). Program je využíván pro jednoduchou interakci s uživatelem, který může pomocí webového prohlížeče ovládat laserový projektor pár kliknutími i zadávat vlastní příkazy klávesnicí.

Note!

[na webu jsou konzole pro ssh, wifiman a lasershow, taky fast project forms]

Note!

[TODO: příklad http serveru]

```
1 const http = require('http');
2 const fs = require('fs');
```

```

3 const path = require('path');
4
5 const server = http.createServer((req, res) => {
6   // Get the file path from the request URL
7   const filePath = path.join(__dirname, req.url);
8
9   // Check if the file exists
10  fs.access(filePath, fs.constants.F_OK, (err) => {
11    if (err) {
12      // File not found
13      res.statusCode = 404;
14      res.end('File not found');
15    } else {
16      // Read the file and send it as the response
17      fs.readFile(filePath, (err, data) => {
18        if (err) {
19          // Error reading the file
20          res.statusCode = 500;
21          res.end('Internal server error');
22        } else {
23          // Set the appropriate content type and send the file
24          data
25            const ext = path.extname(filePath);
26            let contentType = 'text/plain';
27            if (ext === '.html') {
28              contentType = 'text/html';
29            } else if (ext === '.css') {
30              contentType = 'text/css';
31            } else if (ext === '.js') {
32              contentType = 'text/javascript';
33            }
34            res.setHeader('Content-Type', contentType);
35            res.end(data);
36          }
37        });
38      }
39    });

```

```
40 });
41
42 const port = 3000;
43 server.listen(port, () => {
44   console.log(`Server running on port ${port}`);
45 }) ;
```

Stejně jako program UI za pomoci knihovny ZeroMQ tento program odebírá z výstupního socketu zprávy o průběhu vykreslování od programu lasershow a odesílá mu pokyny uživateli na vstupní socket.

Note!

[TODO: příklad přihlášení k socketům v js]

Note!

[TODO: xterm + ssh]

4.6 discord bot

Posledním programem, který je využíván k interakci s uživatelem je discord_bot, který je také psaný v jazyce javascript v runtime Node.js, stejně jako předchozí programy se přihlásí k socketům knihovnou zmq, ale na rozdíl od nich tento program může interagovat s uživatelem přes internet ať už je kdekoli na světě. Pomocí knihovny discord.js se přihlásí k předem vytvořenému bot účtu, který může na předem vytvořeném discord serveru čekat na zprávy od uživatele, ty posílat do vstupního socketu a posílat uživateli zpětnou vazbu, kterou příjme z výstupního socketu.

4.7 install.sh

Note!

[TODO: install.sh]

Note!

[TODO udelals to vubec dobre? porovnej se s ostatnima]

Kapitola 5

Diskuze

5.1 ruzne technologie

[6] str. 394

Digital micromirror devices (DMDs) and liquid crystal displays (LCDs) have also captured the field of image projection away from oscillating scanners. uz existuje MEMS [7]- pcb, co ma X i Y v jednom zrcatku, je super a vsechno jiny prave nahrazuje, na user levelu je i docela podobny galvum - jedna civka x druhá y - overit,, idk, jesti tam civky nejsou proste pod tim a nejenom v kloubech

Note!

[vytvoril jsem projektor, ten je mozne sestavit s minimální znalostí elektroniky, staci umet pajet, jde mi o to zajemcum predstavit jak to programovat, jak funguji vektorove formaty, ne jak funguje hw, ten se totiz meni - MEMS]

Note!

[kam pokracovat: api pro random programy /just na github napsat lol pouzivejte tyhle funkce na ovladani DAC ahah - aby si mohli pokrocilejsi kutilove taky hrat a randomly posouvat laser ig]

5.2 další zpracování tématu

udelal jsem to dobre? vybral jsem si dobrý techniky? like byl by lepsi ten harddrive z yt? nebo fakt to melo byt napajeny z baterek a ne ze zasuvky?

ze hej ze [typek z vut](#) udelal kinda kurva podobnej HW jak ja, ale ja to mam trochu jinak, cuz jsem o tom nevedel, ale ofc moje je lepsi :)) also to delala hromada dalsich lidi na internetu ten hw, also od [gh.com/tteskac](#) mam executable, kterou jsem ale totalne ze rozsiril a taky jsem pridal vsechno moje genialni ui muhahahah

ze este dalsi zpracovani: (19.10.2023 vsechny dostupne)

1. used/modified code

- <https://github.com/marcan/openlase/blob/master/tools/svg2ild.py>
- <https://github.com/tteskac/rpi-lasershow>
- https://github.com/sabhiram/raspberry-wifi-conf/blob/master/app/wifi_manager.js
- http://www.electronicayciencia.com/wPi_soft_lcd/
- [typek z vut](#)

2. dalsi zpracovani stejny projekty

- <https://www.instructables.com/Arduino-Laser-Show-With-Real-Galvos/>
- <https://github.com/tteskac/rpi-lasershow>
- <https://www.instructables.com/DIY-STEPDIR-LASER-GALVO-CONTROLLER/>
- borec na yt hard-drive text gut

3. other useful thingies

- <https://hackaday.io/project/172284-galvo-laser-cutterengraver>
- <https://hackaday.io/project/172284/instructions>
- <https://learn.adafruit.com/mcp4725-12-bit-dac-with-raspberry-pi/hooking-it-up>
- https://www.ilda.com/resources/StandardsDocs/ILDA_IDTF14_rev011.pdf
- cool demos <https://marcan.st/projects/openlase/>
- https://www.youtube.com/watch?v=u9TpJ-_hBR8

4. read

- <https://www.laserworld.com/en/glossary-definitions/90-t/2797-ttl-modulation-en.html>

Závěr

Note!

[FIXME proc vsichni maji zaver v obsahu jako section, kdyz pak vypada, ze je pod posledni kapitolou??] [TODO závěr][TODO muj projekt je dostupný na githubu] [vytvoril jsem projektor, ten je mozne sestavit s minimální znalostí elektroniky, staci umet pajet, jde mi o to zajemcum predstavtit jak to programovat, jak funguji vektorove formaty, ne jak funguje hw, ten se totiz meni - MEMS] [tim ze mam linux lasershow obcas zpomali, obcas zrychli, samozrejme mam osetreny, aby nezrychlily framy, ale pointy ano]

Note!
Note!
Note!

Note!

Literatura

1. UREY, H; HOLMSTROM, S; BARAN, U; AKSIT, K; HEDILI, MK; EIDES, O. MEMS scanners and emerging 3D and interactive augmented reality display applications. In: *2013 Transducers & Eurosensors XXVII: The 17th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS & EUROSENSORS XXVII)*. IEEE, 2013, s. 2485–2488.
2. EASTMAN, Jay. Brief history of barcode scanning. In: *OSA Century of Optics* [online]. Optical Society, 2015, s. 128–133 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://opg.optica.org/books/download.cfm?product=11&v=128>.
3. QUAN, Haoyuan; ZHANG, Ting; XU, Hang; LUO, Shen; NIE, Jun; ZHU, Xiaoqun. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioactive Materials* [online]. 2020, roč. 5, č. 1, s. 110–115 [cit. 2024-01-28]. ISSN 2452-199X. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.12.003>.
4. EDL, MMTJ; MIZERÁK, Marek; TROJAN, Jozef. 3D laser scanners: history and applications. *Acta Simulatio* [online]. 2018, roč. 4, č. 4, s. 1–5 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201403279>.
5. PFEIFER, Norbert; BRIESE, Christian. Laser scanning—principles and applications. In: *Geosiberia 2007-international exhibition and scientific congress*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2007, cp–59.
6. MARSHALL, Gerald F; STUTZ, Glenn E. *Handbook of optical and laser scanning* [online]. Taylor & Francis, 2012 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781420091251>.

- //library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/41669/9781439808801.pdf?sequence=1.
7. HOLMSTRÖM, Sven TS; BARAN, Utku; UREY, Hakan. MEMS laser scanners: a review. *Journal of Microelectromechanical Systems*. 2014, roč. 23, č. 2, s. 259–275.
 8. BEN MAKES EVERYTHING. *DIY Laser Projector - Built from an old hard drive* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=u9TpJ-_hBR8. Zdroj obrázku 1.3.
 9. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary* [online]. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=313-01-02>.
 10. WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Galvanometer — Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2023. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Galvanometer&oldid=1171003585>.
 11. PURKHET, Abderyim; HALABI, Osama; FUJIMOTO, Tadahiro; CHIBA, Norishige. Accurate and efficient drawing method for laser projection. *The Journal of the Society for Art and Science*. 2008, roč. 7, č. 4, s. 155–169.
 12. CHAO, Fan; HE, Siyuan; CHONG, James; MRAD, Ridha Ben; FENG, Lei. Development of a micromirror based laser vector scanning automotive HUD. In: *2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*. IEEE, 2011, s. 75–79.
 13. TYNDALL, J. *Notes of a Course of Nine Lectures on Light: Delivered at the Royal Institution of Great Britain, April 8-June 3, 1869*. Longmans, Green, 1870. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=x1UIAAIAAAJ>.
 14. RUSSELL BARNES, Raspberry Pi Ltd. *Get started with your new Raspberry Pi* [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://magpi.raspberrypi.com/articles/get-started-new-raspberry-pi>.

15. INTERNATIONAL LASER DISPLAY ASSOCIATION. The ILDA Standard Projector [online]. 1999, s. 11, 28 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: https://www.ilda.com/resources/StandardsDocs/ILDA_ISP99_rev002.pdf.
16. PASCHOTTA, R. *Dichroic Mirrors* [RP Photonics Encyclopedia]. RP Photonics AG, 2005 [cit. 2024-02-05]. Dostupné z DOI: [10.61835/1un](https://doi.org/10.61835/1un). Available online at https://www.rp-photonics.com/dichroic_mirrors.html.
17. TOULSON, Rob; WILMSHURST, Tim. Chapter 4 - Analog Output. In: TOULSON, Rob; WILMSHURST, Tim (ed.). *Fast and Effective Embedded Systems Design*. Oxford: Newnes, 2012, s. 57–75. ISBN 978-0-08-097768-3. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097768-3.00004-0>.
18. PŘISPĚVATELÉ WIKIPEDIE. *Pulzně šířková modulace — Wikipedie: Otevřená encyklopédie* [online]. 2023. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pulzn%C4%9B_%C5%A1%C3%AD%C5%99kov%C3%A1_modulace&oldid=23044621.
19. THOMSON INDUSTRIES, INC. *What is Pulse Width Modulation (PWM)?* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.thomsonlinear.com/en/support/tips/what-is-pwm>.
20. LASKAKIT. *20x4 LCD displej 2004 modrý + I2C převodník* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/20x4-lcd-displej-2004-modry-i2c-prevodnik/>.
21. DEJAN NEDELKOVSKI, HowToMechatronics.com. *How Rotary Encoder Works and How To Use It with Arduino* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/rotary-encoder-works-use-arduino/>.
22. JAN PAŠTYKA, Ondřej Hruška. *Rotační enkodér* [online]. 2014. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/lpe/rotary_encoder/Rotary_Encoder.pdf.

23. ŠLEHOFER, Jan. Ampalyzer – Analyzátor audio zesilovačů [online]. 2020 [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://prihlaska.soc.cz/archiv42/getWork/hash/72744387-58f2-11ea-9fea-005056bd6e49>.
24. TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage [online]. 2022 [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/an/slva372d/slva372d.pdf?ts=1707394558861>.
25. INSTRUCTABLES, DELTAFLO. *Arduino Laser Show With Real Galvos* [online]. [cit. 2024-01-22]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/Arduino-Laser-Show-With-Real-Galvos>.
26. MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MCP4821/MCP4822 12-Bit DACs with Internal VREF and SPITM Interface Datasheet [online]. 2005 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21953a.pdf>.
27. TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier Datasheet [online]. 2013 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl082-n.pdf?ts=1706076567444&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
28. TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. ADC0831-N/ADC0832-N/ADC0834-N/ADC0838-N 8-Bit Serial I/O A/D Converters with Multiplexer Options [online]. 2013 [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/adc0831-n.pdf?ts=1707440787302>.
29. MASARYKOVA UNIVERZITA. *Operační zesilovače* [online]. [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/sci/jaro2017/F5090/um/E17_P8.pdf.
30. LASKAKIT. *USB-C PD/QC přepínač napájecího napětí* [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/usb-c-pd-qc-prepinac-napajecihonapeti/>.
31. LASKAKIT. *1-kanál 5V relé modul, Low level, 250VAC 10A* [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/1-kanal-5v-rele-modul--low-level--250vac-10a/>.

32. LASKAKIT. *Ochrana Li-Ion baterie 2S 20A* [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/ochrana-li-ion-baterie-2s-20a/>.
33. LASKAKIT. *Step-up boost měnič s XL6009, modrá* [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/step-up-boost-menic-s-xl6009--modra/>.
34. LASKAKIT. *Nabíječka Li-ion článku TP5100, 2A 1-2S* [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/nabijecka-li-ion-clanku-tp5100--2a-1-2s/>.
35. LASKAKIT. *Step-down měnič s XL4005* [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/step-down-menic-s-xl4005/>.
36. LASKAKIT. *Step-up boost měnič s MT3608* [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/step-up-boost-menic-s-mt3608/>.
37. PŘISPĚVATELÉ WIKIPEDIE. *Interpret (software)* — Wikipedie: Otevřená encyklopédie. 2021. Dostupné také z: [https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Interpret_\(software\)&oldid=19846734](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Interpret_(software)&oldid=19846734). [Online; navštívěno 3. 02. 2024].
38. PŘISPĚVATELÉ WIKIPEDIE. *Serial Peripheral Interface* — Wikipedie: Otevřená encyklopédie. 2022. Dostupné také z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Serial_Peripheral_Interface&oldid=21053330. [Online; navštívěno 3. 02. 2024].

Seznam obrázků

1.1	mechanika polygonových skenerů; převzato z [6].	12
1.2	úhlová rozdílnost zrcátek polygonového skeneru a paprsky od nich odražené; převzato z [6].	13
1.3	příklad projekce laserového projektoru s polygonovým skenerem; převzato z [8]	13
1.4	zapojení a vnitřní konstrukce galvanometrů; převzato z [6].	15
1.5	různé konstrukce galvanometrových skenerů; převzato z [6].	16
3.1	Pohled zvrchu na Raspberry Pi; Převzato z [14]	21
3.2	Řídící deska galvanometrů s vyznačenými konektory a hřejícími čipy	22
3.3	Laserový modul s řídící deskou a vyznačenými konektory	24
3.4	Sedm základních barev laserového modulu	25
3.5	PWM signál s měnící se střídou; Střída naznačena oranžovou křivkou. Převzato a upraveno z [19]	26
3.6	Displej z tekutých krystalů (LCD); Převzato a upraveno z [20]	27
3.7	I ² C převodník napojený na LCD; Převzato z [20]	27
3.8	Vnitřní schéma enkodéru; převzato z [21]	28
3.9	Výstup enkodéru; převzato z [21]	28
3.10	Schéma zapojení rotačního enkodéru.	29
3.11	29
3.12	Zapojení invertujícího obvodu	31
3.13	Zapojení čipu TL082 pro jeden kanál řídící desky galvanometrů	33
3.14	Schéma obvodu voltmetu baterie	33

3.15	Celkové schéma napájení komponentů projektoru	35
3.16	BMS Modul se třemi kontakty pro sérii baterií (0V, 4.2V a 8.4V) a výstupními kontakty ((+) a (-)); Převzato z [30]	36
3.17	Relé modul; Převzato z [31]	36
3.18	Zapojený nabíjecí obvod	37
3.19	Power Delivery trigger board; Převzato z [32]	38
3.20	step-up měnič s čipem XL6009; Převzato z [33]	38
3.21	Modul nabíječky dvou sériově zapojených Li-ion baterií; Převzato z [34]	38
3.22	step-down měnič s čipem XL4005; Převzato z [35]	39
3.23	step-up měnič s čipem MT3608; Převzato z [36]	39
3.24	Pohled do projektoru s odstraněnou přední stěnou v programu Autodesk Fusion	41
3.25	Kompletně nainstalované druhé patro (Na obrázku je modul TP5100 zapojen s opačnou polaritou, ve výrobku byla chyba opravena, ale tato fotka je stále nejlepší ilustrace.)	42
3.26	Pohled na projektor ze strany hrany sousedící se zadní a pravou boční stěnou	43
4.1	Komunikace mezi programy vstupním socketem na portu 5557 . . .	45
4.2	Komunikace mezi programy výstupním socketem na portu 5556 . .	45
5.1	Celkové schéma HAT DPS v programu KiCad	68

Seznam tabulek

3.1	Připojení kontaktů I ² C převodníku na kontakty RPi.	27
3.2	Připojení kontaktů rotačního enkodéru na kontakty RPi.	28

Seznam rovnic

